

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический  
университет»**

**А.А. Санников  
Н.В. Куцубина  
С.Н. Вихарев**

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН  
И ОБОРУДОВАНИЯ. СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ  
РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЦБП и ДПП**

Конспект лекций по отдельным разделам дисциплин «Теория и конструкция технологических машин и оборудования» и «Проектирование и модернизация машин и оборудования ЦБП», «Процессы, технология и оборудование целлюлозно-бумажных производств», «Процессы, технология и оборудование древесно-плитных производств» для студентов очной и заочной форм обучения направлений 15.03.02; 15.04.02

**Екатеринбург  
2015**

Рекомендовано к опубликованию кафедрой технической механики и оборудования ЦБП, протокол № 2 от 7 октября 2015 г.

Рецензент профессор, д-р техн. наук

В.П. Сиваков

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Методология проектирования машин и оборудования.....	3
1.1. Понятие о технике и технической системе .....	3
1.2. Фазы. Этапы и стадии проектирования машин .....	6
1.3. Закономерности развития и классификация машин .....	10
1.4. Основные принципы и тенденции при конструировании машин..	15
1.5. Качественные показатели машин .....	21
2. Современные направления развития технологии и оборудования целлюлозно-бумажных производств .....	31
2.1. Тенденции развития технологии и оборудования древесно- подготовительных и древесно-массных производств .....	31
2.2. Тенденции развития и основные направления модерниза- ции бумагоделательных машин .....	37
Литература.....	51

В авторской редакции

---

Подписано в печать	Формат 60x84	1/16
Плоская печать	Объем п.л.	Тираж
Заявка		

---

## 1. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ [1]

---

*«В решении проблем машиностроения ведущая роль за конструктором. Он главный создатель машины. Он выбирает кинематическую схему машины, рабочий процесс - основу создаваемой машины. От каждой линии, проведенной конструктором на чертеже, зависят металлоемкость и другие параметры машины».*

*Академик А.И. Целиков*

### 1.1. Понятие о технике и технической системе

Термин «техника» неоднозначен. Он восходит к древнегреческому *techné*, происходящему от индоевропейского корня «*tekr*», означающего деревообработку или плотницкое дело. В широком смысле термин «техника» имеет два аспекта:

1) орудия труда, т.е. инструменты и другие артефакты (искусственные создания человека), с помощью которых человек преобразовывает действительность в соответствии со своими потребностями;

2) совокупность навыков, умений, приёмов, методов, операций, необходимых для приведения в действие орудий или для осуществления определённых целей и конкретных задач, в том числе для создания самих орудий. Этот аспект часто имеет термин «технология».

В современном понимании техника - это диалектически развивающаяся материальная совокупность средств труда, предметов труда и самого труда. Современное состояние этой совокупности называется уровнем техники, характеризуемым уровнем научно-технических знаний и производственной базы.

Машины и оборудование составляют основу техники, поэтому развитие техники может происходить только на основе совершенствования существующих и создания новых видов машин и оборудования.

Заметим, что машиной называется подвижная механическая система, предназначенная для преобразования энергии или работы. Характерный признак машины - наличие двигателя и рабочего орудия с передаточными устройствами между ними.

Оборудование (синоним аппарат, от латинского – оборудование) - совокупность машин, устройств, приборов, приспособлений, необходимых для

работы, производства. Совокупность машин, приборов, системы управления этой совокупностью и обеспечения работы называется технической системой. Например, бумагоделательная машина, состоящая из множества агрегатов и систем (массоподводящая, вакуумная, вентиляции, пароконденсатная и др.) является сложной технической системой. В дальнейшем для краткости машины, оборудование, технические системы будем называть машинами.

С развитием техники повышается технический уровень машин, меняются выполняемые ими функции и совершенствуются принципы их конструирования. Создание новых образцов машин предопределяется необходимостью повышения производительности труда, реализации новых технологических процессов и практических воплощений научных открытий. Между машинами, используемыми в производстве, и технологиями производства существует теснейшая связь. Развитие технологии производства вызывает необходимость создания новых машин.

Любая машина с течением времени стареет и заменяется новой, более совершенной. Различают две формы морального износа машин. Первая форма обуславливается удешевлением производства машин. Действие этой формы износа проявляется в том, что у потребителя уменьшается сравнительная фондовая отдача, т.е. величина отношения стоимости произведенных работ к стоимости самой машины. Вторая форма морального износа машины связана с появлением другой, заменяющей её машины с более высокими техническими показателями. Это, разумеется, не означает, что с появлением новой машины старая всегда обесценивается до такой степени, что ее следует выбросить в металлолом. Однако экономически целесообразный срок службы машины должен определяться и моральным старением.

С точки зрения морального износа машина имеет определенные «циклы жизни» в сферах воспроизводства и эксплуатации. Типичный «цикл жизни» в сфере воспроизводства представлен на рис. 1.1. Из рисунка видно, что с появлением новой конкурентоспособной машины сбыт (кривая 1) быстро увеличивается, достигает максимума и по мере насыщения потребительского рынка сокращается. Аналогично изменяется прибыль (кривая 2) предприятия-изготовителя. Максимумы кривых сбыта и прибыли, как правило, не совпадают во времени вследствие инерции производства.

В сфере эксплуатации (рис. 1.2) типичный «цикл жизни» машины определяется разностью между величиной прибыли (кривая 1), образующейся у потребителя, и эксплуатационными затратами (кривая 2). Как видно из графика, с течением времени эта разность убывает и с критического момента  $T_{кр}$  эксплуатация машины становится убыточной, необходима замена устаревшей машины новой.

Диалектика развития машин хорошо описывается в трудах К. Маркса, где, в частности, говорится: «Мануфактурный период, быстро провозгласивший уменьшение рабочего времени, необходимого для производства товаров, своим сознательным принципом, спорадически развивает также употребление машин. Особенно при некоторых простых подготовительных процессах, требующих большего количества людей и большой затраты сил. Так, например, в бумажной промышленности скоро стали сооружать особые машины для перемалывания тряпок...».

«Машина в её элементарной форме была ещё в Римской империи в виде водяной мельницы. Вся история развития машин может быть прослежена по истории развития мукомольных мельниц.

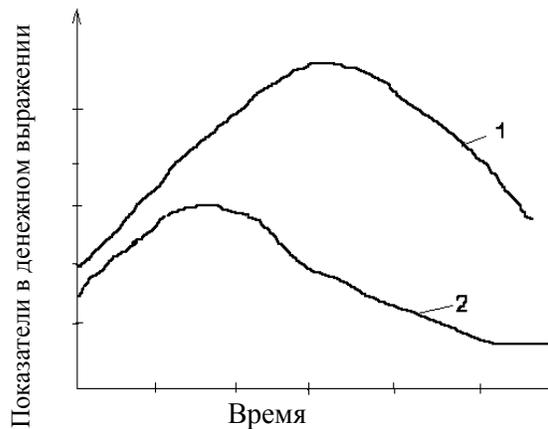


Рис.1.1. «Цикл жизни» машины в сфере производства

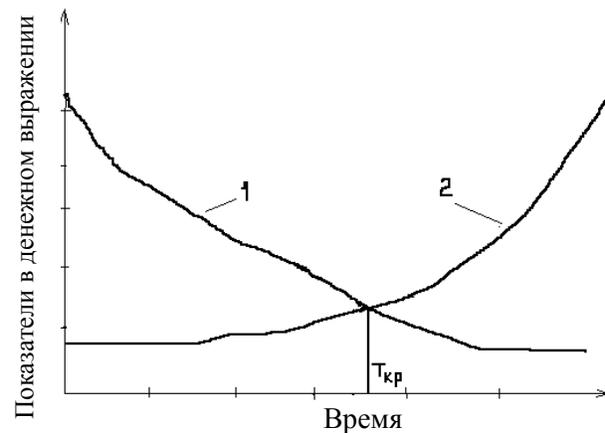


Рис.1.2. «Цикл жизни» машины в сфере эксплуатации

В Англии фабрика называется mill (мельница). Всякое развитое машинное устройство состоит из трех существенно различных частей: машины-двигателя, передаточного механизма, наконец, машины-орудия или рабочей машины. Машина-двигатель действует как движущая сила всего механизма. Она или сама перерождает свою двигательную силу, как паровая машина, calorическая машина, электромагнитная машина и т.д. или же получает импульс извне, от какой-либо живой силы природы, как водяное колесо от падающей воды, ветра и т.д.

Передаточный механизм, состоящий из маховых колес, подвижных валов, шестерен, эксцентриков, стержней передаточных лент, ремней, промежуточных приспособлений и принадлежностей самого различного рода, регулирует движение, изменяет, если необходимо, его форму, например, превра-

щает из перпендикулярного в круговое, распределяет его и переносит на рабочие машины».

«Увеличение размеров передаточного механизма вступило в конфликт с недостаточной силой воды, и это было из тех обстоятельств, которые побудили к более точному исследованию законов трения. Точно также неравномерность двигательной силы на мельницах, которые приводились в движение ударом и тягой при помощи коромысел, привела к теории и практическому применению махового колеса».

«Когда рабочая машина выполняет все движения, необходимые для обработки сырого материала, без содействия человека и нуждается лишь в контроле со стороны рабочего, мы имеем перед собой автоматическую систему машин... Примером, как непрерывности производства, так и проведения автоматического принципа может служить современная бумажная фабрика. На бумажном производстве хорошо вообще изучать в деталях, как различные средства производства, так и связь обыкновенных производственных отношений с различными способами производства».

«Применение паровой силы наталкивает вначале на такие чисто технические препятствия, как сотрясение машин, затруднение в регулировке их скорости».

### **1.2. Фазы. Этапы и стадии проектирования машин**

Различают следующие фазы «жизни» машины: проектирование; изготовление и сборка; монтаж; доводка; эксплуатация; модернизация; списание и демонтаж.

Процесс проектирования машины состоит из следующих этапов:  
обоснование необходимости создания новой машины;  
прогнозирование развития параметров машины;  
научно-технические исследования;  
разработка конструкторской документации;  
разработка технологической документации;  
изготовление, испытание и доводка опытных образцов.

Необходимость создания современной машины вытекает из экономической, социальной или оборонной потребности с учётом общих условий развития техники применительно к конкретному случаю. В ходе разработки обоснования необходимо учесть не только требования текущего момента, но и возможность изменения технологии в будущем, определяющей потребность в таких машинах, а также факторы, влияющие на развитие техники в данном направлении. Недостаточное внимание к этим вопросам может привести к тому, что к моменту создания новой машины потребность в ней отпадёт.

Обоснование и анализ необходимости создания машины проводится на основании методов научного прогнозирования технических проблем и параметров машины. Под параметрами машин понимаются их характеристики, определяющие производительность. Например, скорость бумагоделательной машины и ширина бумажного полотна; скорость и грузоподъемность грузового автомобиля.

Прогнозы разрабатывают на период, в течение которого принимаемое решение будет иметь эффективное действие. При этом прогнозирование научно-технических проблем по созданию машин должно увязываться с общим прогнозом, характеризующим развитие техники, экономики, промышленности.

На этапе научных исследований в одних случаях ведётся поиск рационального принципа действия машины, в других – поиск направления улучшения рабочих характеристик, в третьих - изучение возможности использования в конструкции будущей машины изделий или материалов, выпускаемых промышленностью, в четвёртых - проверяется пригодность тех или иных изобретений для данной конструкции и т.д.

Материалы первых двух этапов процесса создания машины оформляют в виде технического предложения на разработку конструкторской документации.

В отличие от проектирования, исследования и изобретательства под конструированием понимается разработка конструкторской документации, объём и качество которой позволяют изготовить машину с соблюдением всех требований машиностроительных технологий. Процесс разработки конструкторской документации многостадийный. Предусматриваются следующие стадии разработки конструкторской документации.

*Техническое задание* устанавливает назначение, технические характеристики, показатели качества, технико-экономические требования разрабатываемому изделию. Этап состоит из разработки, согласования и утверждения технического задания.

*Техническое предложение* - техническое и технико-экономическое обоснование целесообразности разработки документации. Анализ технического задания и различных вариантов решения, анализ существующих изделий подобного типа и патентных материалов. Основание для разработки эскизного проекта. Этап состоит из подбора материалов, необходимых для проектирования, разработки предложения, его рассмотрения и утверждения (литера II).

*Эскизный проект* - конструкторские документы, которые содержат принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие

назначение, основные параметры и габаритные размеры. Этапы: разработка проекта, изготовление макета, утверждение (литера Э).

Состав эскизного проекта:

общий вид машины (эскизный);

кинематическая схема;

чертежи основных сборочных единиц;

пояснительная записка, имеющая техническую характеристику машины, описание конструкции, технико-экономические показатели;

кинематические, динамические, прочностные расчёты.

*Технический проект* – конструкторские документы, содержащие окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве изделия и содержащие исходные данные для разработки технической документации (литера Т).

Состав технического проекта:

чертёж общего вида машин;

чертежи сборочных единиц;

кинематические, гидравлические, электрические схемы;

перечень комплектующих материалов;

пояснительная записка, имеющая описание назначения и области применения машины, обзор и анализ существующих подобных машин, описание конструктивных особенностей машины, а также содержащая вопросы техники безопасности и производственной санитарии; технологичности конструкций; расчёт масштаба производства и эффективности машины; кинематические, динамические, прочностные и другие расчёты.

*Разработка рабочей документации опытного образца* – разработка конструкторских документов, предназначенных для изготовления и испытания опытного образца или партии; корректировки рабочих чертежей; государственные или ведомственные испытания опытного образца (литера О).

Опытные образцы машин обычно подвергают трем видам испытаний: стендовым, полигонным и приемо-сдаточным.

Стендовые испытания проводятся с целью проверки взаимодействия механизмов в работе, их приработки и снятия основных характеристик машины, а также выявления дефектов.

Полигонные испытания проводятся комиссией, в состав которой включаются работники конструкторского бюро, разработавшего рабочий проект, работники цехов, изготовивших опытный образец машины, и работники отдела технического контроля завода. Комиссия возглавляется главным конструктором, под непосредственным руководством которого разработан рабочий проект опытного образца машины.

Методика полигонных испытаний предусматривает обкатку машины на холостом ходу с проверкой крепления основных узлов и обкатку под частичной и полной нагрузкой. В зависимости от результатов испытаний межведомственная (государственная) комиссия делает заключение о целесообразности серийного изготовления таких машин.

В случаях несоответствия машины поставленным требованиям комиссия выносит решение о необходимости доработки конструкции опытного образца с последующим проведением повторных испытаний.

*Разработка рабочей документации установочной серии* - изготовление и испытание установочной серии; корректировка конструкторских документов по результатам испытаний изделий установочной серии (литера А).

*Разработка рабочей документации установившегося серийного или массового производства* – это изготовление и испытание головной серии, корректировка конструкторских документов. По полностью оснащённому технологическому процессу окончательно отрабатывается машина и документации присваивается литера Б.

*Конструкторским документам индивидуального производства* машины присваивается литера И. Последние три стадии отсутствуют. После приемосдаточных испытаний приводятся в надлежащее техническое состояние и сдаются в эксплуатацию.

Состав рабочего проекта:  
чертежи общего вида;  
чертежи сборочных единиц;  
монтажные чертежи; рабочие чертежи деталей;  
спецификации деталей;  
кинематические, электрические, гидравлические схемы, циклограммы;  
пояснительная записка с технической характеристикой и поверочными расчётами;  
технические условия на изготовление, приёмку, упаковку и транспортировку;  
ведомости норм расхода материалов, стандартных деталей, покупных изделий;  
технический паспорт и инструкции по эксплуатации, техническому обслуживанию и монтажу; карты смазки;  
ведомости согласования комплектующих изделий;  
программы испытаний.

Допускаются стадии разработки эскизного и технического проектов объединять. На основе конструкторской документации разрабатывается технологическая документация на изготовление деталей и сборку сборочных единиц.

### 1.3. Закономерности развития и классификация машин

#### 1.3.1. Факторы, определяющие темпы и тенденции развития машин

Для прогнозирования необходимо знать исторические законы развития техники и факторы, определяющие это развитие.

Факторы, определяющие развитие техники, подразделяются на внешние и внутренние (рис. 1.3).

Внешние факторы выявляют необходимость развития машины, обуславливают предпосылки и условия, темпы развития машины. Они подразделяются на потребности, возможности и ограничения.

Потребности подразделяются на потребности общества в целом, конкретной сферы использования машины, производственного процесса, в котором применяется машина.



Рис. 1.3. Классификация факторов, определяющих развитие техники

Потребности общества выражаются в том, что машина должна обеспечивать повышение производительности труда, экономии материальных, энергетических и трудовых ресурсов. В этом же, но в более конкретном выражении, состоят и потребности сферы применения машины. Здесь машина должна обеспечивать рост эффективности производства (т.е. рост прибыли при снижении затрат производства, повышение качества выполняемых работ или выпускаемой продукции и т.п.). Потребности производственного процесса - это потребности реализации тех или иных рациональных технологических процессов.

Другая группа внешних факторов – это научно-технические, производственные и экономические возможности общества реализовать те направления развития машин, которые определены потребностями. Научно-технические возможности определяются уровнем науки, техники, технологии, достигнутым к тому моменту, когда будет необходима реализация соответствующих направлений развития машины.

Темпы развития техники во многом определяются уровнем развития науки. Сейчас наука стала ведущим звеном в системе «наука-техника-производство». Значительно сократился период времени от открытия (идеи, формулирования нового технического принципа) до его практической реализации в соответствующем типе машин. Например, идея двигателя внутреннего сгорания была предложена Ф. Лебоном в 1801 году, а первый двигатель внутреннего сгорания, сконструированный Н. Отто и получивший практическое применение, появился только в 1878 году (т.е. лаг составил почти 80 лет). В настоящее же время для машинной техники этот лаг составляет 10-15 лет и меньше. В любом случае для практической реализации идеи должно быть научное обоснование возможностей её реализации.

Производственные возможности характеризуются соответствием технического уровня предприятия (или предприятий), уровня квалификации его работников и уровня производственной мощности требованиям изготовления машины. Экономические возможности - это возможности обеспечения необходимыми ресурсами (материальными, трудовыми, финансовыми) всех стадий реализации выбранного направления развития машины: от научных исследований до серийного производства.

Ограничения - это социальные и экологические требования, исключающие или сводящие к минимуму вредное воздействие машины на человека и окружающую среду в процессе её производства и применения.

Внешние факторы могут ускорять или замедлять развитие техники, изменять тенденции её развития.

На темпы развития машины оказывают влияние и такие факторы, как длительность периодов научно-исследовательских и опытно-конструкторских

работ, подготовки производства, предшествующих промышленному освоению машины и внедрению её в сферу применения.

Внутренние факторы присущи самой машине. Важным фактором являются естественные законы, на которых базируется технический принцип. Так повышение коэффициента полезного действия (КПД) поршневых паровых двигателей ограничилось практически 14% в силу действия законов термодинамики, и никакие технические совершенствования этих двигателей объективно не позволяли преодолеть этот предел. И только переход на новый технический принцип работы двигателя позволил повысить его КПД.

Подобно этому законы прочности не позволяют беспредельно снижать массу конструкций без ущерба для её надёжности и работоспособности. Законы механики предъявляют соответствующие требования к выбору конструктивных форм элементов машины и их соединению, выбору типов и параметров её двигательной установки, передаточного механизма и исполнительного (рабочего) органа.

Другим важным внутренним фактором является длительность жизненного цикла технического принципа, на котором базируется машина, и степень использования его потенциальных возможностей на момент прогнозирования. В начальной стадии освоения технического принципа развитие машины идёт ускоренными темпами, но затем темпы развития замедляются и, наконец, развитие прекращается: технический принцип исчерпал себя.

Третьим фактором, определяющим темпы и тенденции развития машин особенно на ранних стадиях, является соответствие используемой конструктивной формы содержанию технического принципа. Существует определённая преемственность формы машин одного функционального назначения, но основанных на разных технических принципах. Так, форма двигателя внутреннего сгорания подобна форме поршневого парового двигателя, а водяное колесо дало форму паровой и газовой турбинам. Если форма соответствует новому принципу, это способствует ускорению темпа развития машин, если нет, то темп развития замедляется.

Темпы и тенденции развития машин определяются также взаимным влиянием машин различных типов. Темпы их развития могут замедляться, как, например, в случае с паровой турбиной при конкуренции с двигателем внутреннего сгорания, или ускоряться за счёт использования принципиальных решений элементов одних машин в конструкции других, например применение принципа коробки передач токарного станка в трансмиссии автомобиля.

Внутренние факторы отражают внутренние технические противоречия, разрешение которых является движущей силой развития видов и типов машин. В этом проявляется действие закона единства и борьбы противополож-

ностей, который определяет внутреннюю логику развития машины. Можно выделить принципиальные и конструктивные противоречия в развитии техники.

Принципиальные противоречия можно охарактеризовать как несоответствие между используемым в машине техническим принципом и требуемыми функциональными свойствами машины. Разрешение этого противоречия означает смену технического принципа.

Разрешение конструктивных противоречий приводит к развитию, совершенствованию машины в рамках одного и того же технического принципа, т.е. характеризует эволюционный этап, этап количественных изменений в развитии машины.

Процесс развития машин под действием внешних и внутренних факторов характеризуется единством происходящих в них количественных и качественных форм развития, движением от старого к новому на основе разрешения внешних и внутренних противоречий.

### ***1.3.2. Классификационная система машин***

Классификационная система основана на общности функционально-конструктивных признаков каждой группы машин и включает следующие уровни классификации: класс, род, вид, разновидность, тип, типоразмер, модель. Первые четыре подразделения характеризуют функциональные особенности техники, три последних - её конструктивные особенности.

*Класс* объединяет всю совокупность техники, предназначенной преимущественно в данной сфере общественного производства (например, машиностроительная, транспортная, строительная техника, химическое и нефтяное оборудование).

*Род* объединяет совокупность машин данного класса, предназначенных для выполнения данного вида работ (система средств механизации работ данного вида, например, металлообрабатывающие машины, машины наземного транспорта, бумагоделательное оборудование и т.п.).

*Вид* объединяет совокупность машин данного рода, предназначенных для выполнения соответствующего технологического процесса (система средств механизации технологического процесса при выполнении работ данного вида, например, металлорежущие станки, автомобили и т.п.)

*Разновидность* объединяет совокупность машин данного вида, предназначенных для выполнения одной или нескольких связанных операций технологического процесса (например, станки для обработки точением, грузовые автомобили, экскаваторы, рубительные машины и т.п.).

*Тип* объединяет совокупность конструктивно подобных машин, основанных на данном техническом принципе. Тип машин формируется на основе

конструктивно подобных элементов и характеризуется применяемым типом двигателя (дизельный, карбюраторный и т.д.), типом передаточного механизма (механическая трансмиссия, гидромеханическая, электромеханическая и др.), типом ходовой части (для мобильных машин), типом рабочего органа, типом системы управления (механическая, электрическая, гидравлическая и др.).

Таблица 1.1

Классификационная система машин

<b>Уровень классификации</b>	<b>Примеры классификационных групп</b>		
<i>Класс</i>	<i>Машиностроительная техника</i>	<i>Транспортные машины</i>	<i>Оборудование химическое и нефтяное</i>
<i>Род</i>	Металлообрабатывающие машины	Машины наземного транспорта	Бумагоделательное оборудование
<i>Вид</i>	Металлорежущие станки	Автомобили	Древесно-подготовительное
<i>Разновидность</i>	Станки для обработки точением	Грузовые автомобили	Рубительные машины
<i>Тип</i>	Токарно-винторезные Станки	Самосвалы с дизельным двигателем, механической трансмиссией	Дисковые рубительные машины
<i>Типоразмер</i>	Токарно-винторезный станок с наибольшим диаметром обрабатываемых изделий 400 мм и расстоянием между центрами до 1400 мм	Самосвал грузоподъемностью 8000 кг, колёсная формула 4x2	Дисковые рубительные машины многоножевые, большого диаметра
<i>Модель</i>	К62	МАЗ-5549	МРН-300

*Типоразмер* - это подразделение в составе данного типа, характеризующееся определёнными значениями классификационных параметров (например, автомобиль - самосвал соответствующего конструктивного типа грузоподъемностью 8 тонн, экскаватор соответствующего типа 4 размерной группы с основным ковшем вместимостью 0,65 м<sup>3</sup>).

*Модель* - конкретное конструктивное исполнение машины данного типоразмера, характеризующееся конкретным конструктивным и параметрическим её описанием. Номер модели (марка) фиксирует отличие данной модели от других моделей того же типоразмера (например, экскаватор ЭО-4121А, рубительные машины МРН-300).

Примеры предлагаемой классификации машин приведены в табл. 1.1. Такая классификация позволяет определить пределы количественных изменений в рамках данной качественной определённости, установить, как и когда изменение отдельных свойств машины переводят её из одного качественного состояния в другое.

## 1.4. Основные принципы и тенденции при конструировании машин

### 1.4.1. Последовательность и итерационность разработки конструкторской документации. Функциональная целесообразность и конструктивная преемственность

*Последовательность* - очерёдность выполнения этапов и стадий.

*Итерационность* - корректировка решений предыдущих этапов.

*Функция* - основа задачи конструирования. Цель конструирования наиболее полное решение поставленной функциональной задачи.

Для решения функциональной задачи одинаково важны геометрические формы (конструкция), материалы и технология, взаимосвязь которых представлены на рисунке 1.4.

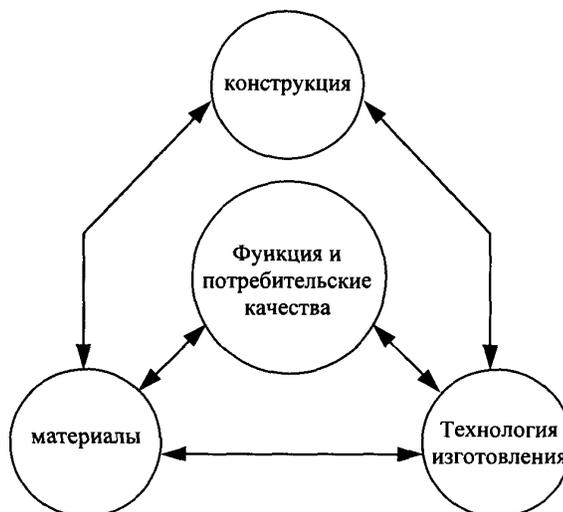


Рис. 1.4. Граф взаимосвязи конструкции, материалов и технологии

Воспроизведение функций машины представляется в виде трёх равноценных составляющих:

- 1) механической системы, воспроизводящей заданные движения или обеспечивающей заданное состояние;
- 2) системы измерения или восприятия характеристик процесса;
- 3) системы управления процессом.

*Функциональная целесообразность* - принцип соответствия выбранного решения целесообразности поставленной задачи.

Яркий пример несоблюдения принципа функциональной целесообразности показан в произведении Лескова Н.С. «Левша». Зачем подкова стальным лапкам блохи? Не подтверждается и превосходство Левши - детали механизма блохи точней и меньше подковы, к тому же блоха с подковами перестала прыгать.

Принцип функциональной целесообразности выражается в показателях функционирования (назначения): производительности, материалоёмкости, энергоёмкости и др. *Под производительностью* понимается количество производимой продукции в единицу времени; *под материалоёмкостью* - отношение массы машины к единице вырабатываемой продукции; *под энергоёмкостью* - количество энергии, затрачиваемой на выпуск единицы продукции.

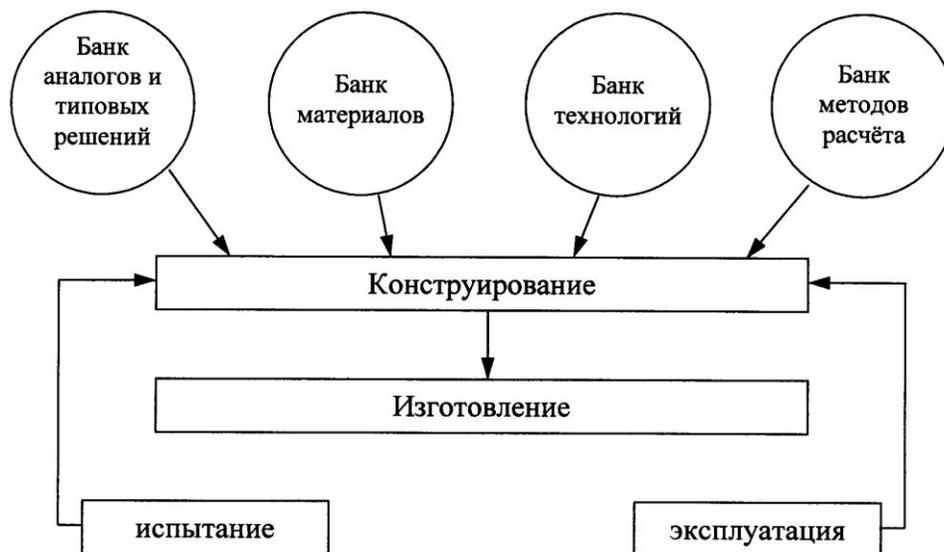


Рис. 1.5. Схемы конструктивной преемственности

Заметим, что все, что производится, называется *продукцией*. Понятие *продукция* охватывает изделия и продукты. *Изделие* в процессе использования заметно не теряет своей массы. Например, к изделиям относятся машины и

оборудование. *Продукты* при использовании теряют свою массу: пищевые продукты, горюче-смазочные материалы и др.

*Конструктивная преемственность* - использование в конструкции технических решений, применяемых в прототипах и в других машинах, использование банков конструкций и технических решений, материалов и технологий (рис. 1.5).

## **1.4.2. Учёт тенденций развития машин при конструировании**

Перечисленные ниже тенденции не догма. Использование любой тенденции надо проверять на соответствие принципу функциональной целесообразности. Заметно выражены следующие тенденции развития машин:

- 1) увеличение основных параметров машин;
- 2) замена механизмов с возвратно-поступательными или возвратно-вращательными движениями механизмами, все звенья которых совершают вращательные движения, например, поршневых компрессоров - турбокомпрессорами, лесопильных рам - круглопильными станками, поршневых двигателей - турбодвигателями и т.д.;
- 3) применение многодвигательных приводов взамен однодвигательных; многообразие приводов: электрических, гидравлических, пневматических и др.;
- 4) применение низших кинематических пар взамен высших, применение передаточных устройств с гибкими звеньями;
- 5) применение подшипников жидкостного трения взамен подшипников качения;
- 6) применение упругих шарниров и упругих направляющих взамен традиционных кинематических пар в условиях ограниченных перемещений соответственно угловых и линейных;
- 7) применение пластмасс и композитных материалов в «не силовых» элементах конструкций;
- 8) предпочтение штампованных и штампованно-сварных деталей литьем;
- 9) применение неразъёмных соединений взамен разъёмных, в частности пластических соединений взамен болтовых;
- 10) уплотнение неподвижных стыков специальными герметиками, а не прокладками;
- 11) применение быстроходных приводов взамен тихоходных. Замена двигателей постоянного тока двигателями асинхронными с частотным регулированием;

12) предпочтение статически определимых и достаточно деформативных систем звеньев, опор и подвесок агрегатов, обеспечивающих их самостановку, статически неопределимым системам, требующим регулировки или подгонки взаимного расположения звеньев;

13) предпочтение систем с короткой размерной цепочкой системам с длинной размерной цепочкой, что повышает точность системы;

14) применение коротких замыканий силовых линий в машинах взамен длинных силовых линий;

15) резервирование машин в поточных линиях;

16) применение пневматических и гидропневматических конструкций элементов в системах виброизоляции;

17) комплексная механизация и автоматизация всех технологических операций при изготовлении изделий, роботизация производства;

18) автоматизация управления машиной;

19) применение встроенных систем диагностирования;

20) применение централизованной смазки и безизносных кинематических пар на основе избирательного переноса;

21) поверхностное упрочнение деталей в элементах кинематических пар, применение противоизносных покрытий (хромирование, керамические покрытия и т.д.).

### ***1.4.3. Автоматизация конструкторских работ, оптимизационное и ресурсное проектирование, математическое моделирование***

*Автоматизация конструкторских работ* заключается в применении САПР. *Оптимизационное проектирование* предусматривает выбор наилучших из всех возможных решений. *Ресурсное проектирование* заключается в определении ресурса всех составных частей машины в соответствии принятым нормативным ресурсом проектируемой машины. Ресурсное проектирование по трудоёмкости соизмеримо с разработкой конструкторской документации и в настоящее время находится в стадии зарождения. При оптимизационном и ресурсном проектировании используется *математическое моделирование*.

### ***1.4.4. Типизация, комплексность, поточность***

*Типизация* заключается в том, что для машин массового и серийного производства, а в отдельных случаях и индивидуального производства, разрабатываются типажные машины с конкретными параметрами и размерами,

например, грузоподъёмностью автомобилей, обрезной шириной бумаги на бумагоделательных машинах.

*Под типажом* машин понимается технически и экономически обоснованная совокупность типов и типоразмеров машин, обладающих общностью назначения. В основу типажных машин закладывается базовая модель, под которой понимается конструктивное исполнение машины, являющейся основой для ряда машин подобного типа или его модификаций.

*Комплексность* заключается в разработке комплекса машин для выполнения всех технологических операций, согласованных по производительности и другим признакам. Комплексность есть основа производительности образования *поточных линий*, в том числе автоматизированных.

#### **1.4.5. Принципы иерархичности и декомпозиции конструкций**

*Принцип иерархичности* конструкции заключается в разбивке конструкции машины на сборочные единицы (узлы), состоящие из сборочных единиц второго уровня и деталей, на сборочные единицы второго уровня и последующих уровней на детали, на системы контроля и управления и на системы, поддерживающие работу технической системы.

*Принцип декомпозиции* (блочности, модульный принцип) позволяет осуществлять независимую, параллельную сборку отдельных сборочных единиц, их обкатку и проверку, и подачу на общую сборку в законченном виде. При эксплуатации машин этот принцип позволяет реализовать блочный метод ремонта машин. Циклы сборки и ремонта уменьшаются.

Для обеспечения модульного принципа машина должна иметь чёткое деление на сборочные единицы, высокий коэффициент сборности (блочности), под которым понимается относительное содержание в конструкции машины элементов, объединённых в отдельные блоки.

Коэффициент сборности равен

$$K_{сб} = \frac{Q_{сб}}{Q_o}, \quad (1.1)$$

где  $Q_{сб}$  - количество, масса или стоимость специфицируемых составных частей изделия, входящих в сборочные единицы;

$Q_o$  - общее количество, масса или стоимость всех составных частей машины.

#### 1.4.6. Принцип унификации и стандартизации

*Унификация и стандартизация* заключается в применении в машине унифицированных или (и) стандартных составных частей.

*К стандартным* относятся изделия, основные параметры которых установлены государственными отраслевыми стандартами, а также нормами машиностроения.

*К унифицированным* относятся изделия, изготовленные по стандартам предприятия, или оригинальные изделия, используемые не менее чем в двух типоразмерах или видах изделия, а также серийно изготавливаемые покупные изделия.

Унификация и стандартизация устраняют излишнее многообразие изделий, удешевляют изготовление машины. Изготовление оригинальной детали обходится в несколько раз дороже стандартной или унифицированной. Поэтому, где возможно, нужно применять стандартные или унифицированные составные части машины.

Уровень стандартизации и унификации оценивается коэффициентами применимости стандартных  $K_{cm}$  или унифицированных  $K_y$  составных частей, определяемыми по формулам:

$$K_{cm} = \frac{n_{cm}}{n_{cm} + n_y + n_o} 100\%; \quad K_y = \frac{n_y}{n_{cm} + n_y + n_o} 100\%, \quad (1.2)$$

где  $n_{cm}, n_y, n_o$  - количество типоразмеров соответственно стандартных, унифицированных и оригинальных составных частей машины.

Так, уровень унификации оборудования ЦБП следующий: бумагоделательных машин - 70%, продольно-резательных станков - 90%, установок непрерывной варки целлюлозы - 40%. Например, в бумагоделательной машине Б15 оригинальных сборочных единиц - 6673, оригинальных деталей - 4984, унифицированных и стандартных - соответственно 3566 и 15110.

Унификация обеспечивается следующим методами:

*секционированием* - разделением машины на одинаковые секции и образованием производных машин набором унифицированных секций (например, транспортеры, насосы, фильтры и т.п.);

*изменением линейных размеров* - изменением длины, сохранением формы поперечного сечения. Например, сушильные цилиндры бумагоделательных машин с обрезной шириной бумаги 4200 и 6720 мм имеют один диаметр (крышки, паровые головки и пароконденсатные системы);

*методом базового агрегата* - на базовый агрегат навешивается разное оборудование, и получают машины различного назначения;

*конвертированием* - переоборудованием машины для работы по противоположному назначению, например, двигателя постоянного тока - в ге-

нератор электрического тока, турбокомпрессора - в вакуумный турбоагрегат;

*компаундированием* - параллельным соединением одинаковых агрегатов (например, сдвоенный дефибрер, горизонтальный поршневой насос);

*модифицированием* - переделкой машины с целью приспособления ее к иным условиям работы, например машины для работы в обычных климатических условиях - в машину для работы в тропическом или арктическом исполнениях, или бумагоделательной машины для выработки газетной бумаги - в машину для производства санитарно-гигиенических бумаг;

*агрегатированием* - сочетанием унифицированных сборочных единиц в машине (двигателей, редукторов, валов и т.п.);

*комплексной нормализацией*, т.е. когда машины целиком собираются из нормализованных конструкций;

*универсализацией* машин.

## ***1.4.7 Увеличение рабочих параметров машин с одновременным снижением удельной материалоемкости.***

### ***Повышение мощности единичных агрегатов***

*Под удельной материалоемкостью* понимается отношение массы машины к единице выпускаемой продукции.

Удельная материалоемкость характеризует рациональность конструкции, отсутствие «лишнего» металла, завышенных запасов прочности.

## **1.5. Качественные показатели машин**

*Качеством продукции* называется совокупность ее свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением.

Количественными характеристиками качества машин являются следующие показатели: технологичности, эргономические, эстетические, санитарно-гигиенические, безопасности, патентно-правовые, трибологические, надежности.

### ***1.5.1. Показатели технологичности машин***

*Технологичность конструкции* машины - это возможность изготовления ее деталей, сборки сборочных единиц с наименьшими трудовыми затратами при рациональном расходовании материала. Технологичность оценивается удельной трудоемкостью производства, характеризуемой отношением затрат времени в нормо-часах на изготовление машины к основному параметру, определяющему производительность машины.

Технологичность характеризуется следующими показателями:

1) *соответствие конструктивных форм детали условиям технологии их изготовления.* Например, при изготовлении литых деталей необходимо предусмотреть литейные уклоны; сварных деталей - удобство и даже возможность выполнения сварных работ; при механической обработке - создание удобных баз для установки и мест крепления изделия на станке, обеспечение доступа к обрабатываемым поверхностям режущего и измерительного инструментов, уменьшение размеров обрабатываемой поверхности; создание форм, удобных для обработки поверхностей, минимизацию количества установок при обработки детали;

2) *экономичность расходования материалов,* особенно легированных сталей, цветных металлов, достигаемая выбором сечений, применением тонкостенных конструкций, окон и выемок в ненагруженных частях детали, введением ребер жесткости. Иначе рациональность конструкции обеспечивается равнопрочностью всех конструктивных элементов детали. Каждая частица детали должна работать. Следует, где возможно, применять пластмассу и композитные материалы, вместо стали - более дешевый чугун, составные сборные конструкции деталей, например, трубчатые и сплошные конструкции валов, венец червячного колеса бронзовый, а ступица - чугунная.

Степень насыщенности конструкции машины рациональными в техническом отношении материалами, современными тонкостенными конструкциями, гнутыми элементами, деталями, полученными прокаткой, определяется по формуле

$$K_{сб} = \frac{Q_{сб}}{Q_{общ}}, \quad (1.3)$$

где  $Q_{сб}$  - количество или стоимость конструктивных изделий;

$Q_{общ}$  - общее количество конструктивных изделий или их стоимости;

3) *обоснованность применения каждого механизма,* сложного устройства, сложных деталей, деталей, без которых, на первый взгляд, можно обойтись. Должна быть обоснована необходимость каждой выточки, уступа на детали и т.п. Этот показатель для опытного конструктора очевиден и приводится лишь как напоминание студентам;

4) *назначение обоснованных допусков и отклонений, зазоров и посадок* в соединениях деталей исходя из технических и экономических соображений. Увеличение точности изготовления деталей и повышение чистоты обработки поверхностей повышает стоимость их изготовления;

5) *технологичность сборочно-разборочных операций.* Удобство сборки и регулирования обеспечивается доступностью ко всем собираемым деталям, доступностью инструмента к крепежным деталям, возможностью необходимых измерений. Для установки и выверки деталей предусматриваются окна, люки специальные приспособления. Для удобства раз-

борки предусматривается возможность съема деталей с учетом возможности их «прикипания» в процессе эксплуатации (подшипников, шкивов, зубчатых колес и т. п.). Для этого предусматриваются технологические отверстия, в том числе резьбовые для съема детали. Предусматриваются рациональные соединения, например посадка тяжелых деталей на конус и т.п. Уменьшается объем пригоночных операций при сборке путем применения компенсирующих устройств (подкладок, прокладок, пружин) путем уменьшения площади поверхностей, по которым производится пригонка.

### ***1.5.2. Триботехнические показатели***

Заключаются в обеспечении надежности смазки всех трущихся поверхностей и в применении материалов в узлах трения с высокой износостойкостью, в контроле смазки.

### ***1.5.3. Эстетические показатели***

В настоящее время при конструировании уделяется большое внимание внешнему виду изделия - технической эстетике. При конструировании машин добиваются такого внешнего оформления, которое бы производило наиболее благоприятное впечатление. Эта сложная задача решается, как правило, совместно специалистом в области художественного конструирования (дизайнером) и конструктором изделия.

Внешний вид изделия решается уже при разработке схемы общей его компоновки. На этом этапе конструирования создается композиция изделия, обеспечивается совершенство формы и соразмерность, как самого изделия, так и всех его узлов.

Техническая эстетика не должна вступать в противоречие с технической целесообразностью. Поэтому при оформлении внешнего вида изделия стремятся сохранить единство его структуры с назначением и конструктивной основой.

Машина должна быть красивой. Красивая машина конкурентоспособна. Замечено, что производительность труда на красивой машине выше.

Главные критерии красоты:

взаимосоответствие (неразрывная связь) формы, функции и содержания (внутреннего строения);

единство и целостность композиции;

соблюдение пропорций конструктивных элементов, использование древнего правила «золотого сечения», которое характеризуется следующими соотношениями размеров - 0,382:0,618:1,000:1,618:2,618 и т.п.;

обеспечение масштабности;

визуальное восприятие устойчивости, прочности, равновесия. В отличие от физических категорий характеризует чисто субъективное зрительное восприятие перечисленных категорий (например, наклон Пизанской башни);

восприятие динамичности конструкции;  
обтекаемость, не угловатость форм;  
цветовое оформление.

Цветовой тон, контрастность, насыщенность цвета вызывают различные эмоции и оказывают разные психологические воздействия на человека:

красный цвет - возбуждающий, горячий, энергичный, быстро утомляет зрение;

коричневый цвет - теплый, создает мягкое спокойное настроение, выражает прочность, устойчивость, но способен располагать к мрачному настроению. Коричневый цвет, с синим оттенком, угнетает, настораживает, вызывает тревогу, ожидание неприятностей;

оранжевый цвет - горячий. Он согревает, бодрит, стимулирует к активной деятельности;

желтый цвет - теплый, веселый, располагающий к хорошему настроению, обостряет слух, успокаивает, умиротворяет человека, снимает раздражение;

синий цвет - напоминает о воде, о холоде. Он свеж и прозрачен. Его воздействие уменьшает физическое напряжение, успокаивает;

фиолетовый цвет - это цвет утомляемости и беспокойной взволнованности;

белый - холодный, благородный;

черный - мрачный, тяжелый, резко снижает настроение.

В восприятии человеком цвета важную роль играет сочетание цветов, цветовой контраст. Четко воспринимаемые контрастные сочетания, цветов по степени убывания следующие: синий на белом; черный на желтом; желтый на белом; черный на белом; зеленый на красном; красный на желтом; оранжевый на черном и белом; красный на зеленом.

#### ***1.5.4. Эргономические и санитарно-гигиенические показатели, показатели безопасности***

Эргономика - это наука, изучающая функциональные возможности и особенности человека, работающего с машиной и возникшая на стыке технических наук, психологии, физиологии. *Эргономические показатели* включают в себя антропометрические, физиологические и психологические требования. Эргономические показатели характеризуют степень приспособленности машины к взаимодействию с человеком-оператором.

Антропометрические требования характеризуют соответствие конструктивных элементов машины размерам и форме человеческого тела, его динамическим и массовым характеристикам. В частности, антропометрическими показателями являются: соответствие размерам человека размеров кабин и пультов управления, форм и размеров рукояток управления, размеров люков, дверей, площадок, хода педалей, размещения рычагов управления, параметров виброизоляции сидений и т.п.

Физиологические и, в частности, биомеханические требования определяются физиологическими свойствами человека: силовыми, скоростными возможностями человека, возможностями его органов чувств.

Психофизиологические требования определяют соответствие машины особенностям функционирования органов чувств человека (порчу слуха, зрения, осязания). Психофизиологические требования включают в себя особенности восприятия, памяти, мышления, образования, закрепления навыков и др.

Иногда к эргономическим относят санитарно-гигиенические показатели. Но эти показатели целесообразно выделять в отдельную группу, поскольку обеспечение их изучается в другой науке - «Безопасность жизнедеятельности».

*Санитарно-гигиенические показатели* характеризуют соответствие машины санитарно-гигиеническим нормам и рекомендациям по температуре, шуму, вибрации, запыленности, загазованности, токсичности, радиации, влажности, инфра- и ультразвуку и др.

### ***1.5.5. Показатели надежности***

Показатели надежности - одна из важнейших групп показателей качества машин, характеризующих способность машины выполнять заданные функции в рассматриваемый момент времени или в пределах заданного отрезка времени, сохранить во времени эксплуатационные показатели в заданных пределах, соответствующих заданным решениям и условиям использования, ремонтов, хранения и транспортирования.

Основными показателями надежности являются безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, а также контролепригодность.

*Безотказность* - свойство машины сохранять работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов - отказов. Характеризуется вероятностью безотказной работы, наработкой на отказ, гарантийной наработкой.

*Долговечность* - свойство машины сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта. Характеризуется следующими категориями: ресур-

сом, межремонтным сроком службы, сроком службы до первого капитального ремонта и др.

*Ремонтопригодность* - приспособленность машины к предупреждению, обнаружению и устранению отказов путем проведения технического обслуживания и ремонта. К ремонтнопригодности можно отнести *контролепригодность*, под которой понимается приспособленность машины к контролю и диагностированию ее технического состояния при эксплуатации.

*Сохраняемость* - сохранение изделием эксплуатационных показателей в течение и после срока хранения и транспортирования, установленных технической документацией.

Важным показателем надежности больших технических систем и точных машин, является *резервирование* отдельных машин и конструкций. При отказе того или иного агрегата включается в работу резервный агрегат.

### **1.5.6. Патентно-правовые показатели**

Ценную основу конструкторского проекта представляет интеллектуальная собственность разработчика, предприятия, которая может продаваться и покупаться, а также вороваться. Интеллектуальная собственность – это мысли, идеи, воплощенные в проекте машины. В этой связи особое значение приобретает патентная способность и патентная чистота, воплощенные в технических решениях при разработке проекта машины.

*Патентная чистота* предусматривает наличие в проекте только своей официально признанной интеллектуальной собственности или законно приобретенного права на использование чужой собственности путем закупки лицензий.

Закупка лицензий ускоряет технический прогресс и повышает эффективность общественного производства в тех областях науки и техники, уровень развития которых ниже уровня, достигнутого в других странах.

Во многих странах мира защищаются патентами, свидетельствами следующие виды интеллектуальной деятельности: открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, полезные модели.

*Открытие* – установление неизвестных ранее объективно существующих закономерностей свойств и явлений материального мира. Оно должно быть экспериментально подтверждено и являться новым для науки во всем мире.

*Изобретение* – отличающееся существенной новизной решение технической задачи в любой области народного хозяйства, культуры, здравоохранения или обороны, дающее положительный эффект.

*Промышленный образец* – новое промышленное решение изделия, например, новая модель машины, прибора, механического приспособления.

*Товарный знак* – оригинально оформленный отличительный знак с каким-нибудь условным изображением, помещаемый фирмой или предприятием-изготовителем на изделии для его индивидуализации, например, значок на радиаторе автомобиля.

*Полезная модель* – это, как правило, конструктивное решение какого-либо изделия, не обладающее существенной новизной как изобретение, но имеющее оригинальную конструкцию, схему, решение.

*Патентоспособность* характеризует наличие в проекте решений, которые могут быть признаны официально объектами интеллектуальной собственности, на которые имеются патенты на изобретения, на полезные модели.

Выявление патентоспособности и патентной чистоты осуществляется при патентной экспертизе.

Патентно-чистой разрабатываемая конструкция может быть в следующих вариантах:

1) все технические решения (общая схема, конструкции составных частей, материалы и т.д.) оговорены в патентах, срок действия которых уже истек, или являются общеизвестными и не подлежащими патентованию - это наиболее распространенный и самый простой вариант, но он не позволяет создать конкурентоспособную машину;

2) все технические решения запатентованы разработчиком и производителем машин - это наиболее предпочтительный вариант, но требует больших интеллектуальных затрат;

3) все технические решения выполнены в соответствии с лицензиями иных патентообладателей – такой вариант сопряжен с наибольшими первоначальными затратами средств, но может сократить время, затрачиваемое на разработку проекта;

4) сочетание в разной пропорции всех трех вариантов.

Приведенные показатели качества нельзя считать исчерпывающими. При разработке конкретных конструкций могут быть и другие качественные показатели.

Повышение технического уровня, качества изготовления, а также обеспечение высоких эксплуатационных характеристик машин должны осуществляться комплексно, т.е. на соответствующих стадиях ее жизненного цикла. В самом деле, технический уровень машин формируется в основном на допроизводственной стадии, высокое качество изготовления достигается высоким технико-экономическим и организационным уровнем производства и поддерживается на стадии эксплуатации (использования) продукции. Это означает, что механизм планового повышения технико-экономических показателей разрабатываемых, выпускаемых и используемых

мых машин, должен «функционировать» на всех стадиях ее жизненного цикла.

Качество машин составляет техническое ядро конкурентоспособности, которая определяется также их стоимостью и такими факторами, как специфика конкретного рынка сбыта, влияние моды и т.д. Конкурентоспособность машин зависит от перечисленных факторов: чем ниже их стоимость (цена) при одинаковом качестве и прочих равных условиях, тем выше ее конкурентоспособность. Совокупная оценка качества продукции неполна без учета экономических (стоимостных) оценок ее разработки, производства и использования.

### *1.5.7. Экономические показатели*

К экономическим показателям разрабатываемых машин относятся производительность, энергоемкость, материалоемкость, удельные трудозатраты на изготовление машины, капиталоемкость, удельная стоимость машины, ремонтоемкость или удельные затраты на поддержание оборудования в технически исправном работоспособном состоянии.

*Производительность* – объем вырабатываемой продукции в единицу времени в целом на машину или на одного работающего на машине.

Различают конструктивную, техническую и эксплуатационную производительности машины.

*Под конструктивной производительностью* понимают выработку в единицу времени, определяемую расчетным путем на основании конструктивных данных.

*Техническая производительность* равна технической выработке в единицу времени при непрерывной работе в конкретных производственных условиях. *Эксплуатационная производительность* представляет собой выработку машины, отнесенную ко всему времени, в течение которого получена эта выработка, включая время на ремонт, осмотр, заправку, регулировку, а также время на остановки по организационно-технологическим причинам.

*Энергоемкость* – затраты электрической и тепловой энергии на единицу вырабатываемой продукции, расход топлива на величину пробега автомобиля и т.п.

*Материалоемкость* – масса машины, отнесенная к параметру, характеризующему производительность машины или к самой производительности.

*Удельная стоимость машины* – стоимость, отнесенная к единице вырабатываемой продукции.

*Капиталоемкость* – капитальные затраты на изготовление машин поточной линии, коммуникаций, на строительство зданий и сооружений

для установки оборудования, отнесенные к единице выпускаемой продукции, например, рублей, отнесенных к 1 кг вырабатываемой бумаги.

*Водопотребление* – затраты свежей воды, отнесенные к единице вырабатываемой продукции.

*Ремонтоемкость* – годовые затраты на поддержание машин и оборудования в исправном работоспособном состоянии, отнесенные к стоимости основных фондов, в процентах.

*Эффективность машины* – это отношение всех затрат к единице вырабатываемой на машине продукции. Качественно под эффективностью понимают показатели качества плюс экономические показатели.

Если составляющие качества, выраженные соответственно в относительных или абсолютных величинах, представить в виде комплексного (обобщенного) показателя как числитель дроби, то стоимость (цена) продукции, формируемая на каждой стадии ее жизненного цикла, может быть отражена в знаменателе. Достижение наибольшей из всех приемлемых значений этой величины, называемой интегральным показателем качества, характеризует выбор наиболее предпочтительного (с экономической и технической точек зрения) варианта создаваемой машины.

Этот показатель чрезвычайно важен при выборе того или иного направления технического развития, создании новых машин, так как только совокупность технической и экономической оценок дают представление о целесообразности принятого решения.

## 2. СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ [2]

---

*Целлюлозно-бумажное производство, как и другие производства, непрерывно развивается, обновляются технологии и оборудование, совершенствуется организация производства. Последние 20 лет вследствие разрушения отечественной науки в области ЦБП и бумагоделательного машиностроения предприятия ЦБП весьма слабо обновлялись современным оборудованием и новыми технологиями, в основном, путем приобретения некоторого оборудования за рубежом.*

*В разделе приводятся краткие сведения о направлениях развития технологий и оборудования древесно-подготовительного, древесно-массного, целлюлозного и бумагоделательного оборудования, в основном, по зарубежным источникам.*

### 2.1. Тенденции развития технологии и оборудования древесно-подготовительных и древесно-массных производств

(обзор подготовлен по рекламно-информационным источникам фирм-изготовителей оборудования)

Оборудование древесно-подготовительных производств предназначено для производства, хранения и транспортирования технологической щепы. Оно состоит из слешерных установок для разрезания поступающих с биржи сырья бревен или хлыстов на балансы; из корообдирочных барабанов, рубительных машин, сортировок щепы, установок для складирования щепы и коры; транспортирующих устройств для подачи щепы в древесно-подготовительное и целлюлозное производство. Современное древесно-подготовительное производство показано на рис 2.1.

На процесс окорки в зимнее время существенное влияние оказывает температура. Силы сцепления коры с древесиной при отрицательной и положительной температуре отличаются в два и более раз. Поэтому в современных линиях по производству щепы применяют размораживающие устройства. Размораживание производится паром или горячей водой непосредственно в корообдирочном барабане или на ленточном транспортере перед барабаном.

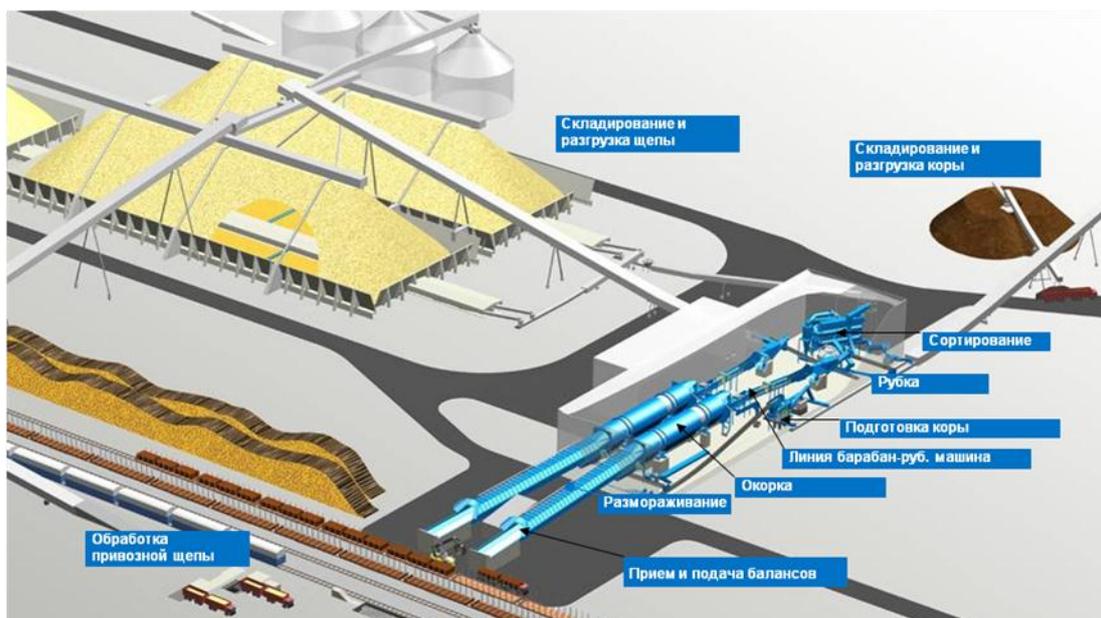


Рис 2.1. Современное древесно-подготовительное производство



Рис. 2.2. Корообдирочные барабаны на стальных катках (5.5×35м)

Увеличиваются габариты корообдирочных барабанов, диаметры достигают 5.5 метров, длина 35 метров (рис. 2.2).

В качестве опор барабанов применяют опорные стальные катки, резиновые колеса, гидростатические опоры. Предлагается принци-

ально новые окорочные устройства *RotaBarker*. Окорка происходит при вращении валов-роторов, расположенных в нижней части устройства, при контакте балансов с зубцами-разрывателями, установленными на валах окаривающих сегментов, а также при контакте друг с другом. Общий вид и схема окорочного устройства показаны на рис 2.3.

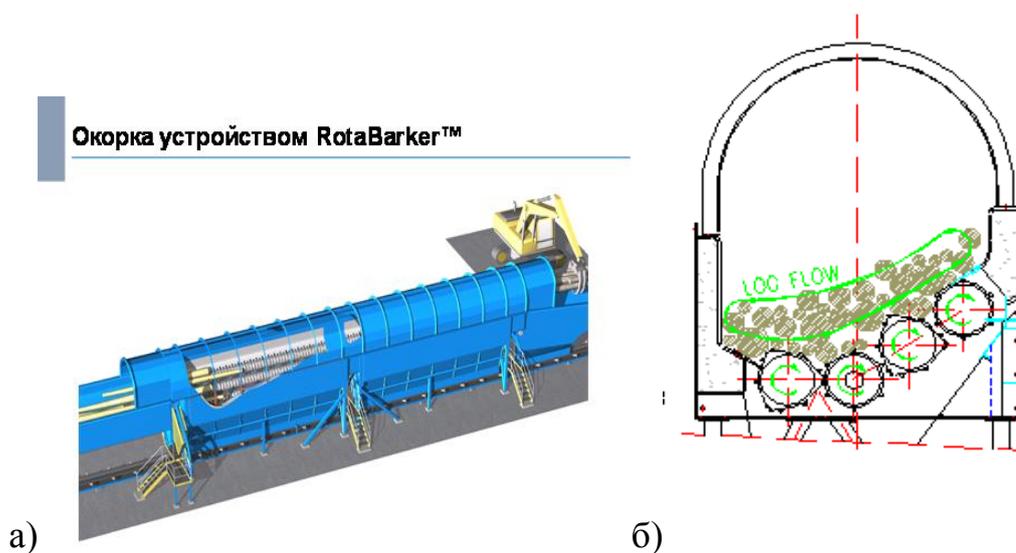


Рис 2.3. Общий вид (а) и схема (б) окорочного устройства *RotaBarker*

Рамная конструкция с бетонными карманами обеспечивают длительный срок эксплуатации и низкий уровень шума. Закрытая конструкция снижает уровень шума и препятствует распространению пыли. Легкая в обслуживании и простая конструкция уменьшает время остановов на техобслуживание. Легко заменяемые окорочные элементы снижают затраты на эксплуатацию. Специальное расположение роторов обеспечивает легкое удаление коры.

Из-за малых вращающихся масс меньше уровень вибрации, меньше масса фундамента. В 4 -5 раз уменьшается мощность привода. Сокращаются затраты на монтаж и инвестиционные затраты.

Для рубки щепы предлагаются многодвигательные рубительные машины (рис. 2.4) и дисковые сортировки щепы.

Древесная масса по способу производства подразделяется на дефибрерную из балансов, термомеханическую и химикотермомеханическую из щепы, макулатурную. В настоящее время около 90% всей древесной массы в мире производится из щепы. Производство древесной массы из балансов сокращается или подвергается модернизации. Широко развивается производство макулатурной массы, появился новый термин «товарная макулатурная масса ». В настоящее

время в Европейских странах доля производства картона, газетной, санитарно гигиенической бумаги из вторичного волокна достигает 70%.

### HQ-Chipper™



■ HQ-Chipper™, Metsä-Botnia Ab, Kaskinen, Finland

Рис 2.4. Многодвигательная рубительная машина *HQ-Chippe*

Совершенствование технологий и оборудования древесно-массных производств направлено на повышение качества получаемой массы и снижение удельного расхода энергии на производство. При производстве дефибрерной массы происходит дефибрирование под давлением, термдефибрирование; производство дефибрерной массы из щепы (используется в Канаде).

При производстве термомеханической и химикотермомеханической массы осуществляют:

совершенствование предварительной обработки щепы (промывка, пропарка, обработка химическими реагентами);

повышение концентрации и давления массы при размоле в мельницах;

повышение частоты вращения ротора мельницы на 1 ступени (RTS- способ);

выбор оптимальной интенсивности и частоты воздействий на обрабатываемой полуфабрикат (поиск оптимально рисунка и материала гарнитуры);

«щадящая» обработка отходов и массы на последующих ступенях;

совершенствование технологии рекуперации пара.

При производстве макулатурной массы обеспечивается повышение эффективности очистки массы от посторонних включений при минимальном укорочении волокна, следует также отметить, что в настоящее время широко развивается полная автоматизация управления технологическими процессами с элементами технической диагностики древесно-массных производств.

Все оборудование древесно-массных производств можно разбить на следующие группы:

для производства древесной массы из балансов (дефибреры);

для размола щепы и древесной щепы (мельницы);

для роспуска (гидроразбиватели);

для пропарки и обработки химическими реагентами щепы (пропарочные камеры импрессфайнеры);

для очистки и сортирования массы (вихревые очистители и сортировки).

Рассмотрим тенденции развития вышеперечисленных групп оборудования.

*Оборудование производства древесной массы из балансов:*

повышение долговечности дефибрерных камней. Создание принципиально новых конструкций машин, у которых абразивное зерно не испытывает знакопеременных нагрузок;

использование для насечки камня вместо шарошки sprays высокого давления.

*Оборудование для размола:*

повышение единичной мощности привода до 32 МВт;

повышение долговечности гарнитуры;

усовершенствование подшипниковых узлов мельницы;

использование конических мельниц для обработки массы низкой концентрации (рис 2.5), дисково-конических мельниц для размола щепы и массы высокой концентрации (рис 2.6), сдвоенных мельниц (рис 2.7).

*Оборудование для роспуска:*

усовершенствование конструкции ротора с целью увеличения концентрации массы в ванне;

отделение тяжелых и легких включений из массы при роспуске;

использование для роспуска двух последовательно соединенных мельниц-гидроразбивателей открытого и закрытого типов;

усовершенствование конструкций ванн для обеспечения лучшей циркуляции массы.

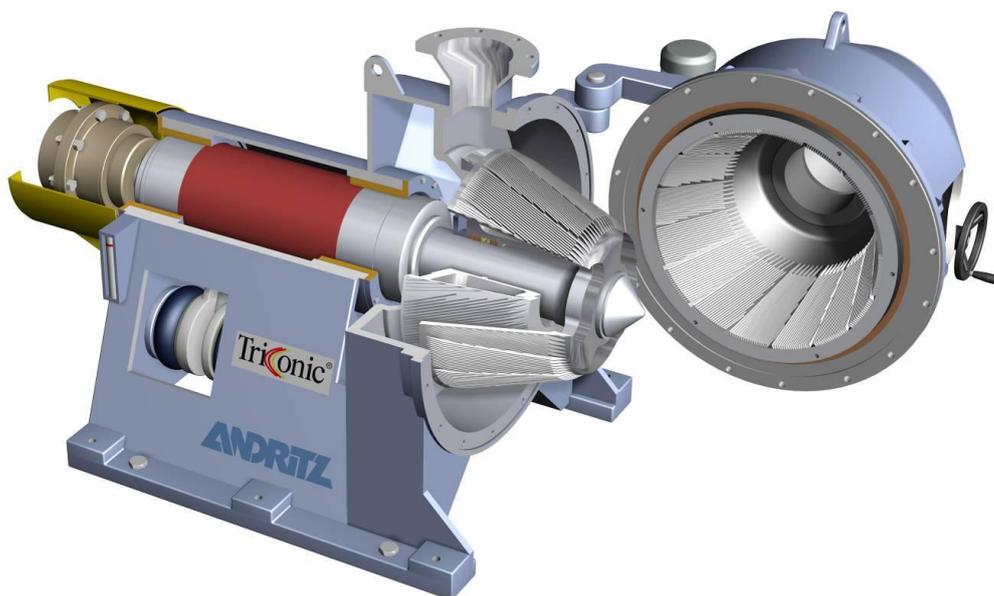


Рис. 2.5. Коническая мельница фирмы «Андритц»



Рис. 2.6. Дисконический ротор мельницы для размола щепы

*Оборудование для сортирования массы:*

увеличение размеров сита с целью повышения производительности;

усовершенствование конструкций сита. Применение щелевых и наборных сит (рис 2.8);

использование в конструкциях двух и более сит;  
отделение тяжелых и легких включений при сортировании;

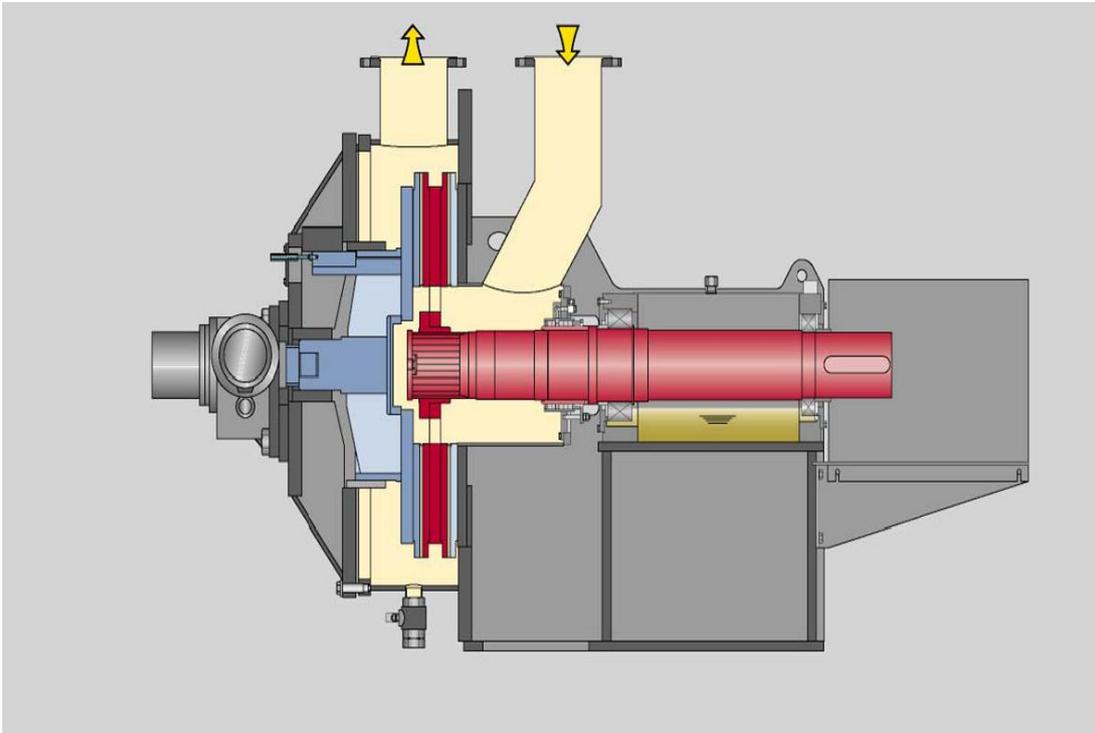


Рис.2.7. Сдвоенная мельница фирмы «Фойт»

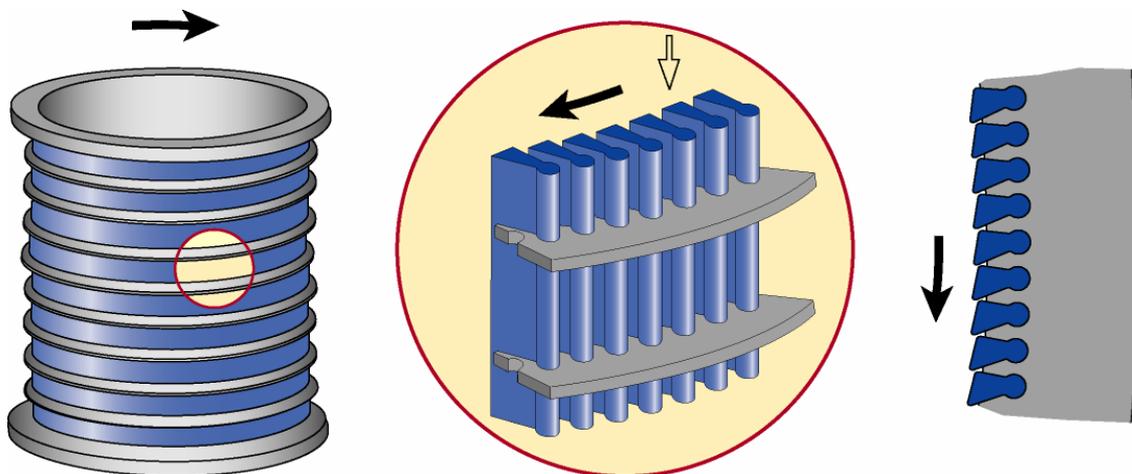


Рис. 2.8. Наборное сито сортировки

создание низкопульсационных сортировок с гидродинамическими лопастями;

использование для роспуска двух последовательно соединенных машин-гидроразбивателей открытого и закрытого типа;

усовершенствование механизма разрушения слоя осевших волокон на сите (лопастей, механизма тряски сита);

*Оборудование для очистки массы:*

применение аппаратов, использующих центробежную силу при очистке, типа центриклинер и его модификаций;

уменьшение диаметра центриклинеров до 100 – 150 мм с целью создания большей центробежной силы;

оснащение устройствами для удаления воздуха и легких включений (*Юнифло*, *Форжект*);

введение в конструкцию устройств для разбавления отходов на выходе (*Форжект*) и изменение сечения патрубка отходов (*Альбиа*);

введение в аппарат центробежного ротора при очистке массы высоких концентраций (*Фойт*);

объединение центриклинеров в компактное оборудование (радиклон, твинклинер);

применение в установках очистителей устройств для удаления воздуха из массы (декулатор, перевак, Бауэр-вак и др.)

## **2.2. Тенденции развития и основные направления модернизации бумагоделательных машин**

В разделе из всего разнообразия бумагоделательных, картоноделательных и сушильных машин рассматриваются только бумагоделательные машины на примере машин для производства газетной бумаги.

Современная бумагоделательная машина – это сложнейшая непрерывно действующая автоматическая поточная линия, в состав которой входят отдельные агрегаты (части) и системы. Составные части: напускные устройства (напорные ящики); формующие (сеточные); прессовые; сушильные части; каландры и накаты. Системы машин: массоподводящие, вакуумные, пароконденсатные, вентиляционные, системы смазки, автоматического регулирования и управления.

Развитие каждой части и каждой системы машины происходит во взаимной связи, но с характерными особенностями.

Общая же тенденция развития бумагоделательных машин – увеличение их параметров, влияющих на производительность: рабочей скорости и ширины бумажного полотна. Уже сейчас скорость бумагоделательных машин для производства газетной бумаги превышает 1000 м/мин и может достигать величины 1800 м/мин. Фирма «Фойт» объявила, что она рассматривает возможность увеличения скорости

машины до 3000 м/мин. Предельное значение скорости БМ ограничивается прочностью бумаги, материала валов и цилиндров, одежды.

Обрезная ширина бумажного полотна достигает 8400 мм. Оптимальная ширина бумажного полотна по данным исследований ЦНИИ Буммаша для разных видов вырабатываемой бумаги находится в пределах 6...8 м. Вряд ли следует прогнозировать появление БМ с рабочей шириной более 8400 мм.

По мнению большинства аналитиков, целлюлозно-бумажная промышленность в самом ближайшем будущем будет занята в основном проектами реконструкции и модернизации. При этом строительство новых производств сосредоточится преимущественно в странах Азии и Латинской Америки, где и будут иметь место новые инвестиции и крупные проекты.

В странах с развитой ЦБП стало рентабельно производить продукцию при использовании оборудования низкой производительности.

В России почти весь парк БМ в настоящее время работает с исчерпанным нормативным ресурсом.

Структура парка БМ на предприятиях России (данные на 2000 г.):

БМ со скоростью более 800 м/мин – 8 машин (3,6 %);  
со скоростью 500...800 м/мин – 19 машин (8,5 %);  
со скоростью 300...500 м/мин – 12 машин (5,4 %);  
со скоростью 100...300 м/мин – 106 машин (47,5 %);  
со скоростью менее 100 м/мин – 78 машин (34,9 %).

Структура парка картоноделательных машин (КДМ) на предприятиях России (данные на 2000 г.):

КДМ со скоростью 500...800 м/мин – 2 машины (3,5 %);  
со скоростью 300...500 м/мин – 7 машин (11,5 %);  
со скоростью 100...300 м/мин – 13 машин (21,5 %);  
со скоростью менее 100 м/мин – 38 машин (63,5 %).

Количество высокоскоростных БМ в российской ЦБП за последние годы не увеличилось. С другой стороны, число тихоходных БМ несколько возросло за счет приобретения за рубежом машин, бывших в эксплуатации.

На предприятиях ЦБП России практически не рассматриваются проекты с установкой новых бумаго- или картоноделательных машин.

Вопросы повышения качества выпускаемой продукции, увеличения производственной мощности, снижения эксплуатационных затрат решаются путем технического перевооружения существующих

производств с выполнением модернизации оборудования массоподготовительных отделов и бумаго- и картоноделательных машин.

В большинстве случаев модернизация включает не только замену физически изношенного оборудования на аналогичное по конструкции, но и установку современных узлов, позволяющих значительно повысить эффективность работы машин в целом. При выборе вариантов модернизации рассматриваются следующие направления развития:

расширение номенклатуры выпускаемой продукции (в соответствии с потребностью на рынке, стабильность работы предприятий, не зависящих от сезонных колебаний спроса на определенную продукцию и т.д.);

повышение производительности;

повышение качества выпускаемой бумаги или картона, в том числе сохранение качественных показателей бумаги или картона при использовании для их производства низкокачественного сырья (замена части целлюлозы макулатурой и т.д.).

Обязательное требование к модернизации – установка высокотехнологичного оборудования, которое обеспечит достижение требуемых производительности и качества выпускаемой продукции с минимальными затратами на их техническую эксплуатацию.

Тенденции развития БМ и направление их модернизации неразрывно связаны. Машиностроительные фирмы предлагают для модернизации БМ современные технические решения, используемые в новых машинах.

Рассмотрим тенденции развития составных частей и систем БМ поочередно по ходу формования и обезвоживания бумажного полотна на машине.

### ***Массоподводящие системы и напускные устройства***

Назначение – подача массы (волокнуистой суспензии) нужной концентрации и композиции на сетку формующей части.

Требование - равномерная подача на сетку по ширине и во времени однородной диспергированной массы необходимой концентрации и композиции с регулируемой скоростью и объемом, обеспечивающими заданные скорость БМ и массу квадратного метра бумаги. Перечисленные требования определяют тенденции развития массоподводящих и напускных систем.

Основная причина колебаний массы квадратного метра бумаги в продольном направлении – пульсация давления волокнуистой суспен-

зии, поступающей в напорный ящик, генерируемая смесительными и массными центробежными насосами, напорными сортировками. Пульсация давления происходит преимущественно на лопастной частоте, равной произведению частоты вращения насоса или ротора напорной сортировки на количество лопастей.

Для снижения пульсации в массоподводящей системе предлагаются к использованию малопульсационные насосы с увеличенным количеством наклонных лопастей, расположенных в два ряда в шахматном порядке, с высокой частотой обработки поверхностей и с большой точностью изготовления, обеспечивающих равенство объемов межлопастных пространств. Перед напорным ящиком устанавливаются гасители пульсации различных принципов действия и конструкций. Для удаления воздуха из массы устанавливаются декуляторы.

Напорные ящики открытого типа, еще встречающиеся в очень старых машинах, напорные ящики с воздушной подушкой заменяются напорными ящиками гидродинамического типа, в которых напор массы создается насосом. Машиностроительные фирмы предлагают напорные ящики гидродинамического типа различной конструкции и исполнения для широкого ассортимента видов бумаги и картона. Приведем сведения о напорных ящиках, предлагаемых ЗАО «Петрозаводскмаш» и фирмой *Voith*.

ЗАО «Петрозаводскмаш» предлагает в зависимости от машины и вырабатываемой продукции гидродинамические напорные ящики следующего конструктивного исполнения:

напорный ящик гидродинамического типа с двумя зонами двухступенчатых турбулизаторов (диффузорами) и промежуточной воздушной подушкой. Такие ящики были установлены при модернизации машин, вырабатывающих газетную бумагу на Кондопожском ЦБК;

гидродинамический напорный ящик с отдельно стоящим гасителем пульсаций, предлагается для установки на машины для выработки нескольких видов бумаги. В конструкции возможно изменение концентрации массы, подаваемой в напорный ящик, в большом диапазоне с изменением скоростных напорных характеристик. Гаситель пульсаций давления массы обеспечивает стабильность напуска массы на сетку, минимальные колебания массы  $1 \text{ м}^2$  по длине полотна.

В напорном ящике *Master GetPro* фирмы *Voith* регулирование массы  $1 \text{ м}^2$  бумаги и ориентации волокон в листе обеспечивается контролируемым введением в промежуточную камеру с помощью ин-

жекторов обратной воды низкой концентрации из коллектора. Распределение воды происходит равномерно по всей высоте промежуточной камеры. Благодаря инжекторным sprays, расположенным на расстоянии 50 мм друг от друга, достигаются улучшенный поперечный профиль по базовому весу полотна и оптимальная ориентация волокон. Особенно эффективно можно регулировать локальные нарушения базового веса с крупными перепадами, например, на краевых зонах, образующихся за счет отражения или волнистости.

Кроме новой системы разбавления поперечный профиль регулируется мехатронным устройством, состоящим из дозирующих элементов, клапанов, линейного привода и системы управления. Для разбивки флокул в промежуточной камере установлен генератор турбулентности.

Компоновка турбулентности и геометрия трубопроводов позволяют оптимально рассчитать параметры для каждого отдельно взятого сорта бумаги и эффективного энергопотребления для обеспечения продолжительной и стабильной работы оборудования. Благодаря оптимизации гидравлической системы напорного ящика, включая потоки массы высокого и низкого давления, полного отсутствия рециркуляционных потоков на поперечных распределительных трубках, потребление мощности смесительным насосом сокращается на 15-20%.

Напорные ящики подобного типа эффективно работают на бумагоделательных машинах по производству газетной бумаги массой 40-50 г/м<sup>2</sup> со скоростью до 1700 м/мин и обрезной шириной до 9000 мм.

### ***Формующие части***

На формующих частях БМ происходит формование и первичное обезвоживание бумажного полотна до сухости 18-20 %. Это наиболее интенсивно развивающаяся часть БМ, определяющая, по сути, развитие всей машины и часто ее название. Иначе, развитие формующих частей определяет поколения БМ.

В машинах первого и второго поколений примерно до 1950 года основными обезвоживающими элементами формующих частей (сеточных столов) были регистровые валы и вакуумные отсасывающие ящики. В конце периода второго поколения машин появились отсасывающие гауч-валы, бронзовые сетки заменены на синтетические. С увеличением скорости БМ увеличилось число обезвоживающих элементов и длина сеточного стола.

В машинах третьего поколения взамен регистровых валов стали применять синтетические гидропланки, совершенствовались крышки вакуумных отсасывающих ящиков. При скоростях машин более 300 м/мин отпала необходимость в механизмах тряски сеточного стола. При скорости БМ 750-800 м/мин и более из-за взаимодействия волокнистой суспензии с воздухом возникает градиент скорости слоёв, прилегающих к сетке и соприкасающихся с воздухом, что приводит к ориентации волокон в продольном направлении и к появлению ряби на поверхности волокнистой суспензии. Фильтрация воды через слой осевших волокон на сетке плоскосеточного стола происходит в одном направлении, что приводит к неравномерному распределению наполнителей по толщине листа. При скоростях БМ, превышающих 800 м/мин, использование плоскосеточных столов становится проблематичным.

В скоростных машинах четвертого поколения происходит формирование бумажного полотна в закрытой зоне, иначе двухсеточное формирование. В настоящее время различные фирмы предлагают десятки конструкций двухсеточных формующих устройств. Принципиальная схема обезвоживания в закрытой зоне формирования между двумя сетками показана на рис. 2.9. Основная сетка охватывает перфорированный формующий вал 2, имеющий отсасывающие элементы (ящики, камеры) 3. Дополнительная сетка 4 прижимается к основной сетке с определенным давлением  $p$ , зависимым от линейного натяжения  $q_c$ ,  $p = q_c/R$ , где  $R$  – радиус кривизны дополнительной сетки, примерно равный радиусу наружной поверхности формующего вала.

Масса через напускную щель 5 напорного ящика подается в клиновое пространство 6 между сетками. Под действием давления  $p$  в клиновом зазоре вода фильтруется через обе сетки и слои волокон, осевших на сетках. Для удаления воды и улучшения обезвоживания над дополнительной сеткой устанавливают вакуумные ящики 7 (гидравлические шаберы). В точке  $A$  оба слоя волокон смыкаются. По сути точка  $A$  характеризует положение сухой линии, а отрезок от начала клинового зазора до точки  $A$  соответствует регистровой части плоскосеточного стола.

Сокращение пути фильтрации воды при обезвоживании бумажной массы, многократное уменьшение длины регистровой части, обеспечивающее снижение габаритов формующей части, простое регулирование обезвоживания путем изменения удельного натяжения дополнительной сетки обуславливают применение этого способа

формования бумажного полотна при скоростях машин, достигающих 1800 м/мин.

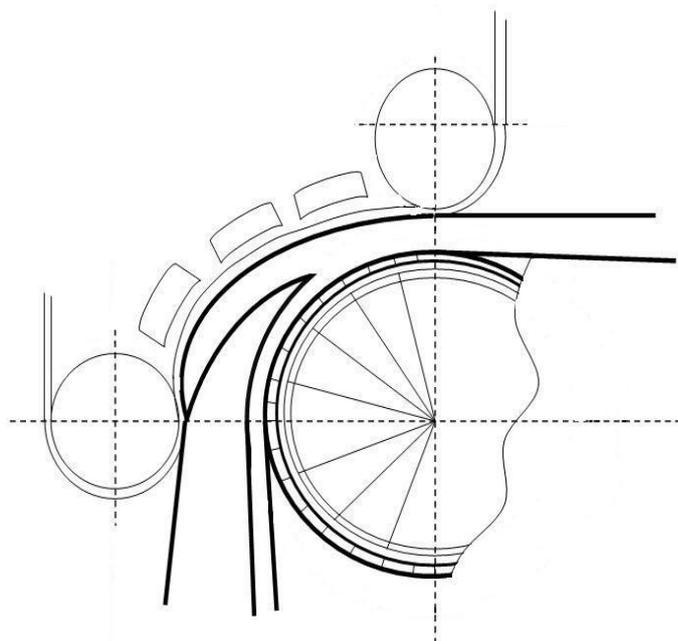


Рис. 4.9. Принципиальная схема двухсеточного формования бумажного полотна

Качество формования бумажного полотна определяется в значительной степени технологическими параметрами сеток. Выбор сеток - это результат компромисса между водопропускной, поддерживающей и транспортирующей функциями. Формующие сетки представляют собой тканую монофиламентную структуру, состоящую из продольных нитей основы и поперечных уточных нитей.

В настоящее время на скоростных БМ освоена эксплуатация сеток сложного переплетения (двухслойных, двухслойных с дополнительным утком, трехслойных, сеток с тремя слоями утка, сеток сложного плетения и т.д.) вместо сеток простого переплетения (однослойных), что позволило повысить качество продукции за счет улучшения формования бумажного полотна и увеличения удержания компонентов бумажной массы. Кроме того, применение сеток сложного плетения повышает срок эксплуатации формующих сеток и снижает количество внеплановых остановов БМ.

Следует отметить, что на малоскоростных машинах использование однослойной формующей сетки с высокой воздухопроницаемостью и низким показателем поддержки волокна позволяет изготовить

бумагу с высоким красковосприятием, сопротивлением выщипыванию в сухом и влажном состоянии, а также низкой микрошероховатостью и лучшей равномерностью печати сеточной стороны. Бумага имеет меньшую двусторонность. Но применение двухслойной формирующей сетки улучшает формирование бумаги, повышает ее печатный лоск, положительно влияет на микрошероховатость и равномерности печати верхней стороны.

### *Прессовые части*

Прессы БМ предназначены для обезвоживания бумажного полотна от сухости 18-20 % до сухости 45-48% путем его прессования в захватах валов. Бумага в захватах подается на прессовых сукнах. Наблюдается следующая эволюция прессовых частей.

Классическая схема прессов БМ второго и третьего поколения – это три-четыре последовательно расположенных двухвальных прессы. Первый пресс - отсасывающий - состоит из отсасывающего и гранитного валов, в последующих прессах вместо отсасывающего вала применяют желобчатые валы, валы с глухими отверстиями и даже гладкие валы. Все валы, кроме гранитного, обрезаются.

Более компактные трех- и четырехвальные прессы появились в машинах в конце третьего и начале четвертого поколений. При этом уменьшилась длина прессовой части и снизилось потребное количество валов. Для обеспечения трех захватов в четырехвальном прессе требуется четыре вала, а в двухвальных прессах – шесть валов.

Прижим валов в машинах первых поколений грузовой. В машинах последующих поколений используются пневмо- или гидроприжимы. Постоянство линейного давления по ширине бумаги в машинах первого поколения обеспечивается бомбировкой валов, в машинах последних поколений - применением валов с регулируемым прогибом на гидроддержке, хлопчато-бумажные тканые сукна заменены иглопрошивными синтетическими. Вальцевая промывка сукон заменена системой кондиционирования, состоящей из системы спрысков и щелевых сукномоек.

При увеличении скорости БМ сокращается время нахождения бумажного полотна и сукна в зоне захвата. Это время может быть меньше некоторого критического значения, необходимого для обезвоживания сукна и бумаги из-за ограничения скорости фильтрации воды. В этом случае вода в виде водяного клина «проскакивает» зону контакта, раздвигая валы. Для обеспечения обезвоживания бумаги на большой скорости машины применяют прессы с удлиненной зоной

прессования. Одним из путей удлинения зоны прессования является применение валов большого диаметра (до 1800 мм) с мягкой облицовкой. При линейном давлении 250- 350 кН/м ширина зоны прессования может достигать 100 мм. Более эффективными являются прессы с удлиненной зоной прессования башмачного типа.

При эксплуатации БМ производится очистка сукон и отверстий отсасывающих валов прессов. Диагностика и очистка сукон рассмотрены в п.3. Забивка отверстий перфорации рубашки валов происходит последовательно. Сначала забиваются отверстия в рубашке, а затем в покрытии, возникает глухое отверстие. Гидравлическое давление в глухом отверстии может быть причиной микроотслоений облицовки, а также размывки коррозионостойкого слоя, наносимого в некоторых технологиях на поверхность вала перед его облицовкой. Кроме того, при забивке отверстий наблюдается маркировка бумаги.

Устранение забивки отверстий производят ручным или машинным высверливанием, распылением высокого давления или химической очисткой.

Ручное высверливание дрелью наиболее трудоемкий и опасный способ очистки. Опасность заключается в срабатывании отверстий в корпусе и покрытии из-за невозможности точного центрирования сверла и отверстия. Кроме того, возможно повреждение слоя, обеспечивающего адгезию покрытия и рубашки, и антикоррозионную защиту металла рубашки.

Спрски высокого давления применяются для внутренней и наружной очистки отверстий. Для внутренней очистки максимально допустимое давление ограничивается 400 бар. Очистка наружной стороны отсасывающего прессового вала может производиться с помощью осциллирующей распылительной трубы высокого давления с соплами диаметром 1,0 мм; 2,0 мм; 2,2 мм и давлении 20-50 бар.

Для химической очистки предприятия предлагают химикаты, соответствующие конкретному материалу покрытия вала. Применяются различные способы химической очистки. Очистка может производиться в процессе эксплуатации прессовой части непрерывно или периодически, при останове машины, при снятии и без снятия сукна.

### ***Сушильные части***

Сушильные части БМ предназначены для дальнейшего обезвоживания бумажного полотна до заданной конечной сухости полотна путем выпаривания. Это наиболее консервативные в своём развитии составные части БМ. Во всех поколениях БМ используется преиму-

щественно контактная сушка бумаги на сушильных цилиндрах, обогреваемых паром. Развитие сушильных частей направлено преимущественно на интенсификацию процессов сушки и на совершенствование привода сушильных цилиндров.

В традиционных сушильных частях привод сушильных цилиндров группы осуществляется посредством зубчатых передач, связывающих все цилиндры группы между собой. Применяется в очень старых тихоходных машинах шахматный привод с открытыми зубчатыми колесами. В машинах со средней и высокой скоростью используются закрытый паразитный привод с различным расположением цилиндрических и паразитных зубчатых колес. Шахматный и паразитный привод имеют невысокий КПД, большую стоимость и значительные расходы на их техническую эксплуатацию. При увеличении рабочих скоростей БМ, особенно при их модернизации, возрастают проблемы с зубчатым приводом.

Повсеместная замена в сушильных частях сушильных суконов сушильными сетками, имеющими более высокую прочность, даёт возможность использовать эти сетки для привода сушильных цилиндров взамен паразитного привода. Идея привода сушильных цилиндров сеткой не нова. Ещё в 1984 году произведена первая установка такого привода. Сетки сушильных цилиндров верхнего и нижнего ярусов приводились сетководущими валами. Синхронизация их скорости осуществлялась электронно-цифровым устройством. Приводными могут быть также сушильные цилиндры верхнего и нижнего яруса. Удобно применение сеток для привода сушильных групп типа «слалом» и при одноярусном расположении сушильных цилиндров. Применение привода сушильной сеткой очень просто по своей сути, статический расчет привода не сложнее расчета плоскоременной передачи.

В некоторых БМ, в частности, для производства бумаг односторонней гладкости, санитарно-гигиенических бумаг используются цилиндры большого диаметра – цилиндры «Янки». Геометрические размеры цилиндров: диаметр – 2000...6000 мм; длина бочки – 1900...4700 мм; толщина стенки – 34...67 мм. Масса цилиндра – 17000...80000 кг.

Цилиндры не имеют износостойкого покрытия, изготовлены из чугуна высокой прочности или стали. Цилиндры эксплуатируются с рабочим давлением пара 0,3...1,2 МПа.

При выработке бумаги односторонней гладкости сушильная часть машины состоит из одного лоцильного цилиндра «Янки»

(рис.2.10), который обеспечивает сушку бумажного полотна от 40% сухости при поступлении на цилиндр до 92-94% сухости. В этом случае съем воды с 1 м<sup>2</sup> поверхности в 4...6 раз выше съема воды при сушке бумаги (картона) на обычных цилиндрах и составляет 60...120 кг/час.

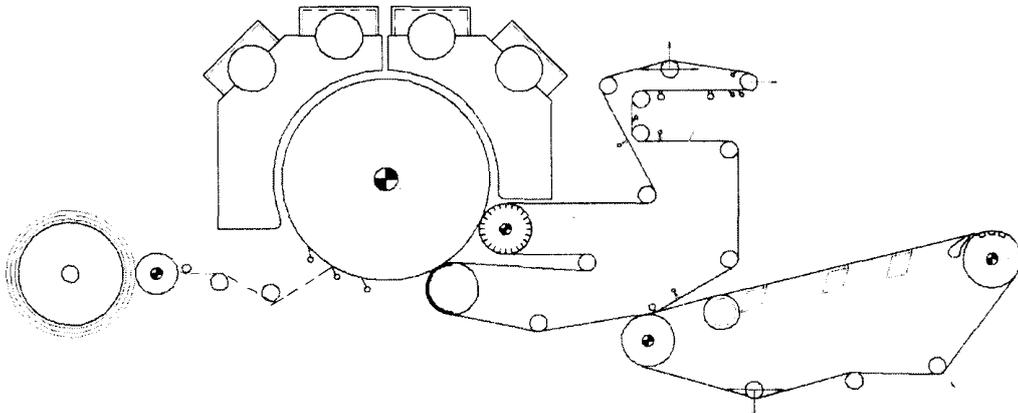


Рис. 2.10. Схема БМ с сушильным цилиндром «Янки»

Лоцильный цилиндр «Янки» используют также в составе сушильных частей БМ, на которых предварительная сушка и досушка бумаги и картона осуществляется обычными сушильными цилиндрами. Во время непрерывного контакта цилиндра «Янки» с бумажным полотном площадью 1 м<sup>2</sup> происходит обезвоживание бумажного полотна со скоростью 35-45 кг/час. Быстрое обезвоживание бумажного полотна обеспечивается за счет следующих факторов:

- повышенного давления пара в цилиндре (до 0,8 – 1,2 МПа);
- подачи горячего воздуха (до 400<sup>0</sup> С) в зону сушки бумаги и циркуляции его в сушильном колпаке;
- односторонней сушки бумажного полотна и постоянной теплопередачи от цилиндра к полотну в течение всего времени сушки;
- высокой плотности прилегания бумажного полотна за счет прижимных валов с линейным давлением 60...100 кН/м.

Сушильные цилиндры «Янки» - сложное механическое решение, к которому предъявляются очень высокие требования по безопасности и надежности эксплуатации (рис. 2.11).

Сушильный цилиндр «Янки» отливается из специально подобранного состава чугуна. После чего снаружи грунтуется и полируется до высокой степени гладкости. Внутренняя часть сушильного цилиндра представлена в виде ребристой поверхности, двух изогнутых

крышек и двух или трех наборов из труб малого диаметра, соединенных с системой удаления конденсата.

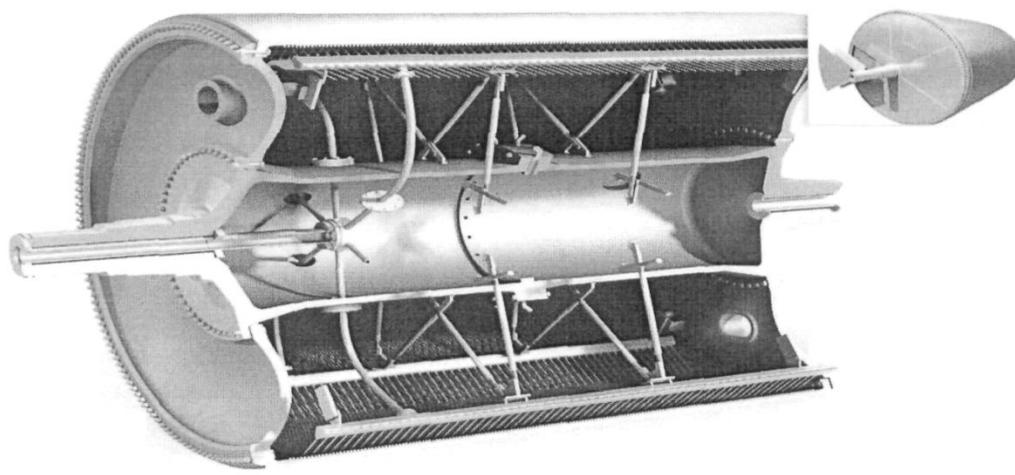


Рис. 4.11. Сушильный цилиндр «Янки»

Ребристость внутренней поверхности способствует равномерному прогреву поверхности цилиндра и сбору конденсата в желобах. Треугольное основание, служащее для закрепления труб малого диаметра, гарантирует правильное расположение труб в углублениях.

Как показывает практика, при использовании сушильных цилиндров большого диаметра возможно упрощение БМ и объединение ее двух частей – прессовой и сушильной, что упрощает их обслуживание.

### ***Каландры, накаты, привод***

Машинные каландры предназначены для повышения гладкости, плотности бумажного полотна, выравнивая толщины и для улучшения некоторых печатных свойств бумаги.

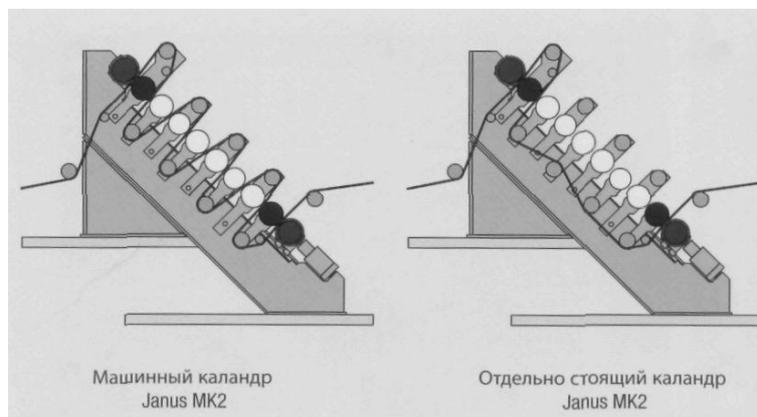
В конструкциях современных машинных каландров проявляется тенденция объединения в одном встроенном в машину или выполненном в отдельном агрегате технологических операций собственно каландрирования и суперкаландрирования. Эта тенденция реализуется в применении валов с мягкой облицовкой (мягкое каландрирование), в использовании башмачных валов, подобных валам прессов с расширенной зоной прессования, применении обогреваемых валов (термовалов) при мягком каландрировании.

При модернизации существующих каландров с чугунными сплошными валами с отбеленным поверхностным слоем предлагается замена чугунных валов толстостенными трубчатыми валами с покры-

тием полимерным материалом, а также взамен бомбированных валов – установка двух валов с регулируемым прогибом на гидроподдержке.

Представляет интерес разработанные фирмой «Фойт Пайпер» наклонные каландры системы «Янус» (рис. 2.12).

а)



б)



Рис. 4.12. Схемы (а) и фрагмент конструкции (б) наклонного каландра «Янус»

Достоинства каландра: возможность каландрирования любых видов бумаги, удобное техническое обслуживание, безобрывность бумажного полотна, возможность исключения из каландрирования промежуточных захватов. Бумажное полотно может проходить через открытые (исключение из работы) и закрытые захваты. Количество валов – до десяти. Все валы, за исключением верхнего, имеют прижим в виде гидравлических цилиндров. Количество рабочих захватов устанавливается по потребности от одного до  $n - 1$ , где  $n$  - количество валов каландра.

***О возможном применении гидростатодинамических подшипников жидкостного трения для тяжело нагруженных валов бумагоделательных машин***

В настоящее время в опорах валов и цилиндров БМ применяются самоустанавливающиеся двухрядные роликовые подшипники качения, имеющие существенные недостатки: большие габариты корпусов, дороговизна, ограниченный срок службы; значительная вероятность аварийных отказов. С увеличением параметров БМ недостатки усугубляются.

Предлагается применение в тяжело нагруженных опорах валов гидростатодинамических подшипников жидкостного трения. Эти подшипники хорошо зарекомендовали себя в качестве опор валков прокатных станков. Наличие несущей масляной пленки между трущимися поверхностями исключает механический контакт и определяет основные свойства подшипников:

малый коэффициент трения при установившемся режиме работы, равный 0,001-0,005;

высокие допустимую скорость и несущую способность;

малую чувствительность к кратковременным динамическим нагрузкам.

Надежная и долговечная работа этих подшипников обеспечивается принудительной подачей масла в рабочую зону от централизованной системы смазки. Схематично работа подшипника представляется как результат взаимодействия поверхностей втулки-вкладыша 1 (рис. 2.13) и цапфы 2 со смазкой. Вращающаяся цапфа увлекает за собой смазку из масляного кармана в клиновидный зазор между рабочими поверхностями. При этом возникают гидродинамические силы, которые уравнивают нагрузки действующие на подшипник.

Между цапфой и подшипником образуется несущая масляная пленка, обеспечивающая низкий коэффициент трения и меньшее тепловыделение; отсутствие заметного износа трущихся поверхностей при длительной работе; хорошие демпфирующие свойства. Осевая нагрузка воспринимается подшипником качения 3.

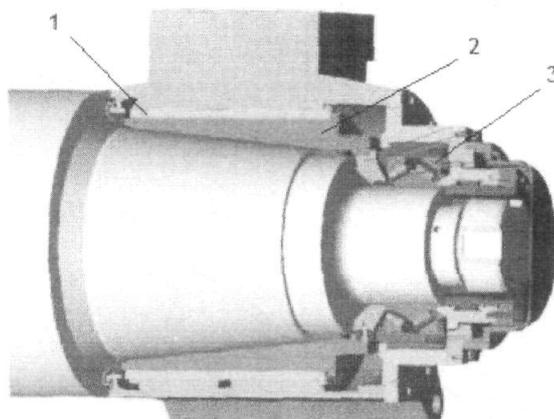


Рис. 4.13. Подшипник жидкостного трения

Корпус подшипника должен обеспечивать его угловые и осевые перемещения для компенсации неточности монтажа, динамического прогиба вала и его осевых температурных деформаций.

### Литература

1. Санников, А.А. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Проектирование, прогнозирование, оптимизация машин и оборудования лесного комплекса: учебное пособие / А. А. Санников, Н. В. Куцубина; Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. – 118 с.
2. Подготовка кадров и эффективность производства / Под ред А.А. Санникова, Н.В. Куцубиной, Л.В. Фисюк. –Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. -320 с.