

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

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

**А.С.СМОЛИН, В.И.КОМАРОВ,
В.К.ДУБОВЫЙ, В.И.БЕЛОГЛАЗОВ**

ТЕХНОЛОГИЯ ГОФРОКАРТОНА

Учебное пособие

Часть I

Санкт-Петербург
2014

УДК 676. 6(075)

Смолин А.С., Комаров В.И., Дубовый В.К., Белоглазов В.И. Технология гофрокартона: учебное пособие/ СПбГТУРП. – СПб., 2014. Ч.І – 146 с.

В части первой настоящего учебного пособия изложены материалы по истории возникновения гофрокартона, требования к современному гофроящику, данные по типу гофр и гофроящиков, развития конструкций гофроагрегатов, характеристики материалов для гофрокартона.

Учебное пособие имеет целевую аудиторию пользователей: студенты, аспиранты, преподаватели и научная общественность, чьи интересы связаны с гофроиндустрией, а также специалисты фирм и организаций, производящих исходные материалы, гофрокартон и гофротару.

Рецензенты: директор сертификационного центра «Бумикс», канд. техн. наук П.С. Осипов;
начальник отдела тароупаковочных и технических видов бумаги и картона ОАО «ВНИИБ», канд. техн. наук В.И. Крупин.

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

© Смолин А.С., Комаров В.И., Дубовый В.К.,
Белоглазов В.И., 2014

© Санкт-Петербургский государственный
технологический университет растительных
полимеров, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Трудно представить современный товарооборот без упаковки. Как правило, стоимость упаковки крайне незначительна в сравнении с упакованным товаром. Однако барьерная, информационная и эстетическая роль упаковки весьма велика, поэтому функциональные характеристики упаковки требуют тщательного изучения и искусного воспроизведения.

Бумага и картон имеют многолетнюю историю использования для упаковки. Следует признать, что бумага как оберточно-упаковочный материал проигрывает конкурентную борьбу полимерным материалам. Полимеры легче, технологичнее в создании упаковки. Их лучшие барьерные свойства связаны, главным образом, с минимальной гигроскопичностью, воздухопроницаемостью, ароматосохранностью и гидростойкостью. Современные достижения полиграфии позволяют достигнуть уровня информации и эстетического восприятия по крайней мере не хуже, чем при использовании бумажной основы. Главный недостаток полимерной упаковки – экологическая уязвимость. Эта проблема пока не имеет удовлетворительного решения, но весомое преимущество полимеров по сравнению с традиционными материалами розничной упаковки – бумагой и стеклом – позволяет полимерам выигрывать конкурентную борьбу. Иные «взаимоотношения» с полимерными материалами у картонной упаковки, основу которой составляет гофрокартон. Гофрокартон должен быть высшего качества, полностью подходящий для современных условий своими качествами, экологической безопасностью, практичностью, сравнительной дешевизной, при этом используются возобновляемые ресурсы при рециркуляции большей части отходов для производства множества высококачественных защитных и каркасных ящиков с многокрасочной печатью.

Результатом конкурентной борьбы с полимерными материалами является отнюдь не вытеснение гофрокартона из упаковочной индустрии, а скорее, в ряде случаев, симбиоз картонной и полимерной упаковок,

сочетающий преимущества обоих материалов. Хотелось бы надеяться, что материалы этого учебного пособия помогут развитию гофроиндустрии, увеличению успешности и доходности промышленных предприятий, будут способствовать их функционированию с должным коммерческим успехом.

В главах 1-5 учебного пособия содержатся материалы по технологии и оборудованию процессов производства материалов для гофрокартона, изготовлению гофрокартона на гофроагрегатах. Учебное пособие имеет целевую аудиторию пользователей: студенты, аспиранты, преподаватели и научная общественность, чьи интересы связаны с предметом изложения, специалисты фирм и организаций, производящих исходные материалы, гофрокартон и тару.

Настоящее учебное пособие во многом составлено по материалам книги Т. Пиннингтона Гофроиндустрия. В поисках совершенства. (T. Pinnington. The Corrugated Industry. In Pursuit of Excellence). Книга Т. Пиннингтона о гофрокартоне – вероятно, лучшая за последние годы. К сожалению, из-за высокой цены это издание малодоступно, не адаптировано для студентов и, естественно, не рассматривается как учебное пособие. Пособие необходимо для подготовки специалистов, работающих в гофропроизводстве, дефицит которых уже сейчас ощущается, так как гофроиндустрия – одна из наиболее динамично развивающихся отраслей ЦБП. По материалам книги Т. Пиннингтона составлены главы 1-4 и 7-15. Эти материалы адаптированы для студентов профильных вузов, изучающих процессы переработки бумаги и картона.

ГЛАВА 1. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГОФРИРОВАННОГО КАРТОНА

Любой обзор, охватывающий двухсотлетнюю историю, неизбежно базируется на материалах из архива и многих источников.

Эта глава отслеживает историю развития гофрированной упаковки приблизительно до начала 80-х гг. прошлого столетия, ее непосредственного изготовления на гофроагрегатах, а также сопутствующих этому процессу факторов. Глава начинается с краткого освещения истории происхождения бумаги и картона.

Бумага и картон

Бумага первоначально изготавливалась из шелкового волокна китайцами с 123 г. до н.э. Первая бумага из целлюлозного волокна была изготовлена из коры тутового дерева в Китае в 105 г. Тогда Цай Лунь, которому приписывают изобретение бумажного производства, наливал смесь волокна с водой в форму, состоящую из деревянной рамки с тканевой основой. Поскольку вода проходила через основу, на ней оставалась бумажная структура из волокон. Влажный лист удалялся с помощью сукна, а затем вместе с другими аналогичными листами укладывался в стопу и подвергался прессованию. После этого листы разделялись и сушились, чтобы окончательно превратиться в бумагу.



Рис.1.1. Ручное формование

Ручное формование первоначально было основным методом изготовления бумаги.

На рис.1.1 показан мужчина, опускающий деревянную рамку с тканевой основой в целлюлозную массу, находящуюся в чане. Выполняющий функцию гауч-вала (*couch* от фр. *coucher* – процесс

переворачивания листов бумаги ручного отлива с сетки на сукно) крайний левый участник процесса удаляет бумажный лист из формирующей рамки.

Справа, на заднем плане, показано прессование листов, переложенных кусками сукна. Листы высушиваются на стойках (в глубине помещения).

Техника была улучшена через какое-то время и распространилась по древнему шелковому пути через Самарканд в 751 г. и из него далее в Аравию, приблизительно 50 лет спустя попадает в Багдад и Дамаск. Потребовались еще 350 лет, чтобы технология через Марокко достигла берегов Европы. В Испании она распространяется приблизительно с 1150 г., а в других странах Европы – еще через 250 - 300 лет. Для производства бумаги тех времен практически использовали лишь тряпье из льняных и хлопковых волокон.

М. Реомюр во Франции первым стал рассматривать древесину в качестве источника сырья для производства бумаги, поскольку стала ощущаться нехватка тряпья. Он выдвинул эту идею в 1719 г., после наблюдений за осами, делающими бумажные гнезда из смеси древесины с собственными секреторными выделениями. Другой француз Николас Луис Робер из Ессоны в 1799 г. разработал первую непрерывно действующую бумагоделательную машину (БДМ), которая была улучшена Генри Фурдринье и его коллегами в Англии и запатентована там в 1801 г. Сегодня она известна как машина Фурдринье. Брайан Донкин сделал первую такую машину в Англии и установил её в США. В течение столетия машина Фурдринье использовалась для производства бумаги и картона.

В Англии Джон Дикинсон изобрел формующий цилиндр в 1809 г. Его конструкция была сначала успешно применена на БДМ, использующей соломенную целлюлозу и установленной Джорджем Шреком в 1831 г. около г. Чамберсбурга, США. Только в 1851 г. в Англии было изобретено устройство для намотки полотна бумаги, позволившее расширить сферы использования её в промышленности, например, для контейнеров (США, 1869 г.) и железнодорожных вагонов.

Производство картона для коробок возросло с пуском многоцилиндровой машины Джорджа Шрека в Чамберсбурге в 1870 г.

В 1827 г. Вильям Макгоу в Медвилле, США, развивал коммерческий метод производства целлюлозы из соломы пшеницы химическим способом. Это был всего лишь один из многих примеров производства бумаги с использованием древесного материала для практической выгоды. В 1840 г. Келлер в Германии изготовил бумагу из механической древесной массы. Хью Барджесс в Англии запатентовал щелочной метод производства химической целлюлозы из древесины, а вскоре после него Бенджамен Тильгман, США, разработал кислотный (сульфитный) процесс. Щелочной сульфатный метод обязан Далю из Данцига, который в 1879 г. развил метод Хью Барджесса, получивший широкое использование на заводах крафт-бумаги благодаря его способности производить прочные и длинные волокна из быстрорастущих мягких сортов древесины.

Первая бумажная мельница в России появилась в XVI в., однако производство бумаги в России до эпохи Петра I почти не развивалось. В царствование Петра I были построены крупные мануфактуры - Полотнянозаводская и Ярославская. К концу XVIII в. в России было 60 мануфактур, производящих бумагу методом ручного отлива.

В 1817 г. в России, на Петергофской гранильной фабрике, смонтирована первая бумагоделательная машина, позднее установленная на Красносельской бумажной фабрике. В 1850 г. бумагоделательные машины были установлены на 50 фабриках России. К 1885 г. число бумагоделательных машин достигло 135 штук.

Появление гофрированного картона

Первый патент по гофрированию бумаги был зарегистрирован в 1856 г. Эдвардом Чарльзом Хили и Эдвардом Эллисом в Англии, полученный материал использовали для украшения шляпок. В 1871 г. Альберт Джонс зарегистрировал патент на изготовление гофрированной бумаги с использованием рифленых валов, и он же первым в США 19 декабря в том же году изготовил гофрированную бумагу для использования в качестве защитной обертки для хрупких товаров. Оливер Лонг предложил

покрытие на лицевую сторону гофрированного слоя, которое он запатентовал в 1874 г. Это изделие, с его комбинацией упругих свойств, горизонтальной гибкости и вертикальной прочности, было подходящим первичным защитным упаковочным материалом для стеклянных флагов, ламп и керамических изделий. Все эти изделия (упаковки) были изготовлены с использованием бумажных листов из соломенной целлюлозы, которая применялась в те времена для производства упаковочной бумаги.

Изготовление двухслойного (двойного) гофрированного картона началось в 1875 г. Робертом Томпсоном и параллельно с ним – Генри Норрисом в 1878 г., который тогда был в партнерских отношениях



Рис.1.2. Упаковка для бутылки – кульминация развития производства тары того времени

с Томпсоном. Они вскоре оказались втянутыми в десятилетний конфликт с Робертом Гэйром (США), который усовершенствовал резку и фальцовку (сгибание) картона под давлением. Первый патент на двухслойный картон в США был зарегистрирован в 1889 г., а впервые картон произведен в 1895 г. В том же самом году кульминацией развития тары стало патентование гофрированной бумажной обертки для бутылки, которая позже использовалась для защиты стекол

керосиновых ламп при транспортировке. Обертка сыграла роль основы в разработке концепции гофрированной упаковки для защиты товаров от повреждения при их транспортировке по железной дороге (рис.1.2).

Чарльз Лэнгстон, инженер-конструктор, эмигрировавший из Уэльса в Филадельфию в 1888 г., основал машиностроительную компанию. Его первыми проектами были слоттеры режущего типа (продольно-режущие станки), работающие на ролевой бумаге. Лэнгстон был единственным уполномоченным лицом на производство машин для гофрирования от *David Weber Company* в США в 1895 г. Он известен как первый изготовитель машин, которые применялись в производстве гофрированного картона.

Еще в 1895 г. производственная компания *Sefton* (г. Андерсон, США) установила свою машину для изготовления гофрированного картона, разработанную и изготовленную Джефферсоном Феррисом.

Она имела обогрев полотна газовым пламенем и, как утверждалось, в ней впервые был реализован непрерывный процесс гофрирования, запатентованный в 1895 г.

Способ нагрева являлся небезопасным, был модернизирован в 1900 г. с введением нагревания паром, но резка по-прежнему осуществлялась мальчиком с линейкой и острым ножом в руках. Максимальная скорость составляла чуть более 3 м/мин. Рабочая ширина машины была приблизительно 450 мм.

Джордж Свифт разрабатывает первый ротационный гофроагрегат. В первом десятилетии двадцатого столетия ширина гофроагрегата увеличивается до 1 м.

В Великобритании первооткрывателями были Томпсон и Норрис из английской компании гофрированного картона (*Corrugating Paper Company*) с центром в Бристоле и *Bristol Only the English Corrugating Paper Company*, созданной в 1908 г. и являющейся семейным предприятием, все еще действующим под тем же самым названием. Они и в настоящее время являются вторыми по величине производителями оборудования в Великобритании.

Компания *Thompson and Norris* была реорганизована в 1950 г. (компания *SCA Packaging Ltd.*), приобретена *Smurfit* в 1970 г., работает на прежнем месте до настоящего времени.

В Северной Америке распространению контейнеров из гофрированного картона оказывалось сопротивление, в первую очередь, со стороны деревообработчиков, которые не сумели предвидеть преимуществ объединения усилий в развитии нового направления в тароупаковке.

Гофрированная тара обнаружила множество явных преимуществ

перед традиционными деревянными ящиками. Ее можно складывать в виде плоских заготовок на малой площади, легко транспортировать и хранить в больших количествах. Она намного легче, обладает лучшими амортизационными свойствами, эффективнее защищает содержимое, превосходит деревянную тару по продолжительности хранения, цене и конкурентоспособности (никому в голову еще не приходила мысль о достоинствах рециркуляции тары). Тем не менее, производители гофрированной тары вели реальную борьбу с производителями деревянной тары вплоть до Второй мировой войны, для того чтобы доказать превосходство гофротары над ящиками, сколоченными из досок.

Использование гофротары росло устойчиво до Второй мировой войны, когда такое производство представляло интерес для армии, как производитель упаковочного материала для артиллерии, и оправдало себя в полной мере даже в ситуациях хранения тары на открытом воздухе при неблагоприятном климате. Тогда после войны, в условиях увеличивающихся цен на древесину, и произошло десятикратное увеличение производства в период 1940 – 1980 гг. Например, в этот период в Великобритании увеличение было от 0,125 до 1,500 млн. т в год.

Развитие процесса гофрирования

На ранней стадии производства гофрированного картона процессы приклеивания плоских слоев, продольная резка, фальцовка (сгибание), поперечная резка заготовок картона были отдельными стадиями. Поперечные колебания отдельных склеиваемых полотен приводили в процессе транспортировки по плоским нагревательным элементам к взаимной расклейке и деформации листов. Агрегаты имели ширину около 1 м, и готовые листы могли быть со складками, что обуславливало необходимость их ручной сортировки перед операцией высечки заготовок. Конечно, были многочисленные разновидности конструкций агрегатов, но общий принцип оставался одним и тем же.

Ранее при отсутствии прижимного вала гофрирование флутинга, нанос

клея на гофры и приклеивание лайнера выполнялись как отдельные операции, так что неизбежно были сравнительно широкие колебания в высоте гофра, допустимые лишь при малой скорости и использовании адгезива, способного заполнить промежутки между верхней частью гофра и поверхностью лайнера.

Позднее были разработаны прижимной вал и накопительный мост, чтобы обеспечить переменный запас двухслойного материала до приклеивания лицевого слоя, обеспечивающие гибкость в управлении процессом. Это позволило доукомплектовать действующие агрегаты автономным узлом склейки с верхним слоем лайнера, подогревателями, резкой (к тому времени появился ротационный нож) и ручной укладкой листов, таким образом, обеспечив перевод на непрерывную работу. Рождение современного гофроагрегата было концептуально осуществлено в два этапа, т.е. так же, как и БДМ. В качестве теплоносителя для нагревания слоев лайнера используется пар. В конце агрегата продольная и поперечная

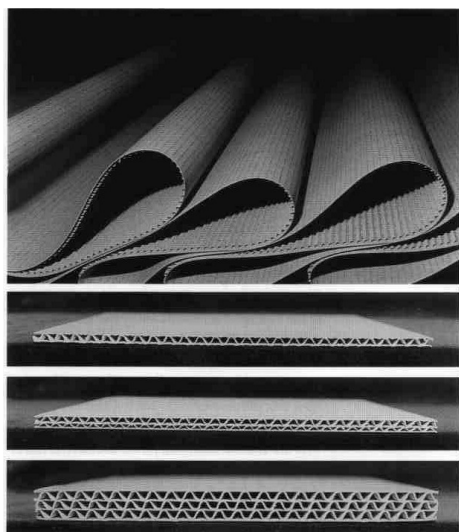


Рис.1.3. Фотографии двух-, трех-, пяти- и семислойных видов гофрированного картона

резка

с укладкой листов в стопы позволяют транспортировать продукцию на дальнейшую переработку.

Ранние формы гофров

Первый гофр имел высоту приблизительно 4,5 мм и стал обозначаться, как гофр А. Он использовался в конце XIX в., в начале XX в. вплоть до 1910 г., когда появился гофр В высотой приблизительно 2,5

мм. Эти типоразмеры стали стандартными формами гофров двухслойного и трехслойного картона до 1960 г. Система нанесения печати на поверхность ящика работала при промежуточной высоте гофров А и В, определяемой гофром С. В следующих главах будут рассмотрены более подробно формы гофров, их комбинации, характеристики и типы картона (рис.1.3).

Адгезивы для производства гофрированного картона

Ранние гофроагрегаты предусматривали использование гранулированного крахмала в виде водного раствора. Около 1900 г. стали использовать жидкое стекло (силикат натрия). Его изготавливали плавлением чистого белого песка с содой, в результате чего получали химикат, растворимый в воде. Под общим названием жидкого стекла химикат получил широкое распространение на ранней стадии развития производства гофрированного картона.

Назначение вала для нанесения клея состояло в том, чтобы передать силикат натрия на верхушки гофров, но при этом не допускать попадания его на поверхность гофрированных валов за пределами ширины бумажного полотна, так как вследствие высокой температуры быстро происходит высыхание клея и оператор должен вручную удалять его с валов.

Часто клей с рифа вала попадал в углубления, затрудняя работу оператора. Скорости были низкими, приблизительно 20 м/мин, и все же агрегат должен был работать на такой скорости, чтобы дать время для отверждения клея перед слоттером (машиной для продольной резки) и особенно перед поперечной резкой картона. Этот адгезив использовался до 1950 г., а на ряде гофроагрегатов даже до 1960 г. прежде чем его заменил крахмал.

Появление крахмала было крупным достижением, позволившим увеличить скорость агрегатов, но старые традиции менялись медленно, и даже вплоть до конца 1960 г. гофроагрегат имел нагревающую секцию длиной 14 м, оснащенную нагревательными электрическими плитами, и такой же длины охлаждающую секцию.

Охлаждающая секция теперь известна как приводная, так как ее главная функция – транспортировать картон по горячим сушильным плитам, преодолевая силы трения, возникающие между поверхностями плит и лайнера. В настоящее время эта секция значительно уменьшена по длине.

Крахмальный клей также предоставил возможность перемещения клеенаносящего вала, отсутствие которого было неприятной и утомительной

операцией. Но крахмал все еще имел тенденцию попадать на поверхности рифов и углублений между ними. В 1950 г. появились гребенки, которые поддерживают гофрированный слой бумаги до его соединения с плоским слоем лайнера. Загрязнение гофрированных валов значительно сократилось в 1960-е гг.

Особых проблем не возникало до тех пор, пока не увеличились скорости гофроагрегатов и не появились сложности с регулированием гребней и потерей контроля за склейкой крахмальным клеем гофрированного слоя и лайнера. В конце 60-х гг. появились новые идеи и технические решения, позволившие решить возникшие трудности.

Пальцы гребенки действительно играли главную роль. При профиле гофров В, имеющих ширину 2,2 мм, приходилось иметь дело более чем с 40 пальцами гребней, требующих точной настройки в радиальном и вертикальном направлениях, поскольку зазор между концами пальцев и прессовым валом (состояние, известное как *High-Low* = двухпозиционное воздействие или *Hi-Lo*) был принципиально важным для поддержания качества картона.

В Американской технической ассоциации целлюлозно-бумажной промышленности (*TAPPI*) с помощью скоростной камеры был создан фильм, демонстрирующий этот эффект, который связан с непостоянством высоты гофров, что приводит к проблемам качества гофрокартона (пузырение). К счастью, это явление вызвано не качеством картона, а несовершенством конструкции машины.

Регулировка точного зазора достаточно частая операция вследствие необходимости удаления фрагментов бумаги и инородных материалов, попадающих в канавки рифленых валов. Для этого необходимо перемещать несколько пальцев гребенки, работая в стесненных условиях в зоне с температурой 180 °С, которая может причинить ожоги.

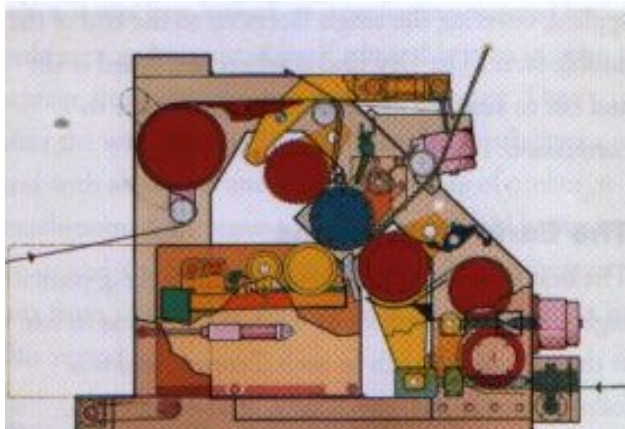


Рис.1.4. Конфигурация расположения валов в гофрирующей машине, обеспечивающей минимальное участие оператора в регулировании положения пальцев гребенки.

Была создана машина с наклонным расположением валов, позволившая существенно уменьшить остроту проблемы. Эта машина достаточно эффективна и для нашего времени (рис.1.4).

Развитие новой идеи практически совпало с ростом популярности гофроагрегатов шириной 2,2 м. Интересно отметить,

что и *Langston*, и *S & S* получили заказ на гофроагрегат шириной 108 дюймов (2,75 м) от объединенной компании США в 1960 г. Фирмы *Langston* и *S & S* изготовили, по крайней мере два гофроагрегата, а затем спрос на агрегаты такой ширины пропал до конца 1980-х гг., когда фирмой *BHS* был изготовлен гофрирующий агрегат для фирмы *Visy Board* в Австралии. К тому времени улучшилась управляемость работой агрегата, так как появилась возможность контроля работы рифленых валов за счет их шлифовки, а регулирование вязкости крахмального клея позволяло управлять процессом склейки. Однако все еще наблюдалось довольно большое разбрызгивание клея в углублениях гофров, но это оказывало небольшое влияние на управление процессом и качество картона.

Таким образом, гофрировальный агрегат 60-х гг. не очень отличался от гофроагрегата образца 1930-го г. за исключением ширины и скорости работы, благодаря применению крахмального клея.

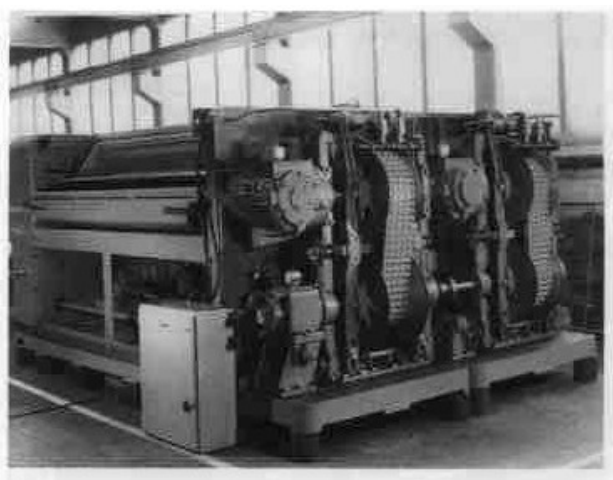
Транспортировка полотна в сушильной части осуществляется от вала главного привода с помощью зубчатых или ременных передач. Привод устройства для нанесения клея также осуществлялся от двигателя с помощью цепной или зубчатой передачи.

Двигатели постоянного тока использовались здесь только на отдельных узлах. Постоянный ток обеспечивал в паре с мотогенератором удобное

регулирование скорости вплоть до появления тиристорного привода. Продольно-резательная рилевоочная машина имела поворотную систему с двумя парами валов, поворачивающихся на 180° («дуплекс», или «триплекс»).

Размещение поворотной системы было неудобным и довольно опасным для управления. Гофрирующий агрегат приходилось часто останавливать или снижать его рабочую скорость, чтобы дать время для выполнения работ по устранению ошибок, что психологически «давило» на оператора, проводящего регулировку, это приводило к простоям и выработке брака.

Недостатком машины с двумя парами валов, на которых расположены рилевоочные муфты и резательные ножи (на одном и том же валу), является трудность в наладке (явление «арфа», когда взаимное расположение пар муфт и ножей имеет вид веера). Кроме того, точность была в лучшем случае ± 4 мм,



*Рис.1.5. Сдвоенная машина
для продольной резки*

а обычно намного меньшая, так что приходилось работать с припуском, чтобы уже в процессе переработки заготовок обрезать лишнее. Поскольку ширина агрегатов увеличивалась, была разработана сдвоенная машина (с парами рилевоочных и ножевых валов) для продольной резки, которая обеспечила лучший

раскрой по ширине полотна в соответствии с имеющимися заказами (рис.1.5).

Запуск отдельной машины требовал содержания четырех человек обслуживающего персонала, перемещающих вручную до 5-6 т/ч.

В процессе производства часто возникало коробление листов картона, так как в стопе влага с нижнего, более прохладного слоя, мигрировала в горячий и сухой поверхностный слой (топлайнер). Коробление листов сверху стопы происходит в большей степени, чем в нижней части, поскольку на них воздействует меньшая нагрузка. Когда стопа поступала на переработку, при ручной переработке её следовало перевернуть.

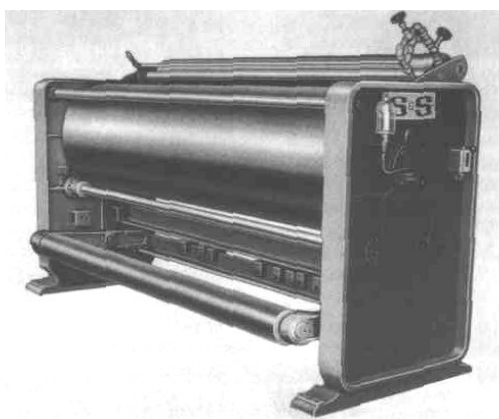


Рис.1.6. Автономный подогреватель-увлажнитель (предварительный кондиционер)

Деформация была неизбежным «злом» из-за отсутствия возможности управления влажностью в поперечном и продольном направлениях полотна или поддерживать постоянные скорости. Поступающая бумага имела влажные полосы, и, кроме того, часто хранилась вне помещения. Увлажнялись кромки и верхние слои ролевой бумаги. Внешние слои часто набухали и при заправке полотном обрывалось, создавая трудности при переработке. В результате уже на ранней стадии наблюдались существенные потери. Влага разрыхляла бумагу, а при нагреве на подогревателе могла перемещаться в поперечном направлении, поскольку при наличии полос более плотным (менее пористым) было полотно между влажными полосами. Еще проблематичнее была переработка флутинга из полуцеллюлозы, широко распространенного в прежнее время. Для придания пластичности бумаге следовало перед подачей на гофрирование обработать нижнюю поверхность полотна паром низкого давления для придания пластичности и обеспечения легкого прохождения через зону гофрирования с образованием жестких гофров правильной формы. Обработка заключалась в распылении пара низкого давления на нижней стороне бумажного полотна, движущегося с подогревательного цилиндра (рис.1.6).

При использовании бумаги из полуцеллюлозы проблема усугублялась

тем, что гигроскопичность влажной бумаги больше. Естественно поглощение пара поверхностью не было равномерным. И, наконец, впитывание клея было более интенсивным в местах повышенной влажности поверхности бумаги.

Кроме того, более влажные и с пониженной температурой кромки бумаги имели тенденцию к деформации (загибанию краев полотна вверх), и приходилось принимать меры по плотному прижиму полотна к поверхности вала для нанесения клея. Это также означало, что чрезвычайно важным было организовать высокую эффективность работы сушильных плит на всей ширине полотна гофрированного картона, включая кромки. Проблема эта существует и в настоящее время, требуя обязательного соответствия длины плит рабочей ширине агрегата, во избежание расслаивания и деформации кромок картона.

Дефекты бумаги вызывали потери сырья, а, кроме того, брак наблюдался в процессе соединения слоев вследствие расслоения и смятия гофров гофрированного картона. Поставка картона с мятыми гофрами на дальнейшую переработку вызывала трудности в подаче, нанесении печати и в возникновении «пробок» в узле переработки.

Производительность гофрирующих машин и вопросы качества определяются процессом гофрирования. Но некоторые проблемы в конце 60-х, начале 70-х гг. были вызваны распространением флексографической печати вследствие недостаточной устойчивости картона к деформации.

Попытки контроля за влажными полосами с помощью зональных радиочастотных или инфракрасных устройств, которые бы выборочно высушивали более влажные полосы, не нашли применения по причине их высокой стоимости и энергозатрат, пожарной опасности, а также потому, что область гофрирования (повышенная влажность окружающей среды) не была благоприятной для эксплуатации чувствительных датчиков влажности. Решение заключалось в ужесточении контроля качества бумаги и картона на бумажной фабрике и в механических усовершенствованиях на машине для гофрирования.

Остановы машины были обыденной и часто встречающейся проблемой на ранних агрегатах. Соединение концов бумажных полотен заканчивающегося и вновь установленного рулонов на раскат было ручным действием, требующим основательных навыков и практики.

Следовало провести склейку полотен таким образом, чтобы при запуске нового рулона не было напряжений, способных порвать бумагу.

Со временем появились регуляторы натяжения полотна, значительно облегчившие процесс заправки нового рулона бумаги.

Когда в США компанией *Butler Company* были разработаны автоматические склеивающие устройства, работающие на скорости 100 м/мин, потребители констатировали, что их персонал успешно проводит склейку на названной скорости. А обычно даже при скорости 15 м/мин (заправочная скорость) возникает масса отходов из-за расслаивания и вследствие дефектов, вызываемых необходимостью регулирования пальцев гребенки, щели клеенаносящего устройства и других узлов агрегата.

Первое склеивающее устройство имело множество недостатков вследствие низкой надежности при соединении концов полотен бумаги. Конец полотна был длиной приблизительно один метр, что было бесспорным шагом вперед, но надежность соединения была не достаточной (приблизительно 85 %), что значительно ниже, чем при ручной склейке опытными операторами.

Первоначально, склейка концов полотен ежедневно приводила к полному останову по причине того, что клей попадал на рифленые валы, и их необходимо было чистить. Естественно, за чисткой следовал пуск узла склейки, что занимало приблизительно 15 мин рабочего времени.

Отмечались две причины ненадежной работы:

а) замешкавшийся оператор, готовящий липкую ленту и упустивший конец полотна бумаги с заменяемого рулона;

б) отсутствие контроля натяжения склеиваемых полотен бумаги.

Система контроля натяжения полотен не нашла применения

по причине отсутствия согласованности в натяжении гофрированного слоя, склеенного с тестлайнером, и бумаги, подаваемой на гофрирование. Даже при хорошем согласовании скоростей гофрированного слоя и тестлайнера, но прошедших через подогреватель с температурой поверхности, не соответствующей регламенту работы, могли уменьшиться адгезионные свойства склеиваемой поверхности (тестлайнера).

Склеивание вручную и ранние устройства для склейки добавлялись к проблеме получения некондиционного картона. Каждое изменение режима даже в сушильной части вызывало останов, для того чтобы вручную отрегулировать работу агрегата. Повторный запуск никогда не был легким и зачастую сопровождался обрывами полотна. Например, если паровой спрыск не был отключен сразу же при останове агрегата, пар конденсировался, и при пуске бумага впитывала влагу по всей ширине полотна до начала регулирования натяжения, а реакция оператора обычно запаздывала. Подобный эффект происходил и на валу для нанесения клея, если бумажное полотно не было сразу же отведено из зоны контакта. Остановка вращения вала для нанесения клея, находящегося в горячей среде, была совершенно не допустима. При длительном останове полотно картона и транспортное сукно должны быть подняты над сушильными плитами.

Изменения натяжения флутинга и тестлайнера поперек полотна в ручном режиме грубо регулировались валиками в вертикальной плоскости. Это кажется смехотворным сегодня, но механизм регулировки был литым и имел обыкновение часто падать. Этот узел остаётся свидетелем несовершенства гофрирующих устройств.

При неодинаковых гофрах или двухслойном гофрированном картоне и даже существенных изменениях толщины бумаги операторы должны были корректировать установку зазора между рифлеными валами, в машине для нанесения клея, слоттере, изменять скорость.

Гофр E

В начале 60-х гг. на рынке появилась совершенно новая форма гофра - гофр *E*. Можно задаться вопросом, почему не гофр *D*, но возможно в этом кроется некий элемент предвидения. Так или иначе, система присвоения названий гофрам была трудно объяснимой, поскольку размеры гофра *C* укладывались между размерами гофров *A* и *B*.

В любом случае, пришло время предложить рынку новый вид гофрированного картона с новыми свойствами. Были разработаны два вида гофра *E*: «*E*» и «*Ei*». Первый имел высоту гофра 1,14 мм, а второй – 1,58 мм. Гофр *E* с более низкой высотой был предназначен для замещения на рынке картона «*cartonboard*», имеющего ограничение при печати по толщине (1,6 мм). Напротив, традиционные машины для переработки гофрированного картона требовали нижнее значение высоты гофра типа *Ei*.

Полностью новая форма гофра (гофр *E*) прижилась на рынке в начале 60-х годов. Вызвано это было не только сложностью получения гофра *E*. Состояние машинного парка было таковым, что хороший гофр *E* можно было получить лишь на отдельных устройствах и при ограниченной скорости. Заметим, что в упомянутое время отсутствовала возможность точного регулирования толщины клеевой пленки. Кроме того, технология меньшего гофра предусматривала уменьшение расстояния между пальцами гребенки и зазора между концами пальцев и прессовым валом. Присутствовал и человеческий фактор.

Множество гофров с нанесенным на вершущи клеем и их малая высота приводили к проблемам в сдвоенных машинах, поскольку большое количество пара стремилось выходить через крошечные, горизонтально расположенные, проходы к кромкам картона.

В те годы рифленые валы имели длину около 1,2 м, поскольку возможности токарных станков были ограниченными. При производстве гофрированного картона с гофром *E* на такой машине обнаруживаются

пузыри в средней части картона. Образуются они вследствие стремления пара найти выход в месте, где картон не был поддержан пальцами гребенки на должном уровне.

Несколько настойчивых производителей, главным образом, имеющие узкие машины, сохранили их и были вознаграждены. Это было хорошее решение, связанное с выпуском продукции, первоначально занимающей малый сегмент рынка в преддверии сворачивания рынка тарного картона.

Флексографическая печать и штанцевание (совмещение двух или нескольких технологических операций)

Вплоть до конца 60-х и даже в начале 70-х гг. типографская печать, как полагали, была единственным средством художественного оформления коробок, которое могло быть достигнуто в соответствии со стандартами, требуемыми промышленностью. В процессе типографской печати использовали масло и типографскую краску. Они наливались в поддон, из которого системой валиков для образования менее вязкой и тонкой пленки, краска переносилась к мягкой и толстой резиновой форме, с помощью которой и производилось печатание на поверхности картона с использованием весьма значительного давления. Печать тогда нуждалась, по крайней мере, в суточной выдержке, чтобы достаточно высохнуть во избежание обшаркивания краски в последующих процессах переработки. Даже укладка картона представляла проблему, поскольку требовалось принимать меры, например, продувание воздухом между каждым листом картона.

Вместе с тем, штабелирование картона должно быть проведено с целью создания запаса в виде незавершенного производства, дальнейшего перемещения стоп с помощью лифтов и вилочных погрузчиков. Кроме того, экономятся ценные фабричные площади.

Флексографическая печать постепенно становилась господствующей технологией во многих промышленно развитых странах. Использование красок на спиртовом растворе было удобным в производстве гофрированного

картона. Такая печать могла наноситься с помощью валика с более твердым резиновым покрытием без особого давления, а значит, без характерного для типографской печати эффекта «ореола».

Нижняя сторона гофрированного картона в то время использовалась для нанесения печати, а промывка поверхности формирующего вала представляла обычную проблему. Вместе с тем, явные преимущества нового метода способствовали его дальнейшему развитию. Установки для флексопечати были более легкими, и их проще было обслуживать при замене красок.

Когда Ф.Х. Хупер разработал слоттер с флексопечатью, предполагалось нанесение краски на основу гофрированного картона и, таким образом, была открыта «зеленая улица» для переработки картона с гофроагрегата. Фирма «Кейкхофер», по заказу Дж. Свифта, разработал фальцевально-клеильную машину, продав последнему все права на её изготовление. Машина имела направляющие для сворачивания элементов заготовок, сопровождаемого закрытием клапанов с одновременным образованием клеевого соединения, фиксируемого прижимным колесом. Таким образом, опытный образец первой в мире машины, совмещающей операции флексо-печати, продольной резки, фальцевания и склейки заготовок, был установлен в *Olin Matheson, Joliet*, штат Индиана, в 1960 г. и был объявлен к продаже ассоциацией целлюлозно-бумажной промышленности США (TAPPI) той же осенью.

Фирма «Симон», имеющая патент Хупера в Англии, начиная с начала 50-х гг., приспособил узлы вакуумной подачи заготовок и ротационного штанцевания (узел можно выкатывать в сторону для обслуживания) и затем установил на первую европейскую машину *Ashton Containers* в Бристоле (Англия) в конце 1961 г. Традиционный 24-часовой процесс теперь занимал секунды, не требуя никаких промежуточных операций и хранения заготовок. Возврата к старой технологии уже не могло быть. Теперь возникло огромное давление на изготовителей гофроагрегатов, обязанных внести

усовершенствования по улучшению качества гофрированного картона.

1970-е гг. – увеличение темпа технического прогресса

В 1970-е гг. было начато проведение серьезных работ, направленных на улучшение качества и повышение производительности гофрирующих агрегатов, с целью обеспечения соответствия уровню перерабатывающих (гофрокартон) предприятий, с одновременным сокращением количества отходов и беспрецедентным увеличением использования вторичных ресурсов. Эти шаги были ускорены *CID (Corrugated Industry Development group)* в США, а также скачком цен на нефть в 1974 г., сопровождаемым дефицитом ряда предметов потребления, включая бумагу.

Дополнительными сопутствующими результатами кризиса 1974 г. было обостренное понимание необходимости сохранения энергии, которое вело к энергичным усилиям по улучшению системы обеспечения паром, поиску альтернативных источников нагрева и даже процессов гофрирования при низкой температуре. Сначала усилия были направлены на организацию автоматического управления ротационной резкой, способствующего уменьшению остановов и, следовательно, отходов в процессе сушки. Это сопровождалось также введением последовательного электромеханического контроля следующих операций на старых линиях со скоростью приблизительно 20 м/мин:

- оснащение ротационной резкой;
- согласование скорости отдельных узлов;
- установка ограничителя ротационной резки;
- переворачивание трехслойного картона на слоттере (устройстве для продольной разрезки) для подачи его на следующую стадию переработки;
- система блокировки;
- регулировка клеильного пресса модуля склейки;
- увеличение заправочной скорости.

Но слабым местом оставался слоттер.

Приблизительно в это же время введен контроль натяжения полотна. Обеспечение контроля натяжения обеспечивает стабильность процесса гофрирования, а также уменьшает продольное коробление полотна.

В течение 1970-х гг. новые машины были оборудованы средствами автоматизации и, прежде всего, для снижения температуры при сокращении скорости или останове линии по производственным причинам (часто оператор забывал об этом).

В сдвоенном агрегате контроль и регулирование температуры в сушильной части проводился разными методами, включая наклон сушильных плит (*Langston*), воздушную инжекцию поверхности (*Langston* и *Peters*) подъём сукноведущих валов (*S&S*), валы с разным покрытием (*BHS*). С целью снижения деформации картона по толщине Пэдди О'Брайан, технический директор *Smurfit Corrugated Cases* (Ирландия), разработал систему транспортировки полотна по горячим плитам. В составе системы герметичные крышки для групп из шести сушильных плит.

Испытание опытного образца на предприятии *Smurfit's Walkinstown* (Дублин) прошло успешно, и идея была развита *Langston* и *NEU Engineering*, после чего система поступила в продажу с названием *ZCC (Zero Crush Corrugator)*. Измерения помогают регулировать содержание воды в клее, поддерживая концентрацию 22 %, необходимую для дальнейшего образования геля. Быстродействие агрегатов и в 70-е гг., и в наши дни определяется пластификацией бумаги, несмотря на появление улучшенных датчиков температуры.

Довольно рано *Butler company* разработала автоматические устройства торможения агрегата и для склейки концов бумажного полотна на гофроагрегате, сократившие длину склеиваемых полотен с пяти до одного метра. Это поощряло замену рулонов при минимальном остатке бумаги на гильзе. Финансовое обоснование установки автоматических устройств было непростым, и, тем не менее, как только они внедрялись, обслуживающий персонал задавался вопросом, как они раньше справлялись

без них.

Обслуживающий персонал и профсоюзы становились все более нетерпимыми к тяжелым условиям труда при изготовлении тары, влияющим на их здоровье и безопасность. Даже там, где фактически загрузка и разгрузка рулонов была механизирована, установка рулонов в раскат и последующее их удаление осуществлялись вручную.

В конце 1960-х гг. фирмой *Genco* был приобретен автоматический накопитель '*Super-stack*' (укладчик листов в кипы) с четырьмя стейкерами (накопителями). В то время это было серьезным техническим успехом, ознаменовавшим начало осуществления концепции решения двух главных проблем того времени. Стейкер имел значительную длину и мог быть установлен лишь на линии, расположенной в помещении со свободной площадью для его монтажа. Но, вероятно, более важной все-таки оставалась проблема деформации картона в мокрой части агрегата, и поэтому это обстоятельство сдерживало менеджеров в инвестировании средств на приобретение стейкеров, позволяющих осуществлять лишь одностороннюю укладку листов картона в стопы.

В этот период проходила интенсивная вертикальная интеграция предприятий лесопромышленного комплекса, а многонациональные компании выкупали большие частные фирмы. В этих огромных компаниях, менеджеры местных предприятий принимали решения о покупке только безопасных и проверенных на практике технических решений. Этот сценарий, предполагающий приобретение только проверенных видов оборудования для изготовления картонной тары, к сожалению, не способствовал внедрению новаторских решений. В связи с этим машиностроители нуждались в сотрудничестве с прогрессивными частными менеджерами – владельцами предприятий.

Прогресс в сушке картона

Главным крупным достижением *BHS* было создание для промышленности уже в 1970 г. первого полностью автоматизированного слоттера. При наличии двух слоттеров (одного для настройки и второго для работы) отпала необходимость в ограничении скорости работы при изменении заказа (формата).

Настройки были намного быстрее и более точны. Теперь ручной запуск был анахронизмом, и отдельные поставщики во главе с *Harald Gehle* и *Genco*, автоматический накопитель (*Superstack*) которых появился намного ранее, старались оперативно поставлять и иные узлы, создаваемые другими фирмами. Тем временем были разработаны устройства для резки, управляемые ЭВМ и обеспечивающие быстрое изменение длины листов и такую точность, что обрезка краев на перерабатывающем оборудовании была больше не нужна. Это было значительным достижением. Новшество экономило полосу картона шириной, по крайней мере, 3 мм и в среднем 5 мм на каждом листе, что явилось главным обоснованием расходов на развитие.

Marquip появился на рынке как новый американский поставщик в 1970 г. с высокоэффективной установкой для соединения концов бумажного полотна (*splicer* - устройство для склеивания лент), а затем и дорогостоящего проекта усовершенствованного автоматического слоттера.

Как уже было упомянуто, множество других усовершенствований были теперь необходимы для достижения эффективного управления деформацией полотна во влажном конце агрегата. Очень важной теперь была организация сушильной части гофрирующего агрегата, и особенно автоматического накопителя. Внимание сосредотачивалось на оперативном управлении нагрева сушильных электрических плит, а также нагревателей полотна картона и бумаги при изменении скорости агрегата. Также необходимым

был тщательный контроль за применением крахмала во всем диапазоне скорости.

Тогда в 1976 г. *BHS* разработала первую электронную централизованную систему управления (Teltrol) гофрирующим агрегатом.

Гофрирующий пресс без гребенки ('fingerless')

Возможно, самый существенный прорыв в области качества картона и повышения скорости агрегата произошел в 1975-1980-х гг. с появлением '*fingerless*' – гофрирующего пресса без гребенки.

Гребенка с пальцами была предназначена для удержания гофрированного картона у поверхности гофрирующего вала для обеспечения нанесения на вершины гофров клеевой пленки.

Такая система имела несколько недостатков. Тщательная установка пальцев проводилась на холодной прессе (еженедельно), а, кроме того, часто эту операцию требовалось проводить и в течение недели. Это была небезопасная работа, требующая останова гофрирующего агрегата, что и послужило причиной создания наклонной конфигурации пресса, снижающей необходимость доступа и досягаемости его поверхности для регулирования пальцев. Пальцы должны поддерживать требуемый зазор между валом для нанесения клея и гофрирующим валом. При появлении сухих линий (мест отсутствия клеевой пленки) может произойти ослабление прочности тары. Стороны кольцевых канавок на валу часто рихтовали, приподнимая пальцы, что требовало внимания обслуживающего персонала. В случае наматывания бумаги на вал регулировка нарушалась, и снова операторов ждала утомительная работа, причиняя большие потери продукции и снижение мотивации обслуживающего персонала к работе.

Поскольку скорости увеличились, бумага, находящаяся между пальцами и валом для нанесения клея, могла быть выброшенной центробежной силой. Этот эффект чаще наблюдался в случае малой величины гофра. Существовал очевидный предел сближения пальцев, поскольку это увеличило число пальцев и, естественно, возрастали нагрузки на оператора, и уменьшалась прочность тары.

В то время восстановление гофрирующих валов производилось за счет углубления канавок в процессе фрезерования, что приводило к уменьшению их диаметров. А это означало, что требовалась гребенка с новым набором пальцев, соответствующих новым размерам валов. Это вызывало массу

проблем, так как необходимо было регулировать работу и всех последующих механизмов.

В первом гофрирующем прессе *fingerless* (безребеночном прессе) для поддержки гофрированной бумаги на нижней поверхности гофрирующего вала использовался вакуум. При этом были трудности с совмещением систем обеспечения вакуума и парового нагрева вала. Первые технические решения в этом направлении включали:

- систему с нагревом только одного вала (*Rengo's R2D2*, выпускался фирмой *Simon*);
- большие диаметры валов, чтобы увеличить толщину их стенки, обеспечивая возможность сверления в ней отверстий, обеспечивающих действие вакуума на гофрированную бумагу (*Mitsubishi*);
- кольца с рифленой поверхностью, насаживающиеся на стальную трубу и подвергающиеся шлифованию (*Langston*) перед установкой вала (*рис.1.7*);

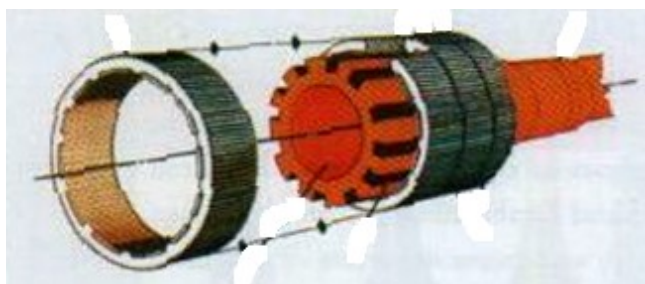


Рис.1.7. Горячий вакуумный вал (Langston)



Рис.1.8. Вакуумный (кожух) зонт (Isowa)

- вакуумные трубы со щелями внутри колец, располагающиеся в нижних гофрирующих валах (*BHS*);
- вакуумный зонт (кожух), создающий разрежение в щелях гофрирующего вала (*Isowa*) (*рис.1.8*);
- нарезку наклонных канавок на поверхности вала (*Martin Airdrive*).

Все эти новшества не затрагивали старую наклонную конфигурацию расположения валов, а коренные изменения конструкции гофрирующего пресса должны были произойти позже. В рассматриваемый период новые прогрессивные решения были встроены в существующие агрегаты.

Сегодня гофрирующий пресс *fingerless* – основной универсально применяемый агрегат, впервые созданный *Agnati* и *ACS* с возможностью использовать воздух под давлением, а не вакуум, поскольку применение вакуума требует наличия более узких щелей. Воздушная система под давлением менее сложна для регулирования и обслуживания.

Гофрирующие валы располагаются преимущественно вертикально с прессовым валом сверху.

Трудно преувеличить важность развития гофрирующего пресса *fingerless*. Помимо того, что его появление устраняло причины травмирования операторов, упростилось обслуживание пресса. Это послужило предпосылкой четко регулируемой проводки гофрированной бумаги в зону соединения с лайнером и точного контроля за нанесением клея на гофры. Появилась возможность полностью использовать потенциал, ранее обеспеченный новациями в сушильной части агрегата и продолжать развитие производства гофрированного картона дальше.

Однако сам факт, что бумага теперь так четко следовала за рифами на гофрирующем валу, подразумевал, что любой дефект на рифе требовал более толстой пленки клея на вершинах гофров, чтобы гарантировать приклеивание их к лайнеру по всей длине. Естественно, это вело к общему перерасходу крахмала и нежелательным влажным полосам в картоне.

Физический износ уменьшал полезный срок эксплуатации гофрирующих валов, и, естественно, такая ситуация не могла долго оставаться неизменной. Все внимание было сосредоточено на поверхностной обработке гофрирующих валов, чтобы уменьшить их износ, и проблема была решена, (об этом будет изложено ниже). А пока отметим, что наиболее действенным оказалось нанесение на поверхность валов ультратонкого покрытия карбида вольфрама.

Помимо важных событий, происходивших в конструкциях механизмов, серьезные изменения наблюдались и в других направлениях. Поставщики

бумаги и картона оказались перед необходимостью ужесточения контроля качества продукции в части снижения колебаний толщины и влажности по длине и ширине полотна. Изготовители крахмала были поставлены перед необходимостью разработки химиката, технологичного в условиях производства гофрированного картона (быстротечного процесса при повышенной температуре). Всегда остро стоял вопрос относительно того, не слишком ли мы заиклены на нашей собственной промышленности. Безусловно, мы имеем весьма специфические эксплуатационные режимы, но не следует закрывать глаза и на новинки в других отраслях промышленности, заслуживающие изучения и применения.

1980-е гг. – усовершенствование механизмов

Начало 1980-х гг. ознаменовались, по сравнению с 1970-ми гг., процессами усовершенствования многих механизмов, вызванных накоплением практического опыта и проектированием новых образцов. Зная об обновлении парка машин на предприятиях и о выгоде заказов, поставщики машин удвоили свои усилия по развитию машин в этом десятилетии. Улучшенный контроль натяжки полотна бумаги и картона на гофрирующем прессе и их точное согласование друг с другом был также важной задачей машиностроителей.

Решение проблемы управления процессом гофрирования с центрального пульта управления занимало поставщиков оборудования и операторов все 1980-е и 1990-е гг. Этот поиск оказался безрезультатным, но ознаменовался прогрессом в улучшении технологии применения адгезивов и контроле над её выполнением. Вместе с улучшенным и более точным контролем за работой двигателя лучшими механизмами и материалами удалось добиться повышения качества гофрированного картона и скорости агрегата. Большая часть этих новшеств подробно описана в следующих главах вместе с основными событиями после середины 1980-х гг. вплоть до современного состояния гофрирующего прессы.

ГЛАВА 2. СОВРЕМЕННЫЙ ГОФРОЯЩИК

Назначение упаковки в хранении товара, его защите и транспортировке

История современной упаковки для упомянутых целей связана с концом Второй мировой войны. Она охватывает почти шестидесятилетний период стремительного и беспрецедентного развития во всем мире от США до Европы, Японии и Дальнего Востока, включая Австралию и развивающиеся страны, достигнув, наконец, уровня, определяемого технологией, являющейся доступной для всех участников процесса изготовления упаковки. Именно это определяет историю создания удивительного изделия, которое начиналось с «твердого» картона после войны и стало двадцать лет спустя самым важным упаковочным материалом, используемым в мире.



Рис.2.1. Современный универсальный гофрированный ящик представляет собой лучший из вариантов упаковки



Рис. 2.2. Современная коробка для упаковки бутылок вина

В США в 1945 г. изготовлялось большинство видов оборудования

и бумаги, используемых промышленностью. Главными поставщиками оборудования были фирмы, основанные в США (*Langston, Koppers* и *S&S*), и в то же время большие бумажные американские компании - производители бумаги доминировали над рынком. В качестве исходных полуфабрикатов использовались крафт-лайнер массой 1 м², равной 360 г, и флютинг из полуцеллюлозы массой 104 г/м². Терминология профилей гофра *A* и *B*, а также крафт-лайнер и флютинг имеет американское происхождение. Критерии оценки упаковки, принятые в США, послужили основой для разработки соответствующих спецификаций в Европе.

Итогом разработки было достаточно прочное изделие, устойчивое при длительной транспортировке, гарантированно обеспечивающее безопасность содержимого тары. Коробка известна также под названием «транспортная тара». Надежность тары являлась лозунгом, и когда материалы были в коротком обороте, поставщики процветали (рис.2.1, 2.2).

Гофрированный картон всегда относился к сфере услуг и был одним из производств с низким уровнем инвестиций. Производство бумаги и стекла, а также алюминиевой фольги – более капиталоемкие и труднее поддаются техническому перевооружению. Кроме того, производство гофрированного картона при непрерывно расширяющемся рынке могло быть организовано в короткий срок в небольших городах при наличии трудовых ресурсов и доступной правительственной помощи. Этот рост сети предприятий по производству тары в течение 60-х и 70-х гг. привел к быстрому появлению нового поколения поставщиков оборудования.

Для типичной послевоенной тары (коробки, ящики), характерны:

- наличие сшитого соединительного шва, запечатки штампованием с использованием одноцветной краски или без запечатки;
- изготовление из прочного крафт-лайнера и флютинга из полуцеллюлозы;
- частая комплектация дополнительными фасонными внутренними вставками (обечайками, перегородками, амортизирующими устройствами).

Изготовление тары было трудоемким, весьма шумным производством с использованием ручного труда. Машины обычно имели ручную подачу

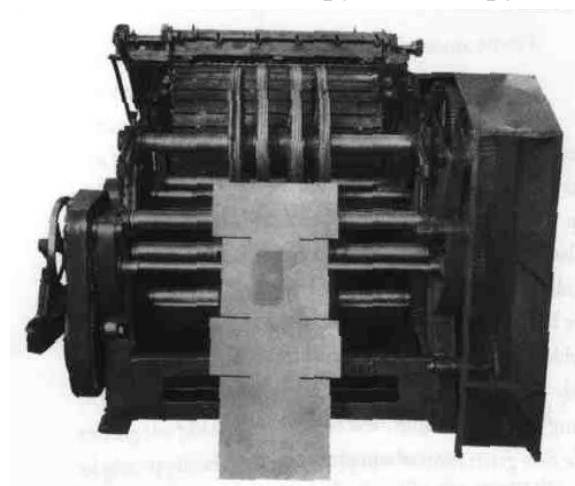


Рис. 2.3. Печатно-просекательная машина (Flap cutter - машина для просечки клапанов)

заготовок, а переработка представляла собой группу сшивных устройств с использованием круглой и плоской проволоки в зависимости от размера и сложности упаковки. Для переработки гофрированных листов использовалось множество небольших ротационных машин для продольной резки и высечки заготовок. Все они требовали ручной настройки, и в то

время процессы настройки были важными составляющими стоимости тары.

Отходы также должны были быть часто собраны вручную, но несколько позже удалялись с помощью пневматических устройств. Правила страхования часто требовали сокращения зазора между закрывающимися клапанами ящика. Был создан механизм для высечки заготовок, позволяющий выпускать их с заданными размерами клапанов ящиков (рис.2.3). Процесс загрузки листов картона вручную был определяющим фактором получения заготовок ящиков (например для стеклянных бутылок), отвечающих упомянутым требованиям. В целях подпружинивания содержимого часто для укладки на дно и верх ящика готовились специальные амортизирующие вставки в дополнение к откидным клапанам.

Важным шагом в развитии процесса была разработка модификаций крахмала для склейки полотен на гофрирующем прессе. Силикат натрия, который использовался первоначально, имел огромное неудобство, заключающееся в его абразивности, и поскольку гофрирующие валы очень быстро выходили из строя, их приходилось менять, приобретая новые

по достаточно высокой цене. Крахмал позволил проводить различные комбинации, что было дополнительной выгодой для производства. Например, в случае трехслойного картона каждый лайнер мог быть приклеен своим клеем. Единственной проблемой с крахмалом в то время была его меньшая масса, по сравнению с силикатным клеем, и продавать продукцию по весу было невыгодно (такая практика еще существовала в торговле). Коробка могла, например, быть более легкой, по сравнению с аналогичной тарой с использованием силикатного клея, и в некоторых случаях в то время приходилось снова переходить на использование силикатного клея, если не было понимания со стороны потребителя.

Возможно, первое принципиальное изменение в производстве тары наступило в середине 60-х гг. с освоением флексографической печати. Она встраивалась в действующие машины, которые затем могли реконструироваться. Отпала необходимость в сушке запечатанных заготовок перед последующими операциями. Появилась возможность многоцветной печати, положено начало сокращению ротационной типографской печати. Это было также началом непрерывного процесса упрощения производства тары, который продолжается до сих пор. На прогресс влияло бурное развитие проектов машин для штанцевания (устройств, совмещающих несколько операций), которое устранило несовместимость отдельных механизмов, до этого используемых в производстве тары. Достаточно сказать, что отпала необходимость в разделительных прокладках для затаривания бутылок в ящики, что было невероятной перспективой в 50-х или 60-х гг. Конечно, усовершенствования в управлении использующихся механических систем, а также в транспортировке способствовали прогрессу в производстве тары. Наблюдалась тенденция замены трехслойного картона с гофром профиля С в качестве вкладыша на двухслойный картон для этой же цели, поскольку потребность в специальных амортизирующих прокладках для перевозки бутылок в ящиках была уже не актуальной.

В то же самое время формировалась концепция, предусматривающая

размещение производств для резки бумаги (картона) с использованием соответствующего оборудования, а также выполнения мелкосерийных заказов вне территории основного производителя. Такие заводы были весьма дешевы и запускались с использованием имеющегося на рынке в избытке оборудования *second hand* и избыточной рабочей силы.

С пуском в 60-х гг. новых машин всестороннее распространение получила склейка ящиков, опередив сшивание и оборачивание лентой. Сшивание металлическими скобками предполагало надежность, а оборачивание лентой – гигиеническую чистоту внутренней поверхности тары. В то же самое время была развита идея модульной конструкции машины, посредством чего печатные, ротационные блоки штанцевания могли перемещаться по рельсам между машинами, помещенными, например, в виде тандема, обеспечивая большую гибкость в эксплуатации и экономию инвестиций. Все это меняло представление о технологическом потоке, так как с «расшивкой» узких мест по переработке гофрокартона сдерживающим фактором становился сам гофрирующий агрегат.

Поэтому в начале 70-х гг. центром внимания стал гофрирующий пресс. Ему на смену пришел мощный агрегат. Непрерывно действующий гофрирующий пресс был разработан в Японии, и именно он открыл новые горизонты для роста производительности, качества и гибкости. Управление длиной осуществлялось на таком уровне, что практически отпала надобность в припуске (обычно составляющем плюс/минус 10 % и даже выше). При отсутствии необходимости в изменении размеров (в соответствии с заказом) опасность выработки бракованного картона перестала быть причиной для беспокойства. В то же самое время прежний стандарт ширины гофрированного картона, равной 2 159 мм (или 2 210 мм), можно было пересмотреть.

Принятая ранее под влиянием США ширина картона была признана устаревшей в пользу новой ширины, составляющей 2 440 мм и достигаемой в Европе на новых гофрирующих агрегатах. Гофрирующий агрегат стал

широким, более автоматизированным и непрерывно действующим.

Развитие штанцевания – устройств, совмещающих несколько операций, ознаменовалось кардинальными переменами после 70-х гг. Первоначальный процесс предусматривал ручную подачу заготовок в пресс, ограничения в их размерах и был весьма трудоёмким. Ротационная машина для штанцевания была эффективным развитием аналога, но также имела ограничения, касающиеся точности, и, кроме того, создание форм требовало значительного навыка, опыта и расходов. Планшетная (трафаретная) штанцевальная машина была лишена упомянутых недостатков, тем более, что поставщиком была швейцарская фирма *Bobst*, чья история производства машин для рынка начиналась с механизмов, предназначенных для картонной промышленности.

Специализированные отделочные машины были также заимствованы у фальцовочных устройств коробочного картона и многоточечной склейки. Таким образом, возможности для разработки прогрессивного проекта стали очевидными и доступными с появлением в 1980-х гг. большого пакета технических решений, позволяющих, к тому же, использовать автоматизированное проектирование. В результате, резко увеличился спрос на установки для штанцевания картона, которые должны были занять почти половину всего рынка к концу столетия. Фактически, ротационное штанцевание продолжало приносить успех в умелых руках опытных специалистов.

Штанцевание и флексопечать позволили создать превосходные конструкции тары и её художественное оформление. Качество печати все ещё отставало от уровня, достигнутого на коробочном картоне, несмотря на попытки запечатывания гофрированного картона разными способами (в том числе, нанесом красок литографским способом и лакированием). Даже рассматривался вариант, когда на линии, включающей гофрирующий пресс и ламинатор, использовался предварительно запечатанный офсетной краской лайнер.

Развитие производства гофрированного картона часто определялось

технологией. Изобретатели и предприниматели предложили новые рыночные идеи, и рынок «ухватился» за них. Часто эти идеи поступали и от поставщиков машин, так что оставалось задействовать талантливых конструкторов, способных продвинуть научно-технический прогресс отрасли.

Сэм Гринвуд усовершенствовал станок для типографской печати, Рене Каррел задавал тон в оборудовании для флексографической печати во Франции и разработал самые первые линии в Европе. Токуно (Японии) разработал в 70-х гг. механизм резки картона, заимствованный в сталелитейной промышленности.

Изготовители тары также искали средства повышения добавочной стоимости скромной коробки и осуществляли это двумя основными способами.

Во-первых, они попытались улучшить качество гофрокартона. Пропитка или покрытие парафином, а также обработка жидким крахмалом – ранний пример преодоления низкой устойчивости гофров при хранении тары в сырых условиях. Повышение прочности путем армирования лентой, ламинирования гофрокартона, изменениям профиля гофра – примеры устройств, используемых для совершенствования тары. Во-вторых, изготовители непрерывно улучшали декоративные свойства тары. Многокрасочная печать, развитие офсетной печати, пригодной для последующего удаления при вторичной переработке ящиков, машины шелкотрафаретной печати, предварительная трафаретная печать – этапы непрерывного совершенствования производства тары. Главной тенденцией было развитие автоматических систем заполнения/упаковывания товаров в тару. Это направление использования ящиков является главным в развитии тарного производства.

60-е и 70-е гг., в особенности, ознаменованы появлением главных торговых марок (брендов), а история проектирования тары тесно связана с потребностью в автоматизированном производстве и доминировании

товаров, имеющих фабричное клеймо, поскольку происходила глобализация рынка. По существу происходила революция в упаковывании консервов или жидких продуктов (разлитых в бутылки) в гофрированные поддоны, угрожающая многим хорошо устоявшимся техническим требованиям упаковывания и транспортировки (при этом для промышленности гофрокартона открывались новые горизонты!). Промышленность оказалась готовой для назревших перемен в изготовлении тары. Развивалась техника нанесения рекламной маркировки, эмблем и четырехцветной печати, распространялась обвязка кип, поскольку были созданы машины, упрощавшие проведение перечисленных операций. Это десятилетие ознаменовалось развитием сетей супермаркетов, предъявляющих повышенные требования к упаковыванию и транспортировке товаров. Индустрия тары вынуждена была приспособиться к новым «вызовам» рынка. Например, подлежащие возврату пластмассовые поддоны по физико-механическим показателям в принципе ставят под сомнение само существование транзитной тары. Логистика стала важной составляющей бизнеса, и гофрированная тара должна была еще раз доказать свои преимущества.

Необходимость стандартизации, особенно в упаковывании фруктов и растительных продуктов, заставила объединить усилия международных производителей в создании интернационального стандарта. Информатика и интернет-посещение магазинов обеспечили новые перспективы использования гофрированной тары.

В 70-х гг. штриховой код стал доминантой развития и сыграл свою роль в достижениях технологии печати на таре. В конце концов, штриховой код был бы бесполезен, если он не мог бы быть прочитан. Он обусловил потребность не только чистой и точной печати, поскольку часто нес самую достоверную информацию, но и возможность произвести печать внутри компании без требуемого уведомления. Сегодня благодаря штрихкоду можно получить, а также передать информацию о производителе.

Таким образом, прошедшие сорок лет ознаменованы устойчивым

и непрерывным темпом новаций в тарной промышленности.

Оглядываясь назад, можно отметить определенные тенденции в развитии отрасли:

- постоянное сокращение массы 1 м² картона, при увеличении доли использования макулатуры в композиции взамен первичных волокнистых полуфабрикатов;

- постоянно увеличивающееся использование устройств для штанцевания картона благодаря технологиям автоматизированного проектирования и заимствованию технологий, использующихся при переработке коробочного картона;

- создание сверхпрочных материалов, используемых для замены древесины во многих областях;

- быстрое появление новых профилей гофров, благодаря возможности быстро менять гофрирующие валы, позволяющие вырабатывать гофрированный картон, являющийся во многих случаях эффективным конкурентом коробочному картону.

Автоматизация, значительное увеличение скоростей оборудования, внедрение цифровых технологий были катализаторами изменений непосредственно на фабриках картонной тары.

Современный завод тары из гофрированного картона занимает большую площадь и высоко автоматизирован. Тем не менее, на региональном уровне такое производство относится к сфере услуг. В сфере производства гофрокартона клиент почти всегда был более сильным, чем поставщик. Патенты на проектирование таких производств было особенно трудно получить или защитить. В случаях инновационного проекта, возможно, у поставщика и было временное преимущество, но, вообще говоря, это длилось недолго.

ГЛАВА 3. ТИПЫ ГОФРОВ И ГОФРИРОВАННОГО КАРТОНА

Гофрированный картон производится из множества комбинаций бумаги для гофрирования, которая гофрируется и затем комбинируется с плоскими слоями тарного картона (лайнера).

Гофрированный картон с одним плоским слоем

Производство такого гофрированного картона - специализация только нескольких предприятий. Продольная резка картона осуществляется непосредственно на агрегате или отдельно стоящем станке.

Материал должен обладать гибкостью, в одних случаях, жесткостью – в других, а также амортизирующими свойствами, которые определяли начало его раннего использования для придания жесткости верхней части дамских шляпок, а также защиты стеклянных ламп, фляг или керамики. По сей день эти свойства лайнера используются как первичная защита для хрупких предметов, а также книг при почтовой доставке, мебели и бумажных беловых товаров.

У гофрокартона с одним плоским слоем был очень устойчивый рынок для упаковки лампочек и упаковки в форме тубы до середины XX столетия.

Оборудование для производства гофрированного картона с одним плоским слоем было простым и несовершенным до появления в 1995 г. в Швеции первого полностью автоматизированного слоттера (устройства для продольной разрезки) и пермоточного станка, встроенных в технологическую линию, работающую со скоростью до 200 м/мин.

Такой картон с микрогофрированным слоем используется в качестве модной внешней упаковки косметики и подарков. Упаковка может быть запечатана рисунками и текстом.

Обычный гофрированный картон

Гофрированный картон – наиболее широко используемый упаковочный материал для ящиков, вкладышей и обечаек (рис.3.1). Он используется также для специального назначения, например, в качестве



Рис.3.1. Виды гофрокартона

гофров и сортами бумаги. Они могут быть водонепроницаемыми, влагостойкими, пригодными для хранения замороженных продуктов в холодильнике. В промышленности более чем 50 % гофрированной тары используется для упаковывания пищевых продуктов и напитков, что накладывает дополнительные требования по соответствию её гигиеническим нормам.

Самой распространенной формой гофра для изготовления гофрированного картона является гофр В (в Японии и некоторых других регионах Дальнего Востока распространен гофр А).

Картон с двумя плоскими слоями (*Double wall board*) обеспечивает комбинированную защиту при укладке ящиков в штабель и хорошую печать на боковой поверхности. Поэтому традиционно такие ящики использовались для затаривания разлитых в бутылки напитков высокой ценности, таких как шотландское виски и джин. Ящики штабелировались на поддонах и направлялись на экспорт. С появлением морских контейнеров при оптовой отгрузке и хранении ящиков с бутылками произошел переход к ящикам

защитной временной тары. Материал предназначен для изготовления жестких, в меру эластичных, устойчивых к проколу вследствие амортизационных свойств, хорошо штабелируемых, годных для повторного использования ящиков. Ящики могут иметь хорошую поверхность, пригодную для печати, удобны для пунктов продажи, перевозок товаров и выставления в витринах. Эксплуатационные свойства ящиков определяются различными формами

из картона с гофрами С и прочными плоскими слоями по причине того, что такой вариант оказался более дешевым: ящики занимали меньше места и увеличивалась загрузка контейнера.

Гофрированный картон с тремя плоскими слоями обладает высокой прочностью и используется вместо древесины при изготовлении тары, к которой предъявляются жесткие требования по прочности вместе с существенным сокращением массы ящика. Гофрированный картон с тремя плоскими слоями часто используется в комбинации с древесиной. Большая часть такого картона реализуется в листах для специальных целей. Существуют компании, производящие гофрированный картон с четырьмя плоскими слоями.

Triwall - название запатентованного специального картона с тремя плоскими и тремя гофрированными слоями, имеющего толщину около 14 мм. Выданный на картон патент был одним из очень немногих патентов, имеющих в индустрии тары. Только единичным компаниям ряда стран разрешено изготовлять и продать гофрированный картон *triwall*.

Используя конструкции картона с двумя или многими гофрированными слоями и широкое разнообразие сортов бумаги и картона, можно получить множество возможных комбинаций гофрированного картона, удовлетворяющих любого потребителя.

Ламинированный флутинг и гофры разного профиля, наряду с влагопрочным лайнером, весьма широко используются для гофрированного картона, предназначенного для изготовления прочных лотков под овощи и т.п. Ламинированный флутинг после гофрирования склеивается специальным клеем с двумя слоями бумаги. При этом образуется очень твердый и жесткий картон с превосходным сопротивлением плоскостному и торцевому сжатию, сопротивлением продавливанию, а также стойкий в неблагоприятных климатических условиях и удобный при заполнении, складывании и транспортировке.

Формы гофров

В табл. 3.1 показаны размеры различных гофров. Представленные данные рассматриваются только как рекомендательные и могут меняться в зависимости от возможностей изготовителей и требований заказчиков.

Есть определенные критерии в выборе гофров и бумаги. Характеристики бумаги упомянуты в **пятой главе**. Имеются основные руководящие принципы в выборе гофров:

- малые гофры характеризуются очень малой высотой и шагом;
- грубые гофры характеризуются большой высотой и шагом.

Сопротивление плоскостному сжатию (*Flat crush test = FCT*) является мерой способности гофрированного картона сопротивляться силам, стремящимся разрушить гофры во время изготовления или в процессе использования тары. Известно, что загруженные ящики укладываются в штабеля и перевозятся на большие расстояния, поэтому выдерживание этого показателя гарантирует сохранность тары.

Таблица 3.1

Диапазон используемых гофров

Вид гофра	Высота гофра, мм	Шаг гофра, мм	Коэффициент гофрирования (Take-up)
O	0,30	1,25	1,14
N или G2	0,50	1,70	1,21
G	0,55	1,80	1,21
F	0,75	2,40	1,22
E	1,16	3,50	1,24
B	2,50	6,50	1,31
C	3,66	7,95	1,42
A	4,45	8,66	1,53
K	6,00	11,70	1,50
D	7,50	14,96	1,48



Рис.3.2. Пример печати на коробке

Более грубые гофры имеют более высокое значение показателей сопротивления торцевому сжатию (*edge crush test* = *ECT*) и амортизационные свойства по сравнению с малыми гофрами при одной и той же бумаге для гофрирования.

Чем мельче гофры, тем благоприятнее условия печати текста и изображений на поверхности гофрированного картона. Большее количество гофров на единицу длины полотна картона позволяет получить

ровную поверхность и высокую плоскостную жесткость. Это дает возможность выполнять высококачественную художественную и текстовую печать.

Даже на такой высококачественной коробке (на фотографии) видны линии гофров при печати.

Поэтому у двух- и трехслойных картонов на внешней стороне обычно более качественный гофр (*B* или *E*) для улучшения печатных свойств, а более грубый гофр (*A*, *C* или более грубый) – на внутренней части для амортизации.

ГЛАВА 4. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОФРОАГРЕГАТОВ В КОНЦЕ XX В.

В этой главе основные события с середины 1980-х гг. до 2002 г. обрисованы в общих чертах, чтобы обеспечить общее понимание и служить дополнением к полному описанию процесса в следующих главах по мокрой и сухой частям гофроагрегата. Усовершенствования сгруппированы в логической последовательности по пути прохождения бумаги через машину, начиная с мокрой части, а не в хронологическом порядке.

Чтобы понять истоки данных изобретений нужно обратить внимание на ряд событий, уже описанных в главе 3, главное значение которых было в создании фундамента для увеличения рабочей скорости гофроагрегатов, поддержания постоянства скорости и уменьшения деформации и других проблем с качеством продукции. Главными шагами до середины 1980-х гг. были:

- переход к крахмальным адгезивам в 1960-е гг.;
- автоматические накопители;
- гофрирующий пресс без гребенки *Fingerless*;
- автоматический слоттер;
- концепция централизованного управления;
- быстрое регулирование подачи тепла в преднагреватели и сдвоенные агрегаты;
- прямое выключение двигателя.

В середине 80-х гг. усовершенствования велись по двум основным направлениям: механическом дизайне и электронным средствам управления гофроагрегатами, **которые должны были быть быстрее, шире, более надежными, более производительно используемыми обслуживающим персоналом, производящими более качественный картон с меньшим количеством затрат и самоконтролем для обнаружения ошибок и требований по обслуживанию.**

Это было достигнуто в последовательности усовершенствований точности и прочности механических аппаратных средств в сочетании с главными инновационными решениями в области цифровых технологий, следующими из недавно доступных цифровых электронных средств управления, шаговые двигатели и частотные преобразователи асинхронных двигателей. Одновременно достигалось более глубокое понимание химических и физических факторов процесса гофрирования, источников вибрации и систем управления непосредственно в машинах.

Отметим, что в этот период производители гофрокартона были не в состоянии поддержать размер прибыли и отчаянно сокращали расходы. В первую очередь, это коснулось трех областей – научные исследования, обучение и обслуживание. Таким образом, усовершенствование машин и процессов в течение этого периода осталось почти полностью в руках поставщиков оборудования. Больше не было центров промышленного развития, хотя осталось несколько исключений таких, как *Rengo* в Японии, *Otor* во Франции и *Weyerhaeuser* в США.

Усовершенствования между 1970 и 2000 гг. помогли производителям коробки уменьшить свои затраты и улучшить их финансовую окупаемость. При правильной эксплуатации новых современных гофроагрегатов достигли повышения производительности, которая росла от 10 000 м²/ч в 1972 г. и 17 000 м²/ч в 1985 г., к более чем 30 000 м²/ч в 2000 г. Кроме того, модульный подход к машинному проекту, используемый некоторыми поставщиками, позволил операторам развить и модернизировать свои машины с минимальным нарушением производства и по пониженной стоимости.

Начиная с мокрой части, основные усовершенствования состояли в следующем:

Сплайсер (Splicer) – устройство для склейки рулонов

Параметры назначенных действий введены или через систему центрального контроля, или вручную, или через систему планирования.

При установке параметров на сплайсере учитывают марку бумаги, ширину и соответствующую линейную скорость. Учитывая эту информацию, система управления сплайсера запрограммирована на установку тормозов рулонов и постоянно регулирует установки тормозов, удовлетворяющие постоянно изменяющемуся диаметру наматываемого рулона. Задача в том, чтобы поддержать правильное натяжение бумаги для определенного значения. Значение натяжения и контроль – теперь неотъемлемые части сплайсера.

Буфер фестона больше не натягивается пружиной или пневматическим давлением, а регулируется мотором, контролирующим вращающий момент или что-то подобное, который может немедленно предотвратить беспорядочные колебания натяжения после соединения встык, которые характеризовали прошлые системы.

Для того, чтобы обеспечить гладкий переход от одного рулона к следующему, должны быть системы управления напряжением двойных тормозов.

Гофрирующий пресс

Основные усовершенствования следующие:

- точная, управляемая электроникой подача клея;
- централизованный контроль всех параметров машины;
- возможность использования в одном гофрирующем прессе различных типов гофров с быстрым изменением гофров;
- устранение прессового вала;
- периферийное нагревание гофрирующего вала;
- повышение долговечности гофрирующего вала новыми способами обработки поверхности.

Подача клея на современных гофрирующих прессах имеет точность выхода на рулон намного большего порядка, чем на машинах 15÷20-летней давности.

Действительно, существует необходимость перейти к зазорам порядка 0,1 мм. Механическая точность поддержана точным электронным контролем установок зазора. За многие годы было осознано, что один из ключей к достижению более высоких рабочих скоростей и повышения качества – возможность установить абсолютный минимум клея на вершине гофра, достаточный для удержания, и поддержание постоянства подачи клея на машину во всем диапазоне скоростей. Достижение этого на практике заняло гораздо больше времени.

Нужно обратить внимание на три главных вопроса:

- обработка поверхности клеенаносящего вала;
- относительная поверхностная скорость шаберного и клеенаносящего вала;
- точное измерение и контроль фактического зазора между клеенаносящим валом и вершиной гофра гофрирующего вала.

Каким бы ни был край поверхности клеенаносящего вала, он должен успешно передать устойчивое количество крахмала на полотно по всей ширине и на следующие один за другим вершины гофров. Тонкий слой крахмала должен быть обновлен при каждом повороте вала и точно рассчитан для всех скоростей вспомогательного вала. Имеется в виду, что слой крахмала обновляется при каждом повороте. Если бы тот же самый крахмал прошел по кругу несколько раз в горячей окружающей среде гофрирующего пресса, он бы превратился в клейстер и закрепился на вале, делая невозможной основную настройку геометрии и поверхности вала.

Что касается относительных поверхностных скоростей вспомогательного и проклеивающего валов, они выбираются такими, чтобы поддерживалась определенная толщина слоя на проклеивающем вале. Эффект гидродинамического клина существует всегда, когда жидкость проходит через зажим между двумя валами. Жидкость сжимается до размеров щели и на выходе может быть больше размера самого зазора. Этот эффект может меняться в зависимости от поверхностных скоростей, в

нашем случае, от скорости машины. Было проведено много исследований для обнаружения условий, которые дали бы разумную стойкую появляющуюся толщину слоя во всем диапазоне скоростей.

Но, возможно, самый важный параметр – контроль проклеивающего вала для определения размеров верхушки гофра. Уже доступны электронные инструменты, способные к работе в жесткой окружающей среде гофрирующего пресса – под действием вибрации, высокой температуры и влажности. Это важно для достижения фактического промежутка между проклеивающим и гофрирующим валами, который будет постоянно проверяться и поддерживаться.

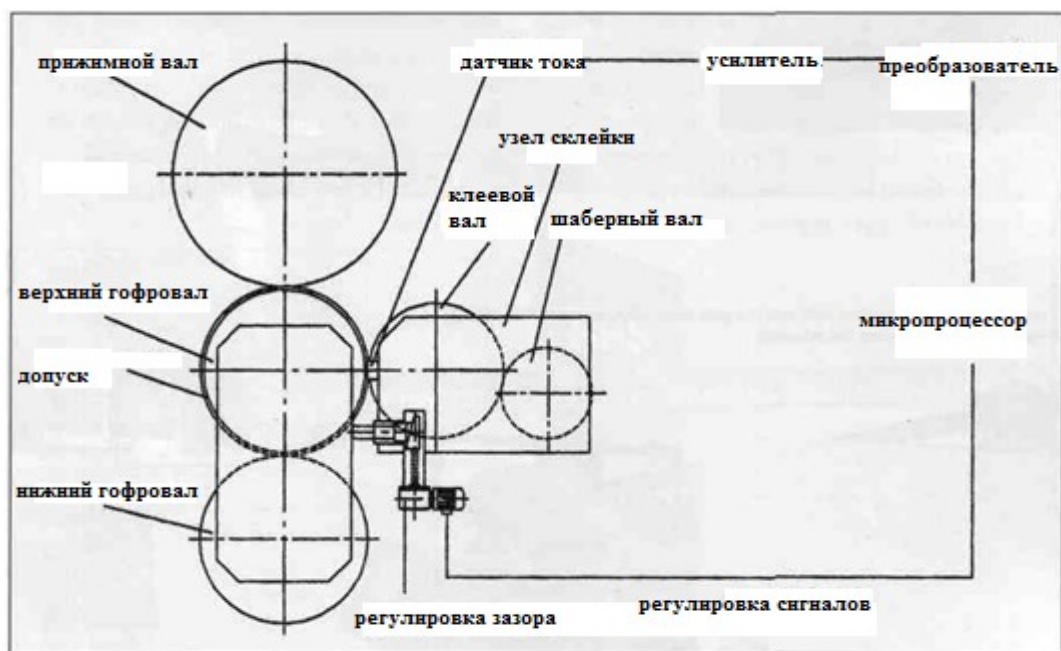


Рис.4.1. Контроль зазора между проклеивающим и гофрирующим валами

Один такой инструмент – датчик вихревого потока струи. Гладкая кольцевая поверхность установлена на каждом конце гофрирующего вала в качестве эталонной поверхности. Система регулирования калибруется, затем конусообразное устройство стопора устанавливает необходимый зазор для обеспечения хода бумаги. Стопор необходим как страхование от контакта металла с металлом и последующего повреждения поверхности рулона. После того любые тепловые расширения или неполадки в двигателе

автоматически преодолеваются так, чтобы поддерживался постоянный промежуток, как показано на *рис. 4.1*.

Другой подход рассматривает необходимость только легкого контакта между проклеивающим валом и вершинами гофров бумаги. В этом случае проклеивающий вал придвигают к бумаге, пока не начинает ощущаться сопротивление. Необходима высокая чувствительность в таких сложных машинах. Но гофрирующие машины сегодня – сложные машины высокой точности, требующей надежных, но чувствительных средств управления.

Централизованный контроль всех настроек машины направлен на выполнение двух главных функций. Во-первых, это – промежуточное звено, посредством которого управление и системы программного обеспечения планирования могут общаться с машиной и автоматически влиять на ее быструю установку, вспоминая прошлые параметры настройки для данного сорта картона или бумаги, без привлечения ручного труда. Во-вторых, контроль предоставляет машинному оператору возможность проверки условий текущей регулировки. Если, по его мнению, они необходимы, он может не принимать во внимание предлагаемые программным обеспечением параметры настройки для удовлетворения потребностей дня.

Поэтому важно, что везде, где возможно, машина является саморегулирующейся с, например, пружинящими или слабо зажимаемыми зазорами (вместо сложного регулирования толщины картона) и самокомпенсирующими устройствами регулирования натяжения. При централизованном контроле вся главная установочная информация должна быть легко видимой и регулироваться напрямую. В случае рассматриваемого гофрирующего пресса это было бы применимо не только ко всем главным зазорам, точкам приложения давления, влажности и температуре непосредственно на машине, но также и к вращающему моменту тормоза, натяжению бумаги, положению сплайсера на раскате, установкам скорости и влажности на преднагревателях и предкондиционерах.

Таким образом, можно проверять **качество** и управлять **процессом**.

Поиск новых рынков и ниш для гофрированного картона привел к быстрому увеличению гофр, которые потребовали увеличения гибкости на гофрирующем прессе. В **рассматриваемый** период получили распространение сдвоенный гофрирующий пресс с несколькими гофрами.



Рис. 4.2. Кассетный гофрирующий пресс

Самым простым и наименее дорогим способом был переход к валам типа «кассеты» или «картриджа», которые, как полагают, были впервые представлены в 1985 г. фирмой *Langston*. Это предполагает монтаж пары гофрирующих валов

в сборное сооружение, которое стало известным как кассета. Эта кассета может быть перемещена в и из структуры машины в течение 4 или 5 мин, затем бумага повторно заправляется, и рулоны нагреваются до максимальной температуры, что делает время замены равным приблизительно 15 мин. Может быть взято любое количество кассет, каждая с различной формой гофра, таким образом, замена довольно гибкая. Тем не менее, переключение – задача, для выполнения которой необходимы ручные усилия и решения. Если будут выполняться очень частые изменения гофров, то неизбежен износ, что налагает значительные требования к обслуживанию. Кроме того, валы некоторое время должны работать с подачей пара, чтобы достигнуть устойчивого состояния, даже если они предварительно подогреваются перед сменой вала. Весьма значительное охлаждение происходит уже через 10 мин. Конечно, время переключения меньше с линией с двумя гофрирующими прессами, поскольку одна машина может быть запрограммирована на работу, в то время как другая подвергается переключению кассет (рис.4.2).

Еще один подход предполагает наличие двух наборов гофрирующих

валов с различными установленными гофрами и средства переключения от одного до другого в намного более короткое время (обычно в пределах 5 мин от останова до нового включения в работу), без применения ручной силы. Валы могут вращаться во время ожидания с паром прямо до времени переключения. Только физическое переключение занимает приблизительно минуту. Это – лучшее техническое решение для частых изменений гофров, поскольку нет никакого ручного вмешательства, но главное ограничение – два типа гофров на агрегате.

BHS развили концепцию, которая комбинирует преимущества обоих типов. Их версия сдвоенного гофрирующего пресса *Modul facer* может быть устроена таким образом, чтобы иметь вставку кассеты любого третьего гофра снаружи. Таким образом, постоянные валы используются для двух наиболее часто используемых типов гофров, и любые другие гофры могут быть введены за более длинный период переключения (15-20 мин) в кассете (рис.4.3).

Указанные времена переключения на практике очень колеблются. Один источник указывает, что самое быстрое время замены гофрирующего вала на традиционных гофрирующих прессах составляло приблизительно 8 ч, а большинство заводов используют выходные дни, чтобы убедиться в завершении работы. Мы говорим здесь о машинах, сделанных до 1990-х гг. главными изготовителями.

Следующий шаг в процессе развития гофрирующего пресса – замена прессующего вала, который в течение некоторого времени был замечен как чувствительный элемент, который производит вибрацию и шум и, как третий вал, только добавляет требования к точности установки, заправки и окончанию работы вала.

В линии контакта между прессующим валом и верхним гофрирующим валом есть критическая точка. Давление контакта должно быть равным, и линия контакта должна быть абсолютно горизонтальная и прямая, иначе картон никогда не будет плоским. Это обычно достигается очень

слабой установкой нижнего гофрирующего вала. Давление прилагают на концы прессующего вала и нижнего гофрирующего вала, значение прилагаемого давления зависит от ширины бумаги.

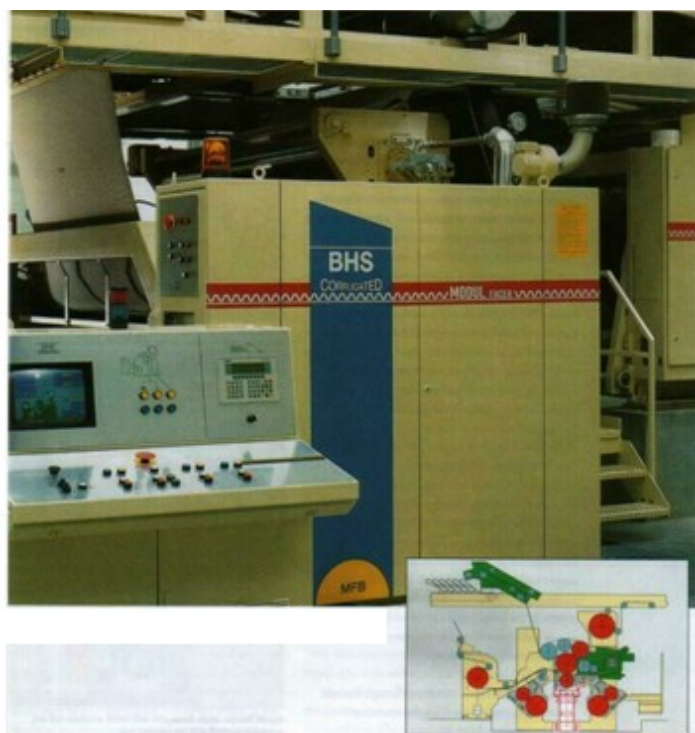


Рис.4.3. BHS Modul facer также имеет два постоянных набора валов и дополнительную возможность вставить кассету между ним и для многократной операции замены типа гофра

Главная причина вибрации и шума в гофрирующем прессе – контакт между прессующим валом и верхним гофрирующим прессом. Прессующий вал может заходить в отверстия между гофрами и подниматься с их вершинами. Остановки прессующего вала могут уменьшить, но никогда не предотвратят этот эффект. Когда частота достигает естественной частоты

гофрирующего пресса, уровень шума увеличивается, и вибрация может вызвать стук, который приводит к плохому формированию гофров и чрезмерному повреждению или дроблению лайнера, уменьшая прочность картона. Просто машиной нужно управлять только ниже или только выше гармонического диапазона уровней скоростей, которые обычно появляются приблизительно при 110 м/мин и 220 м/мин для гофра С.

Эти эксплуатационные и экологические факторы вместе с желанием увеличить скорости машины привели к попыткам устранить контакт прессующего вала с гофрирующими валами и увеличить продолжительность горячего контакта соединения между вершинами гофров и лайнером. Решения распределились по трем категориям.

Первым коммерчески доступным решением был гофрирующий пресс

компании *Mitsubishi Paser*, использующий систему поясов давления. Решение было в целом новым, но оригинальный патент *BHS* 1975 г. в то время оказался нерыночным, потому что материалы сукна, которые соответствовали бы эксплуатационным режимам, особенно температуре гофрирующего пресса, были тогда просто не доступны. На первых машинах с прижимным сукном возникли три главные проблемы:

- короткий срок службы сукна;
- неспособность влаги удаляться через сукно;
- замена сукна была долгой операцией (время простоя).



Рис. 4.4. Сукно заменяет прессующий вал на некоторых гофрирующих прессах. Стальной пояс из проволоочной сетки показан на агрегате *Bandleader* фирмы *BHS*

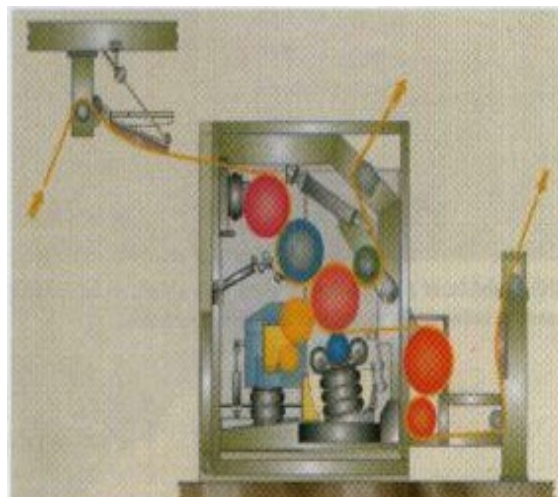


Рис.4.5. Гофрирующий пресс компании *Agnati Master* со слабым прижимом прессующего вала и расширенным контактом с гофрирующим валом

Затем *BHS* представил устройство сукна давления *Bandleader*, использующее прекрасный сотканное сукно из металлических тонких нитей. И хотя срок службы ранних сукон был коротким, картон мог "дышать" свободно, был разработан механизм замены сукна в течение 2 мин. Со временем срок службы сукон увеличился до 10 млн м и больше, и затраты уменьшились (рис.4.4).

Затем появился расширенный зазор, задуманный *Otor*, большим независимым производителем коробки, также используемый *Peters*. Но появилось противостояние концепций большого и малого диаметров вала, которые были предложены *Agnati Master* (рис. 4.5) в Европе и *Marquip* в

США (Pyrobond), оба были предоставлены на выставке гофрированного картона в 1998 г. в Париже (на стр.55).

Вал, регулирующий натяжение

Разработанное для устранения неравномерности натяжения от одной до другой стороны лайнера, это простое, но важное устройство механически уравнивает натяжение бумаги. Устанавливается только до преднагревателя и эффективно предотвращает проблему колебания или сморщивания одной стороны бумажного полотна и гарантирует однородный контакт бумаги с преднагревателем. Когда натяжение больше на одной стороне, конец вала сдвигается до тех пор, пока не восстановится баланс (рис.4.6).



Рис. 4.6. Вал, регулирующий натяжение для обеспечения ровного контакта в преднагревателе

Сеткоправители гофрирующего пресса

Стальные сеткоправители были заменены мягкими, высокими поверхностными рулями трения, которые сохраняют сетку выровненной, находясь либо в центре машины, либо у одного края лайнера основы, не повреждая и даже не касаясь краев сетки гофрирующего пресса (рис.4.7).



Рис. 4.7. Сеткоправители гофрирующего пресса с лазерным управлением кромкой

Клеильная машина

Для многих проклеивающих валов дополнительный вал был заменен «*Contact Bar*» пружиной, нагружаемой давящим башмаком. Введено это компанией *Interfic* и позволяет переключение от одной высоты гофра до другой без потребности в основном ручном регулировании. Утверждается, что это улучшило однородность подачи клея по всей ширине машины и обеспечило улучшенный доступ для чистки.

Управляемый непосредственно электроникой двигатель каждой секции клеильной машины может приспособить **скорость** проклеивающего вала и вершин гофров, чтобы поддерживать прохождение гофров и материалов.

Микропроцессорный контроль с сохранением данных для каждого сорта позволяет автоматически задавать параметры работы машины для каждого нового заказа. При этом также регулируется промежуток между клеильным валом и вспомогательным валом в соответствии с рабочей скоростью, чтобы подавать постоянное количество клея на всех скоростях.

Автоматически появляются механические преграды для частиц клея в пределах кромки лайнера, что предотвращает сжатие клея на горячих поверхностях и на поясах сдвоенных гофрирующих прессов.

Клеевые усовершенствования освещены в **главе** по крахмальным адгезивам. Была достигнута 20-30%-я экономия.

Double Facer – приклеивание второго слоя лайнера

Главными областями усовершенствования являлись:

- проект нагревательных пластин;
- реакция контроля нагрева и загрузки;
- новые системы сукон;
- паровая система.

Нагревательные пластины должны были быть менее глубокими для поддержания плоскости поверхностей во всем рабочем диапазоне температуры. Просверленные стальные пластины дают более быстрый температурный отклик и не несут достаточный объем пара, чтобы требовать регулярного тестирования и освидетельствования паровых котлов.

Большинство усилий было применено к системе загрузки, чтобы держать картон строго напротив нагревательных пластин.

Традиционные навесные ролики хорошо удовлетворяли своему назначению, но причиняли определенные неудобства с некоторыми более легкими сортами бумаги. С течением времени неподвижные ролики создавали углубления в стальной поверхности нагревательной плитки. Это приводило к высокому трению, которое, в свою очередь, потребовало большей мощности двигателя в секции натяжения. Это также приводило к разрушению картона. Глубокие нагревательные плитки (известные как паровые ящики) наклонялись вниз, поскольку картон отбирал тепло с их поверхностей, делая их холоднее и короче, чем основание. Это привело к тому, что вес вала прикладывался к кромкам картона, которые могли быть, таким образом, разрушены.

Воздушные колпаки ZCC преодолели эти проблемы и могли создавать большую прижимную силу без раздавливания, но нуждались в добавочных валиках, чтобы достигать постоянного контакта линии клея на двухслойном

картоне, и иногда возникали трудности при удалении чрезмерной влажности из двух слоев и гофра *E* (или более высококачественных гофров) (рис. 4.8). *BHS Airtrol* использовал подобный принцип, но давление воздуха действовало против непроницаемого сукна, расположенного на вершине двойного пресса. В конце концов, большинство воздушных систем загрузки даблфейсеров вышло из употребления, вероятно, потому, что им требовалось слишком тщательное обслуживание и они были слишком дорогими в работе (рис. 4.9).



Рис. 4.8. Воздух уносится в неподвижные камеры нагревательной секции даблфейсера наподобие системы *Langston ZCC*

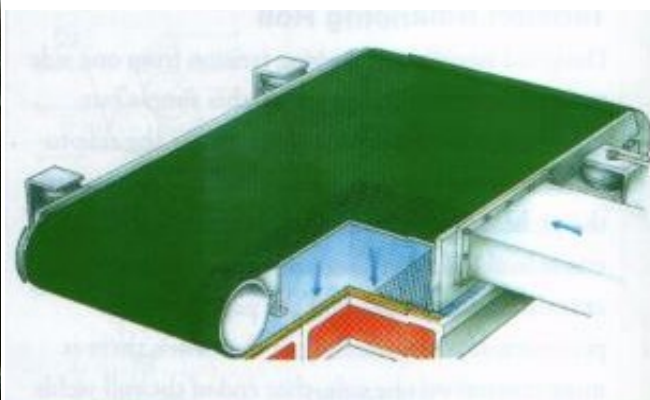


Рис. 4.9. *Airtrol* – другая система давления воздуха с непроницаемым сукном для предотвращения вентиляционной струи, блокирующей удаление пара через даблфейсер

Тогда на передний план выдвинулся «Симон» с коротким прессом, с концепцией башмачного или пластинчатого типа пресса. Это имело технический успех. Многие производители оборудования теперь предлагали систему, основанную на башмачном прижиме, некоторые с регулированием ширины, поднимая наружные сегменты при выработке картона меньшей ширины (рис. 4.10).

Эта система прижима также открыла путь для развития безсуконного гофропресса. Несколько новых установок были проданы в конце 90-х гг. с переменным успехом. Некоторые из этих машин с тех пор были оснащены сукнами в значительной степени из-за увеличенного риска разрывов сетки.



Рис. 4.10. В даблфейсере с меньшим количеством сукон фирмы Marquip загрузка осуществляется подъемом и опусканием стальных пластинок

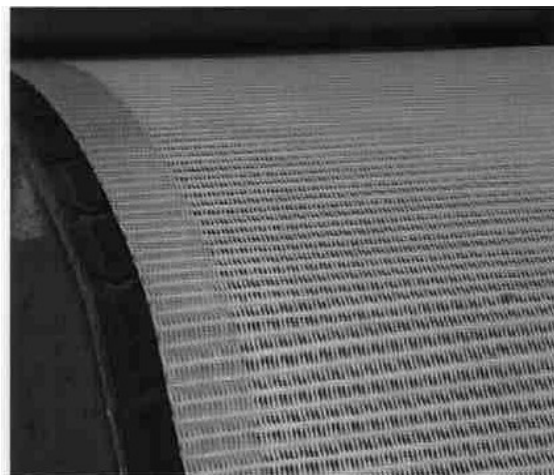


Рис. 4.11. Верхнее сукно с открытыми ячейками улучшает удаление влаги из картона

Компромиссное решение – сукно с открытыми ячейками, которое испытали во времена прижимных роликов, но оно долго не задержалось. Башмачные системы погрузки доказали, что они больше подходят для этих целей (рис. 4.11).

Тем временем, обычные сукна даблфейсера были также улучшены путем новых технологий волокон для повышения сопротивления износу по краям, где они могут тереться о нагревательные пластины, и на основной поверхности, где их могут истирать башмачные элементы.

Последние паровые системы позволяют достигнуть более высокого давления пара в элементах, расположенных вниз по потоку. Это значительно противоречит традиционной «каскадной» системе, в которой пар высокого давления подавался в группы пресса, затем собирался, отделялся от его конденсата и переходил к следующей группе и так далее, заканчивая самым низким давлением пара в даблфейсере. При определенных условиях, таких как с лайнерами с покрытием, картоном с микрофразами и небольшим количеством специальных бумаг, может быть выгодно иметь пониженную температуру на входе с постепенным ее повышением, а не наоборот, как обычно.

Вращающиеся ножи

Вращающиеся ножи развивались от зазубренного ножа, крутящегося

с линейной скоростью приблизительно 30 м/мин, к упрощенной двойной ротационной резке со сцепляющимися ножами, позволяющей чисто резать на скоростях картона до 300 м/мин. Некоторые даже могут быть синхронизированы с длиной листа для производства последнего листа картона, который также можно продать.

Слоттер

Пока в 1980-х гг. повсюду были автоматические слоттеры, они занимали минуту, часто больше для установления нового формата, потому что все инструменты должны были быть поставлены в стартовую позицию, чтобы повторно работать на них до следующей установки.

В настоящее время, с чрезвычайно точными абсолютными системами позиционирования и быстродействующими двигателями, изменение установки может быть сделано за доли секунды. Кроме того, может быть включен выбор профилей счета.

Продольная резка производится единственным ультратонким лезвием с высокой скоростью, которое также помогает установке скорости, поскольку оно может погрузиться в новый картон в любое время для начала продольной резки. Аккуратная погрузка автоматически позиционируется по требованию, и изменения формата не требуют приложения ручной силы.

Некоторые поставщики предлагают изменение форматов «без промежутков», которое предполагает **полную скорость** изменения формата без остановки станка при смене формата.

Резка

Работа и потребление энергии двигателя прямой резки со временем улучшились благодаря изменениям в технологии электропривода, механическом дизайне и материалах.

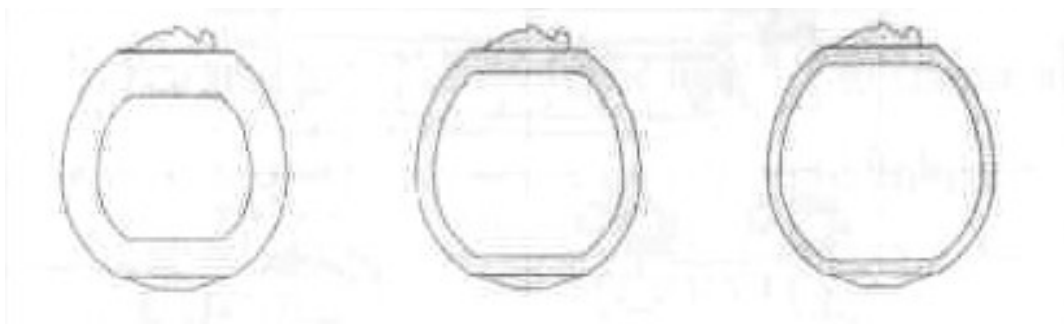


Рис.4.12. Ножевые секции из углеродистого волокна, укрепленного пластмассой, позволяют достигнуть лучших скоростей резки для картонов различной массы

Оба лезвия каждой станции установлены на спирали через стойку ножа и приспособлены для прикосновения друг с другом. Это делает более протяженным действие режущей нагрузки. Стойки ножа сами по себе были разработаны, чтобы минимизировать **их** момент инерции массы. Это может быть достигнуто путем уменьшения области **их** взаимного пересечения или изготовлением **их** из намного более легкого материала или обоими путями, но они должны сохранить свою прочность, чтобы сопротивляться скручивающим силам ускорения и замедления так же, как режущим силам (рис. 4.12).

Моторы двигателя могут теперь действительно быть установлены непосредственно на оси стойки ножа вместо того, чтобы приводить ножи через передаточный механизм, как раньше.

Синхронные двигатели **переменного тока** сглаживают более низкие пиковые текущие нагрузки на электропитание сети, и все эти усовершенствования уменьшили затраты энергии и облегчили удвоение скоростей резки, улучшая точность длины листа до $\pm 0,5$ мм.

Отклонение листов

Отклонившиеся листы могут быть удалены на полной рабочей скорости или маховиком для обычных картонов, или пальцами для сверхпрочных картонов (рис.4.13).

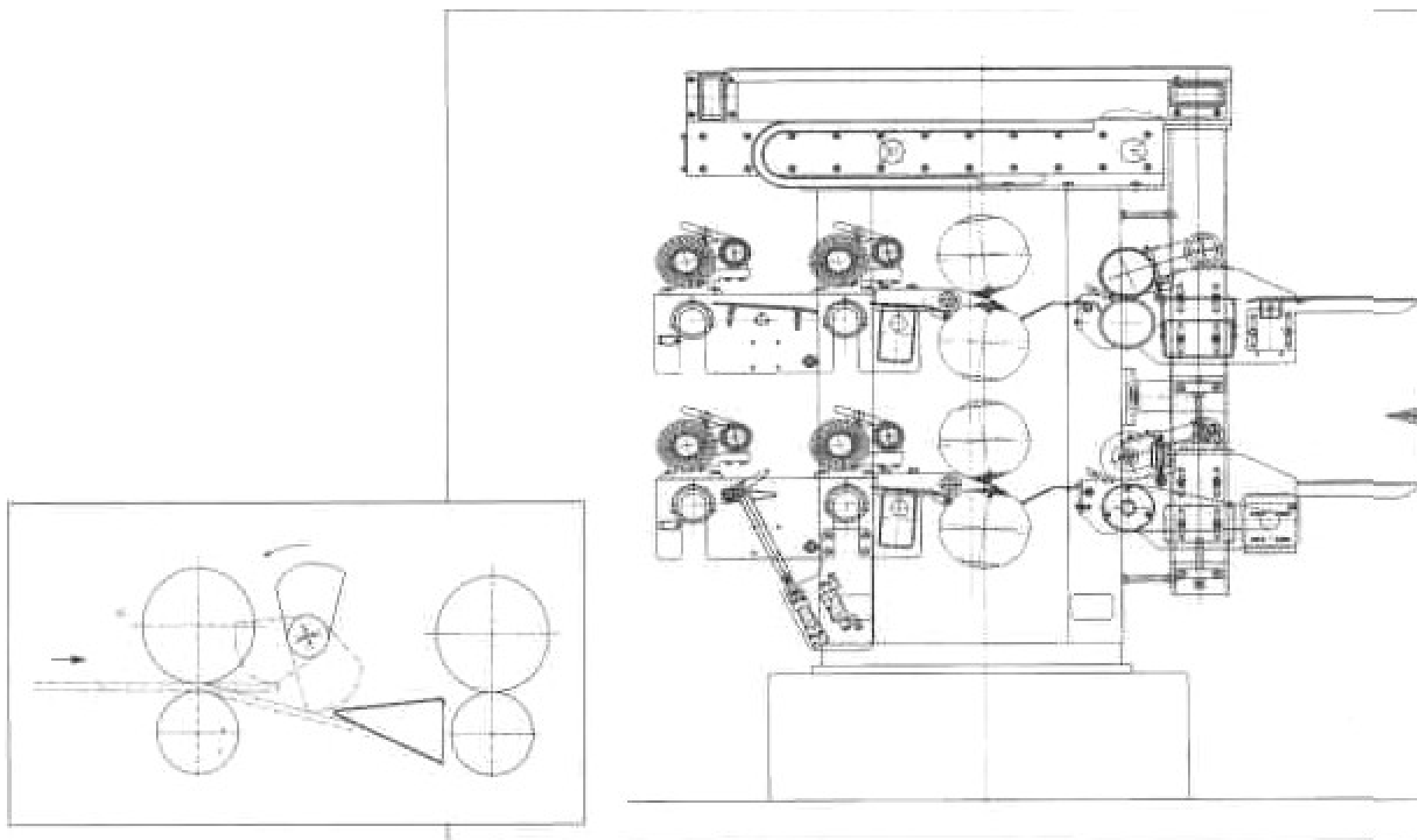


Рис.4.13. Положительное отклонение пальца (слева) для тяжелых и трехслойных картонов и отклонение маховика (сверху) для обыкновенных однослойных и двухслойных картонов

Накопитель (stacker)

Накопитель часто соперничал с резательной установкой как ограничитель максимальной рабочей скорости, особенно в случае двухслойных картонов. Это происходило из-за времени, необходимого для замены кип, которое составляло более чем 20 с даже в 1990 г. Кроме того, была трудность в построении кип с достаточной точностью боковой или фронтальной стенок, чтобы удовлетворить современным автоматическим устройствам для подачи перед преобразовательными машинами.

Относительно машинной скорости, время цикла изменения накопления было улучшено благодаря использованию верхнего стакера (у которого значительно более короткое время цикла) и значительному увеличению скорости снятия с конвейера, что снижает время цикла до 7 с для верхнего стакера и 16 с для нижнего стакера.

Для гофроагрегатов, работающих со многими последовательными короткими заказами, часто особенность подачи листов состоит в том, что могут быть установлены две накопительные линии, обслуживающие резательные установки. Короткие заказы подаются поочередно к каждой установке, а длинный заказ может быть прерван из-за короткого заказа, который **может быть отклонен** в запасную линию.

Следующие усовершенствования улучшили качество кип:

- повышение качества торца путем улучшения контроля борта и выхода из резательной установки;
- автоматическое регулирование высоты подачи конвейера выше вершины накопления в зависимости от сорта картона и длины;
- контролируемая степень укорачивания на конвейере;
- четкое разделение листов при изменении заказа или изменении кипы;
- управляемая скорость чистки хвостовых листов на вершине кипы;
- контроль давления подачи листов в кипы для предотвращения

бокового плавания;

- колеблющийся укладчик в направлении потока, перпендикулярном верхним листам на формирующейся кипе;

- укладчики с обеих сторон верхних листов формирующейся кипы (обычно опция).

Центральный контроль

Центральные средства управления и запоминаемые параметры настройки для каждого сорта картона и другое программное обеспечение, управляющее функциями во время операции, и, в особенности, изменение заказа вынудили улучшить производительность и в значительной степени понизить уровень сложности операции гофрирования.

Электронные средства управления

Совершенствование цифровой электроники с программируемыми логическими контроллерами основными отдельными элементами гофроагрегата открыло даже не предполагаемые до настоящего времени возможности центрального контроля и автоматизации через соединение данных целой линии машин. Кроме того, усовершенствования цветной графики облегчили визуализацию процесса для операторов и подобного штата обслуживания. Дешевая и большая машинная память помогла поиску неисправностей и прогрессивному управлению производством.

Автоматизация и контроль современного гофроагрегата подробно описаны в **тринадцатой**, таким образом, следующее – краткий обзор оригинальных усовершенствований приблизительно с 1985 г.

У большинства главных машин в поставляемых сегодня гофроагрегатах есть цветной графический монитор, подобный показанным ниже. Они могут быть легко дублированы в центральной области контроля, которая обычно располагается около резательной установки, для лучшего обозрения влажной части машины, изменения режимов сушильной части и накопителя (рис. 4.14).

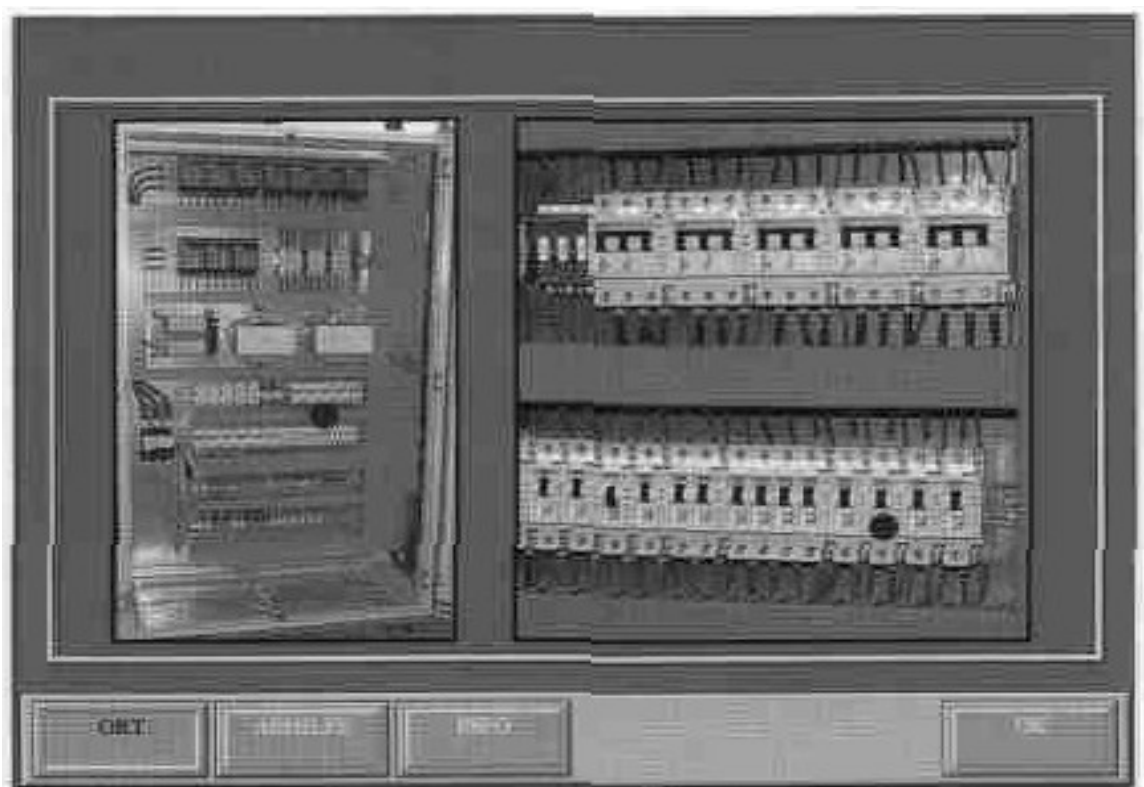


Рис.4.14. Типовой VDU монитор, показана картина диагностики ошибок для быстрой локализации и исправления

Для каждого узла существует своя программа диагностики неисправностей. Обслуживающий персонал может быстро найти проблемный участок по цифровым изображениям и ознакомиться с инструкцией по устранению неисправностей. Аналогично, если машина останавливается или не в состоянии перезапуститься, больше нет необходимости дальнейшего поиска проблемы, так как это обнаруживается.

Для быстрого и точного поиска неисправностей, например, вызывающих отказы программного обеспечения, система может быть связана модемом и телефонной линией с техническим поставщиком или офисом обслуживания, экономя большое количество времени и затраты.

Информация относительно скоростного режима, отходов и скоростей всегда полезна в целях производства, но ключевая информация может теперь храниться весьма длительные периоды, которые могут помочь поиску неисправностей. Приспособление реальных условий к просьбам клиента долго было проблемой для изготовителей машин. Клиент может обычно объяснять результаты проблемы и даже показывать образцы ошибки –

например, проблема склеивания в гофрирующем прессе или плохая резка в резательной установке. Что не так ясно, так это обычно сорта картона, на которых это происходит, и преобладающие условия (скорость, длина листа и предкондиционирование). Сейчас возможность напомнить предшествующие параметры, такие как эти, на основе опыта прошлых нескольких недель, может быть весьма полезной в таких случаях, когда налицо ошибочная деятельность цеха или жалобы.

Функции и действия, которые могут быть автоматизированы с иерархией *PC/PLC* и каналами связи, включают следующее:

- управление загрузкой валика бумаги, гарантирующее правильный сорт и ширину бумаги;
- синхронизация соединения встык мокрой части, чтобы гарантировать то, что все соединения встык должны перерабатываться близко друг к другу и связываться в лист при резке в сухой части и других функциях изменения режима;
- изменение режима в мокрой части, гарантирующее заданную ширину, зазоры, отходы и другие параметры мокрой части, для удовлетворения переработки бумаги и картона (копирующее ранее входные данные для тех же самых сортов), также связанное с синхронизацией соединения встык и регулированием подачи клея, чтобы начать изменение режима;
- обработка данных сухой части для существующей ширины разреза, длины резки, высоты кипы и других величин, со способностью запомнить несколько режимов назад и много режимов вперед;
- последовательность изменений в сухой части, с выбором лучшего типа изменения режима, затем контроль его протекания и скорости картона прежде, во время и немедленно после изменения;
- производство и анализ работы, изменения относительно остановов, скоростей каждого сорта, брака и т.п.

Большой прогресс был достигнут и всегда будет достигаться, но в конце XX в. появилось реальное **понимание** и возможность контроля того, что было процессом почти на уровне чувств или инстинктов, рожденных опытом. Открылись большие возможности для проведения полезного обучения и для объективной оценки знаний обучаемых.

Более широкие машины

В конце 80-х гг. появился всплеск интереса к гофроагрегатам шириной 2,8 м, которые бездействовали в течение многих десятилетий. Спрос появился от компании *Richard Pratt's Visy Board*, которая стремилась улучшить продукцию и производительность в результате разработки новых машинных установок. У *Visy Board* уже были самые высокие средние часовые скорости и производительность в мире на двух из их машин, но этого было недостаточно для запланированной установки в *Coolaroo*, около Мельбурна. *Langston* и *BHS* могли сделать такую ширину гофроагрегата в то время.

К концу 90-х гг. *BHS* производили 25 % гофроагрегатов такой же ширины и имели планы перехода к гофроагрегатам шириной 3,3 м.

В организации *Pratt's* появилась идея другой концепции – *Millugator*, **первый из которых** был установлен на их фабрике в *Conyers* около Атланты, США. В концепции есть бумажная фабрика и гофроагрегат с той же самой рабочей шириной на том же самом участке. В *Conyers* обе машины 2,8 м шириной. Более широкие бумажные рулоны, чем эти, ставят некоторые **(преодолимые)** логистические проблемы для автоперевозок, но *Millugator* в любом случае не были ограничены такими проблемами, и это предложило еще более высокие стандарты производительности. *Conyers* был выдающимся успехом и привел к установкам *Millugator*, использующим почти полностью переработанное волокно.

Первый 3,3-метровый гофроагрегат в мире был построен в Европе летом 2002 г. Это не *Millugator*, и бумажные рулоны транспортируются к нему издалека. Критические технические пункты развития для такого

увеличения по ширине – гофрирующий пресс и резательная установка, все другие машины – требуют только соразмерного увеличения. Конструкторы не хотели просто увеличивать диаметр гофрвала на гофропрессе, чтобы усилить машину в поперечном направлении, так как это увеличит трение флютинга в секции гофрирования. Таким образом, поверхность валов стала центром внимания. Значительный опыт в этой области был получен при развитии и постоянном усовершенствовании 2,8-метрового гофроагрегата. Методы были развиты для "исправленной" формы гофра, при которой процесс шлифовки был усовершенствован, чтобы гарантировать, что поверхность не увеличивала боковой просвет между валами. Это – весьма сложное геометрическое и механическое достижение. Что касается резательной установки, все может быть вычислено, но в реальности
нуждается
в исчерпывающем тестировании и практической регулировке, чтобы установить идеальные стойки секций ножа в отношении веса картона, установки двигателя, затем спирали ножей и заправке.

ГЛАВА 5. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГОФРОКАРТОНА

Виды картона и основные области его применения

Существует несколько различных определений терминов “бумага” и “картон”. В соответствии с ГОСТ 17586 - 80 бумагой и картоном принято называть листовой материал, состоящий преимущественно из растительных волокон, связанных между собой силами поверхностного сцепления, в котором могут содержаться проклеивающие вещества, минеральные наполнители, химические и натуральные волокна, пигменты и красители.

Полагают, что русское слово «картон» происходит от итальянского слова “*cartone*”, что значит твердый, жесткий. Начало картонного производства относят к середине XVI в. и связывают с появлением книгопечатания, когда для переплета книг, наряду с деревянными дощечками, обтянутыми кожей, шелком или пергаментом, стали использовать обложки из склеенных между собой листов бумаги.

Картон отличается от бумаги тем, что имеет большую толщину и массу 1 м² свыше 250 г, более высокую прочность. Почти все картоны состоят из нескольких слоев – в этом, пожалуй, и есть основное отличие картона от бумаги. При помощи комбинации слоев достигаются высокая жесткость и хорошие барьерные свойства – эти качества обуславливают использование картона в производстве тары, в строительстве, полиграфии, машино- и приборостроении, химической, легкой и пищевой промышленности и др.

Следует отметить исключительно важное для экономики и культуры современного общества значение тароупаковочного картона, предназначенного для упаковки и расфасовки различных продовольственных и промышленных товаров. Картон, по сравнению с другими упаковочными материалами (деревом, металлом, кожей, тканями и т.д.), имеет ряд существенных преимуществ: относительную дешевизну и доступность исходного сырья, возможность получения материала с заранее заданными

физико-механическими и другими потребительскими свойствами. Технология производства картона практически полностью автоматизирована и не связана с большими затратами труда. На долю тароупаковочных видов приходится до 80,5 % картона.

Для производства используется главным образом сравнительно дешевое и доступное сырье, отходы деревообрабатывающих предприятий в виде технологической щепы, низкокачественная древесина, макулатура и волокнистые отходы целлюлозного производства. Сам процесс изготовления картона осуществляется на высокопроизводительных картоноделательных машинах, со скоростью до 600...800 м/мин, оснащенных автоматическими системами контроля и регулирования основных технологических процессов.

Картонная тара легко утилизируется, и до 80 % ее в виде макулатуры повторно используется, что имеет огромное ресурсосберегающее и экологическое значение. Поэтому в перспективе производству тароупаковочных видов картона намечено уделять значительное внимание, так как это будет способствовать более полному и эффективному применению имеющихся в наличии и еще недостаточно полно используемых таких огромных сырьевых ресурсов, как мелкотоварная и низкокачественная древесина, отходы лесопиления и деревообработки, а также макулатура.

В соответствии с «Общероссийским классификатором продукции» (ОК 005 - 93) картон относится к классу 54 - продукция целлюлозно-бумажной промышленности и делится на семь подклассов (табл. 5.1).

Среди тароупаковочных (или просто упаковочных) картонов выделяются материалы для производства гофрированного картона – картон для плоских слоев (*linerboard* - картон-лайнер) и бумага для гофрирования (*corrugating medium* или *fluting* - флютинг). В европейских странах эти материалы объединяют термином *containerboards* – картон для производства контейнеров (ящиков), что обусловлено основной областью применения гофрированного картона – производством транспортной тары.

Например, в России для этой цели используется около 80 % производимого гофрокартона. В свою очередь, 76...78 % транспортной тары составляют картонные ящики.

Таблица 5.1

Классификация картона по ОК 005-93*

Код по ОК 005-93	КЧ	Наименование
54 4100	7	картон тароупаковочный
54 4200	0	картон для легкой и полиграфической промышленности
54 4300	4	картон технический различного назначения
54 4400	8	картон строительный
54 4500	1	картон фильтровальный
54 4600	5	картон для автомобильной промышленности
54 4700	9	прочие картоны
54 7000	1	тара транспортная из бумаги и картона
54 7100	5	тара транспортная из картона
54 7140	3	тара картонная возвратная
54 8000	4	тара потребительская из бумаги и картона

*Производится классификация основных видов тары из картона

Картон-лайнер состоит из двух или более слоев и подразделяется на отдельные виды в зависимости от используемых при его производстве полуфабрикатов и внешнего вида покровного (наружного) слоя. Выделяют картон-лайнер естественного «коричневого» цвета (*brown*) с использованием в композиции только первичных полуфабрикатов – сульфатной небеленой целлюлозы и полуцеллюлозы (*kraftliner*) либо с использованием вторичного макулатурного сырья (*recycled* или *testliner*). Причем, в последнем случае применяют преимущественно макулатуру из отработанной картонной тары, имеющую собственное условное обозначение – OCC (*old corrugated containers*).

Покровный слой картона может иметь пестрый «мраморный» вид (*mottled top liner*), который достигается за счет применения беленой целлюлозы и уменьшения массы 1 м² наружного слоя до 40 г и ниже. При этом формирование покровного слоя осуществляется из массы более

высокой концентрации, что вызывает определенную флокуляцию волокон. В итоге достигается эффект «пестрой окраски».

Также производят картон-лайнер с белым покровным слоем (*white top liner*) и небольшое количество мелованного лайнера (*coated white top liner*). В качестве полуфабриката для покровного слоя применяется беленая хвойная или лиственная целлюлозы либо их смесь.

В последние годы получило распространение производство белого покровного слоя на основе облагороженной обесцвеченной писче-печатной макулатуры (*deinking*).

Флутинг обычно изготавливают однослойным и подразделяют на два вида – полуцеллюлозный (*semichemical*) и макулатурный (*recycled*). В обоих случаях в композицию могут добавляться первичные целлюлозные волокна, в основном, хвойные сульфатные.

Качество тарного картона

В настоящее время картонная тара является наиболее экономичным и прогрессивным видом тароупаковочной продукции. Отмечается, что её себестоимость по сравнению с себестоимостью, например, деревянной тары, ниже в 2,8 раза, капитальные затраты – в 2,2 раза, расход лесоматериалов – в 3...4 раза. Кроме того, примерно в 3 раза сокращаются расходы на погрузочно-разгрузочные работы.

В ведущих промышленно развитых странах прогрессивные виды тары практически вытеснили деревянную. Доля тары из картона в общей структуре ее мирового производства составляет в среднем 60 %, а в наиболее развитых странах – значительно больше. В США доля тары только из гофрокартона составляет более 62 %.

Рост спроса на гофрированный картон в Западной Европе и Северной Америке обусловлен оживлением в таких потребляющих тару отраслях, как производство мебели, бытовых приборов и машин, продуктов питания и других, а также значительным ростом экспорта товаров на мировом рынке. Основными производителями гофрокартона и его компонентов по-прежнему

остаются США, Канада и страны Западной Европы. Однако, в последнее десятилетие значительно вырос объем производства тарного картона в странах Юго-Восточной Азии, которая в настоящее время почти не уступает в этом Западной Европе.

Отмечается, что в ближайшее десятилетие производство ящиков и коробок останется основной частью отрасли производства упаковок. Тенденции развития упаковочных материалов из бумаги и картона показывают, что последние не только сумели сохранить свои позиции на рынке в условиях конкуренции со стороны пластмасс при повышении требований к качеству, предъявляемых потребителями, но и расширили их благодаря, прежде всего, относительно низкому уровню цен, достаточно высоким механическим свойствам, хорошей перерабатываемости, способности к биodeградации и имеющимся в достаточном количестве возобновляемым ресурсам. Пластмасса является основным конкурентом гофрированного картона, но она практически не собирается для повторной переработки. Так, в США ежегодно производится более 30 млн. т пластмасс, большая часть которых после применения выбрасывается на свалки и лишь около 1 % возвращается для повторного использования.

Отмечаются такие преимущества гофрированного картона, как простота и удобство транспортировки и складирования, возможность механизации погрузочно-разгрузочных работ с высокой степенью автоматизации, нанесения на поверхность тары различных многокрасочных изображений, в том числе методом флексографии.

Таким образом, преимущества тары из гофрированного картона очевидны и позволяют прогнозировать дальнейший рост его мирового производства и потребления. В то же время ограничивающими факторами, по сравнению с другими упаковочными материалами, являются низкие пределы определенных свойств бумаги для гофрирования, картона для плоских слоев и гофрированного картона в целом. К таким свойствам

можно отнести влапопрочность, устойчивость при сжатии (штабелируемость), способность к растяжению и др.

Как известно, гофрированный картон изготовляют из одного или нескольких гофрированных слоев (флутингов) и одного или нескольких плоских слоев (лайнеров), которые в определенном порядке склеиваются между собой. Каждый вид многослойного картона может иметь различный размер гофров. В отечественной практике, согласно действующему стандарту, определены пять типов гофрированного слоя: А, В, С, Е и К, которые различаются по высоте и количеству гофр в единице длины.

За основу классификации картона-лайнера по маркам обычно берется масса 1 м², которая колеблется в диапазоне 125...450 г. Такая система градации не учитывает различий между лайнерами одной и той же марки, но разных изготовителей. Например, гофрированный картон одной и той же марки, но произведенный на различных предприятиях, не обязательно будет обладать одинаковыми свойствами, а, следовательно, и ящики, изготовленные из одной и той же композиции, могут не иметь аналогичные механические свойства.

Стандартом на гофрированный картон (ГОСТ 7376–89) регламентированы следующие физико-механические характеристики: абсолютное сопротивление продавливанию; сопротивление торцовому сжатию вдоль гофров; сопротивление расслаиванию; удельное сопротивление разрыву с приложением разрушающего усилия вдоль гофров по линии рилевки после выполнения одного двойного перегиба на 180°. Норма по последнему показателю введена с 01.01.94 г. Включение показателя удельного сопротивления разрушению по линии рилевки в отечественный стандарт явилось результатом исследований, проведенных в Астраханском филиале ВНИИБа. Авторы отмечают, что при рилевании гофрированного картона и последующих перегибах растяжение картона происходит на локальных участках. Ширина этих участков составляет 4...15 мм и зависит от толщины картона, суммарной толщины его плоских

слоев и бумаги для гофрирования. После рилевания прочность гофрированного картона на разрыв значительно снижается и зависит от качества плоских слоев гофрированного картона, причем наибольшему растяжению подвергается поверхностный слой. Этот факт доказывает необходимость использования для покровного слоя тарного картона хорошо разработанной целлюлозы из древесины хвойных пород.

При сопоставлении показателей механических свойств гофрированного картона и его компонента – картона для плоских слоев – видно, что в целом эти характеристики взаимоувязаны. Так, в обоих случаях регламентируется сопротивление продавливанию, а сопротивление торцовому сжатию вдоль гофров связано с показателем разрушающего усилия при сжатии кольца и одновременно с показателем сопротивления торцовому сжатию бумаги для гофрирования, заданным ГОСТ 7420–78. Сопротивление расслаиванию гофрированного картона, очевидно, зависит не столько от прочности компонентов, сколько от степени их связанности, обусловленной, прежде всего, видом адгезива, композицией по волокну и состоянием поверхности плоских и волнистых слоев, качеством профиля последних. Включение в ГОСТ 7376–89 нормы по показателю удельного сопротивления разрушению по линии рилевки подразумевает, что компоненты гофрированного картона обладают определенными деформационными свойствами. Однако показатели, характеризующие эти свойства, в соответствующих стандартах отсутствуют. По нашему мнению, методом испытания для картона-лайнера может быть испытание на растяжение с определением деформационных характеристик.

В связи с тем, что ассортимент промышленной и пищевой продукции, упаковываемой в тару из гофрированного картона, очень велик и постоянно расширяется, стандартом на ящики (ГОСТ 9142–84) определены только общие требования к их физико-механическим свойствам. Показатели механической прочности ящиков: сопротивление сжатию, сопротивление перевалкам, сопротивление ударам при падении и другие, – определяются

в соответствии с нормами, установленными в стандартах или другой нормативно-технической документации на тару для конкретных видов продукции. При этом должны учитываться условия транспортирования и хранения, способность упаковываемой продукции воспринимать нагрузку штабеля, а также требования к упаковке.

Введение в стандарт вышеназванного положения зафиксировало изменения, которые претерпели технические требования к картонной таре в последние десятилетия. Выделяют два вида нагрузок на ящики: динамические, вследствие удара при свободном падении, и статические, обусловленные сжатием и растяжением при штабелировании и перемещении. С развитием пакетных перевозок и совершенствованием погрузочно-разгрузочных работ вероятность падения ящиков уменьшается, в то время как штабелирование тары – неизбежно при любых видах транспортирования. Так как увеличение вместимости транспортных средств и складских помещений осуществляется в основном за счет увеличения их высоты, то проблема увеличения сопротивления картонных ящиков деформационным нагрузкам, т.е. жесткость тары, приобретает все большее значение.

Решение проблемы транспортной картонной тары и тарного картона зависит от реализации концепции, суть которой состоит в том, что часть нагрузки должна взять на себя упаковываемая продукция. На основе этой концепции разработана классификация продукции и изделий по их способности к восприятию внешних статических и динамических нагрузок с последующим распространением установленных требований на картонную тару и картон для плоских слоев.

Данная классификация распределяет весь ассортимент картонной тары на два основных вида: жесткостную (для изделий, не способных воспринимать внешние механические нагрузки) и прочностную (для изделий, способных такие нагрузки воспринимать без последствий для их потребительских свойств).

Исследования, проведенные в УкрНИИБ, показали, что показатель сопротивления продавливанию не является показателем надежности тарного картона и картонной тары. В соответствии с вышеупомянутой классификацией основными показателями картонной тары должны быть для жесткостной тары – удельное сопротивление торцовому сжатию и для прочностной – удельное сопротивление разрыву.

Выражается сомнение в пригодности показателя сопротивления продавливанию для оценки качества гофрокартона. Например, отмечается, что он "не определяет сопротивление картонной тары сжатию (каркасность) и приводит к ограничению применяемых видов волокон для изготовления картона для плоских слоев".

В качестве альтернативы испытанию на сопротивление продавливанию предлагается ввести в американский стандарт поправку, предусматривающую испытание на торцовое сжатие ящиков из гофрированного картона.

Рассматривая необходимость внедрения стандарта на исходные материалы для гофрированного картона, исходят из того, что нормируемые показатели лайнеров должны соответствовать эксплуатационным характеристикам ящиков, таким как пригодность к штабелированию и перевалкам. В связи с этим определяющее значение имеет показатель сопротивления сжатию кольца. В то же время и показатель сопротивления продавливанию считается важным для оценки качества гофрокартона.

Предлагая оптимальное сочетание компонентов при изготовлении гофрированного картона, считают, что сопротивление сжатию – наиболее важная характеристика тары. На него влияют сопротивление гофрокартона торцовому сжатию, его толщина и жесткость при изгибе, периметр основания ящика, дефекты, возникающие при его изготовлении. Сопротивление картона торцовому сжатию зависит от суммы прочностных характеристик всех компонентов, и его необходимо оценивать по результатам определения разрушающего усилия при сжатии кольца

картона-лайнера и сопротивления торцовому сжатию флутинга. Также отмечается, что такая важная характеристика, как жесткость гофрированного картона, при изгибе обычно не контролируется. Предлагается для прогнозирования механических свойств гофрированного картона использовать эмпирические корреляционные зависимости.

Сопротивление сжатию картона вдоль гофров определяется прочностными свойствами исходных материалов, но прямой зависимости ни от одного показателя не наблюдается.

На основе экспериментальных данных и теоретического анализа допустимых критических нагрузок на гофрокартон при штабелировании пришли к выводу, что жесткость картона зависит не от толщины плоских и волнистых слоев, а от высоты гофров.

При помощи математического моделирования нашли, что изменение профиля гофрирования не влияет на сопротивление продавливанию гофрированного картона, но вызывает изменение жесткости при изгибе и сопротивления плоскостному сжатию. На свойства же тары влияет сопротивление продавливанию горизонтального слоя, прочность стенки ящика и сопротивление излому.

Можно отметить, что поиск оптимальных показателей физико-механических свойств тары, гофрированного картона, картона-лайнера и флутинга в науке и практике в настоящий период продолжается.

Формирование характеристик деформативности и прочности картона-лайнера в технологическом потоке КДМ

Картон для плоских слоёв гофрированного картона должен обладать определёнными потребительскими свойствами с учётом его последующего применения для изготовления тары различного назначения. В последнее время признаётся необходимость градации гофрированной тары на прочностную и жёсткостную в зависимости от способности упаковываемой продукции воспринимать внешние нагрузки. Принимая во внимание данную классификацию, можно предположить, что для первого

вида тары более важны показатели прочности, а для второго – деформативности, прежде всего, упругие характеристики. Поскольку механические свойства гофротары зависят от совокупности свойств её компонентов, представляется важным изучить деформативность и прочность картона для плоских слоёв.

Для переработчиков картона и потребителей картонной тары важным является вопрос корреляции характеристик деформативности и прочности, т.е. происходит ли адекватное изменение их величин при намеренном или случайном изменении параметров технологического режима производства. Имеющиеся в литературе сведения о корреляции прочностных и деформационных показателей противоречивы. В то же время известно, что прочностные характеристики являются структурно-чувствительными (определяются различными дефектами структуры), а деформационные – интегральными, т.е. отражают поведение материала в целом.

Действующим стандартом качество картона для плоских слоёв гофрированного картона регламентируется сопротивлением продавливанию и разрушающим усилием при сжатии кольца. Последняя характеристика отражает способность стенки картонной тары сохранять устойчивость при воздействии сжимающей нагрузки и во многом определяет её потребительские свойства. Однако известно, что в процессе изготовления и в последующей эксплуатации тары картон подвергается значительным растягивающим усилиям. Способность картона сопротивляться растяжению пока не нашла отражения в отечественной практике оценки его механических свойств. Частично это учтено лишь в стандарте на гофрированный картон, согласно которому вводится норма на удельное сопротивление растяжению по линии рилёвки.

Формирование характеристик деформативности и прочности **исследовано нами** совместно с НИЛ Котласского ЦБК в технологическом потоке КДМ-4. При проведении эксперимента вырабатывали картон с массой 1 м² 175 г. Композиция основного слоя картона включала сульфатную

небелёную хвойную целлюлозу и нейтрально-сульфитную лиственную полуцеллюлозу. Покровный слой изготавливали из сульфатной целлюлозы того же вида, но с более высокой степенью помола. Таким образом, по композиции исследуемый картон относится к крафт-лайнерам.

Следует заметить, что на разных предприятиях композиционный состав имеет свои особенности, что, в свою очередь, обуславливает особенности технологии и свойств готовой продукции. Поэтому к вопросу о деформативности и прочности картона нужно подходить, учитывая свойства конкретных полуфабрикатов и применяемую технологию. То же касается и возможности классификации картона для использования в составе тары различного назначения.

Отбор проб осуществляли в семи точках технологического потока (рис. 5.1). При этом учитывали время прохождения массы по потоку. Лабораторные образцы соответствовали готовой продукции по массе 1 м², композиции и относительному содержанию основного и покровного слоёв: двухслойные, картон основного и покровного слоёв. Для более достоверной оценки свойств картона проведено 14 отборов в течение полутора месяцев.

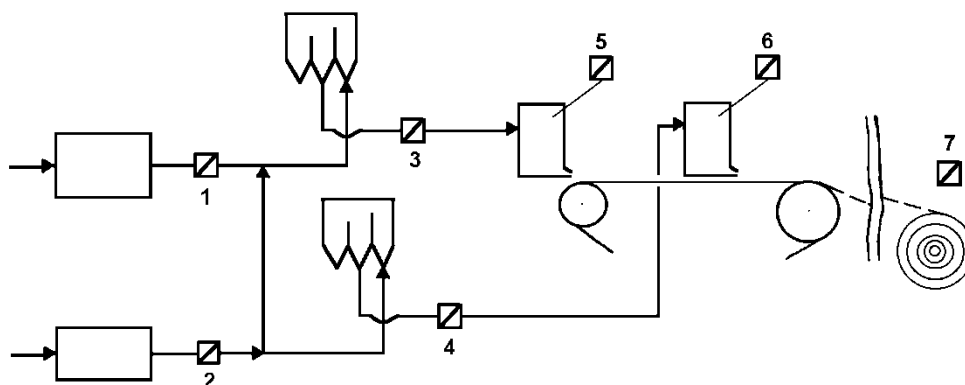


Рис. 5.1. Схема отбора проб целлюлозной массы и картона в технологическом потоке КДМ. Точки отбора: 1 – нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза; 2 – сульфатная небеленая целлюлоза; 3, 4 – масса из баков постоянного уровня соответственно основного и покровного слоя (после размолла); 5, 6 – масса из напорных ящиков соответственно, основного и покровного слоя; 7 – картон с наката машины

Для оценки деформативности образцов картона лабораторного и производственного изготовления использовали характеристики, полученные по результатам испытаний на растяжение и изгиб: модуль

упругости при растяжении, модуль в области предразрушения, деформацию разрушения, работу разрушения, жесткость при изгибе и модуль упругости при изгибе.

Прочностные свойства картона оценивали стандартными показателями (сопротивление продавливанию, разрушающее усилие при сжатии кольца), а также использовали характеристики разрывной длины и разрушающего напряжения (последние отражают предельные значения прочности материала при растяжении).

Средние значения полученных характеристик прочности и деформативности всех видов образцов представлены в *табл. 5.2*. Как видно в таблице, при сравнении образцов, изготовленных до и после размол, наблюдается закономерный рост значений прочностных характеристик. Наибольшее влияние размол оказывает на прочность образцов покровного слоя. Сопротивление продавливанию в этом случае увеличивается на 72 %, разрывная длина – на 87 %, а разрушающее напряжение – в 2,4 раза. Такой характер изменения прочности прежде всего связан с более высокой степенью помола массы, из которой формируется покровный слой картона. Значения показателей прочности образцов основного слоя картона с увеличением степени помола также возрастают: сопротивление продавливанию – на 39, разрушающее усилие при сжатии кольца – на 21, разрывная длина – на 34 и разрушающее напряжение – на 81 %.

Прочностные свойства двухслойных образцов, несомненно, зависят от прочности отдельных слоев, но вклад каждого из них будет различным. Явной аддитивности свойств, как в численном, так и в относительном их изменении под действием технологических факторов не наблюдается. Из стандартных показателей полученных двухслойных образцов наибольшее влияние размол оказывает на сопротивление продавливанию. Отмечено его увеличение на 44 %. Разрушающее усилие при сжатии кольца возрастает на 24 %.

Также оценивали влияние размола на деформативность образцов картона. В целом и в этом случае наблюдается увеличение значений характеристик. Однако, если для образцов покровного слоя замечен значительный рост исследуемых величин (например, модуль упругости при растяжении, модуль в области предразрушения и работа разрушения увеличиваются примерно в два раза по сравнению с одноименными характеристиками у образцов из неразмолотой массы), то для основного слоя картона увеличение происходит в значительно меньшей степени. Так, модуль в области предразрушения возрастает на 9, модуль упругости при изгибе – на 24 %. Значение жесткости при изгибе практически не изменяется, а модуль упругости при растяжении уменьшается на 12 %. Относительное увеличение характеристик деформативности двухслойных образцов картона после размола также несколько ниже прочностных показателей.

Таким образом, можно предположить, что свойства покровного слоя оказывают большее влияние на деформативность крафт-лайнера, чем на его прочность. В то же время следует заметить, что при сопротивлении различным видам нагрузок ведущая роль, несомненно, принадлежит основному слою картона.

Сравнение показателей образцов картона, изготовленных из массы, отобранной из баков постоянного уровня (точки отбора 3 и 4) и из напорных ящиков основного и покровного слоев (точки отбора 5 и 6), дает возможность оценить влияние, оказываемое на исследуемые характеристики разбавлением целлюлозной суспензии оборотной водой и добавлением находящегося в последней мелкого волокна.

Установлено отрицательное влияние данного фактора на прочность образцов покровного слоя. Значение всех характеристик прочности для этих образцов снижается на 3...4 %. Добавка мелкого волокна при разбавлении регистровой водой положительно влияет на прочность образцов основного слоя и двухслойных, вызывая увеличение значений показателей на 4...6 %.

Таблица 5.2

**Изменение характеристик прочности и деформативности картона-лайнера
в технологическом потоке КДМ**

Вид образца	П, кПа	RCT, Н	L, м	σ_p , МПа	E_1 , МПа	E_2 , МПа	ϵ_p , %	A_p , мДж	EI , $мН \times см^2$	$E_{изг}$, МПа
Поступающая масса:										
основного слоя	459	268	4300	27	4950	791	1,4	106	664	2450
покровного слоя	58	-	3550	14	2550	583	1,0	13	-	-
двухслойная	584	338	4700	29	5050	773	1,6	126	1043	2700
Масса из бака постоянного уровня:										
основного слоя	638	325	5750	37	4350	862	2,0	195	671	3000
покровного слоя	100	-	6650	34	5050	1192	1,3	25	-	-
двухслойная	843	419	6500	44	6500	1135	1,8	142	1083	3750
Масса из напорного ящика:										
основного слоя	679	342	6100	42	3600	957	2,2	221	646	3200
покровного слоя	96	-	6450	33	4900	1132	1,3	24	-	-
двухслойная	885	436	6650	47	5200	1076	2,3	178	1037	3800
Картон направления:										
машинного	-	-	8600	51	4200	1500	2,0	226	1657	3250
поперечного	619	233	-	-	2200	320	2,4	140	565	1750

Характеристики деформативности образцов, изготовленных из разбавленной оборотной водой массы, изменяются неоднозначно. У образцов покровного слоя отмечено некоторое уменьшение модуля упругости при растяжении и модуля в области предразрушения. Значения общей деформации и работы разрушения остаются постоянными. Деформационные показатели образцов основного слоя и двухслойных изменяются более значительно, чем показатели прочности. Разбавление обуславливает снижение одних характеристик (например, модуля упругости при растяжении, жесткости при изгибе образцов обоих типов, модуля в области предразрушения образцов основного слоя) и увеличение других (деформации разрушения, работы разрушения, модуля упругости при изгибе образцов основного слоя и двухслойных). Полученные результаты позволяют говорить о различном влиянии добавления мелочи с оборотной водой на прочность и деформативность исследуемых образцов. Причем большее влияние этот фактор оказывает на формирование деформационных свойств.

Характеристики деформативности и прочности подвергали статистическому анализу с целью оценки их изменчивости. Показателем изменчивости является коэффициент вариации. Его значения для разных характеристик и видов образцов представлены в табл. 5.3. Выявлено, что коэффициенты вариации деформационных показателей картона производственного изготовления, за исключением деформации разрушения, выше, чем прочностных. Это позволяет сделать вывод о меньшей стабильности показателей деформативности, поскольку в производственных условиях их формирование не принимается во внимание, а уровень – не регулируется. Следовательно, неизбежны их значительные колебания для одного и того же вида картона, удовлетворяющего по прочности требованиям стандарта.

Таблица 5.3

Изменение коэффициента вариации показателей прочности и деформативности картона-лайнера в технологическом потоке КДМ

Вид образца	Коэффициент вариации для показателей									
	П, кПа	RCT, Н	L, м	σ_p , МПа	E_1 , МПа	E_2 , МПа	ϵ_p , %	A_p , мДж	EI , мН×см ²	$E_{изг}$, МПа
Поступающая масса:										
основного слоя	14,6	8,6	8,8	10,4	17,5	22,6	11,6	18,5	12,6	10,8
покровного слоя	26,2	-	-	59,0	45,3	34,7	14,5	39,7	-	-
двухслойная	13,4	8,6	8,1	11,7	18,6	23,8	13,7	18,3	8,9	14,3
Масса из бака										
постоянного уровня:										
основного слоя	7,4	10,3	6,7	9,6	18,4	18,2	7,6	19,6	14,3	15,0
покровного слоя	19,8	-	-	29,3	39,4	32,4	11,0	28,9	-	-
двухслойная	9,7	8,7	9,3	4,6	21,1	19,2	13,1	13,4	15,7	9,1
Масса из напорного										
ящика:										
основного слоя	7,5	10,9	7,6	10,1	10,3	11,9	11,0	20,6	16,9	14,0
покровного слоя	24,6	-	-	29,6	41,3	25,3	13,6	42,9	-	-
двухслойная	8,1	8,4	8,2	6,9	20,2	21,4	11,0	14,2	16,6	9,9
Картон:	5,5	7,1	5,9	6,7	12,3	12,0	6,3	8,3	25,9	13,0

Значения коэффициента вариации характеристик деформативности и прочности лабораторных образцов по потоку несколько возрастают, но тенденция к большей изменчивости деформационных показателей сохраняется.

По полученным экспериментальным данным можно сделать ряд выводов: основные технологические факторы производства картона для плоских слоев гофрированного картона оказывают различное влияние на формирование его деформационных и прочностных свойств. Процесс размола полуфабрикатов больше влияет на уровень деформативности. Внесение в массу с оборотной водой мелкого волокна вызывает снижение значений характеристик деформативности и прочности у образцов покровного слоя картона.

Свойства покровного слоя картона оказывают преимущественное влияние на формирование деформативности картона. Характеристики деформативности образцов картона машинного и лабораторного изготовления обладают большей изменчивостью по сравнению с прочностными показателями. Причиной этого является, прежде всего, то, что технологический режим производства установлен и регулируется для обеспечения регламентируемого уровня стандартных показателей качества. При оценке качества картона для плоских слоев следует учитывать его последующее применение для изготовления прочной либо жесткой тары. Для первого вида определяющими будут прочностные свойства, для второго – деформационные.

Влияние технологических факторов на деформативность и прочность картона-лайнера

При проведении лабораторного эксперимента для исследования влияния основных технологических параметров на деформационные и прочностные свойства крафт-лайнера был принят план Хартли.

В качестве независимых параметров были выбраны: содержание НСПЦ в основном слое картона; степень помола полуфабрикатов основного слоя; масса 1 м² картона-лайнера; зольность (содержание наполнителя); количество покровного слоя.

Исходные данные для планирования эксперимента представлены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Исходные данные для планирования эксперимента

Параметры	Обозначение x_i	Пределы варьирования		Нулевой уровень, x_0	Шаг, Δx_i
		от	до		
1.Доля НСПЦ, %	x_1	30	50	40	10
2.Степень помола массы основного слоя, °ШР	x_2	18	28	23	5
3.Масса 1 м ² , г	x_3	150	200	175	25
4.Зольность, %	x_4	0	8	4	4
5.Количество покровного слоя, %	x_5	10	20	15	5

Выбор в качестве одного из факторов количества наполнителя (каолина), подаваемого в основной слой картона, обусловлен необходимостью оценки влияния наполнения, прежде всего, на деформационные свойства картона.

Зависимости, полученные по данным многофакторного эксперимента, представлены на рис. 5.2...5.8.

Влияние композиции по волокну

Влияние содержания в композиции НСПЦ на **характеристики картона** представлено на рис. 5.2, 5.3. Вследствие того, что НСПЦ обладает более низкой по сравнению с сульфатной целлюлозой степенью делигнификации, увеличение ее содержания в композиции основного слоя несколько повышает жесткость картона и вызывает в исследуемом интервале увеличение значения разрушающего усилия при сжатии кольца (см. рис. 5.2). Кроме того, известно, что добавление в композицию картона лиственной целлюлозы высокого выхода повышает его пухлость, а, следовательно, и толщину, что также способствует росту данного показателя. При содержании в основном слое более 40 % НСПЦ снижается сопротивление картона продавливанию, а сопротивление раздиранию при увеличении доли полуцеллюлозы от 30 до 50 % уменьшается примерно на 11 %. Такая зависимость сопротивления раздиранию обусловлена, по-видимому, преобладающим влиянием роста содержания коротких волокон в массе основного слоя картона, а не увеличением пухлости образцов.

Разрывная длина лабораторных образцов картона увеличивается при возрастании доли НСПЦ от 30 до 40 %, а затем несколько снижается (см. рис. 5.3).

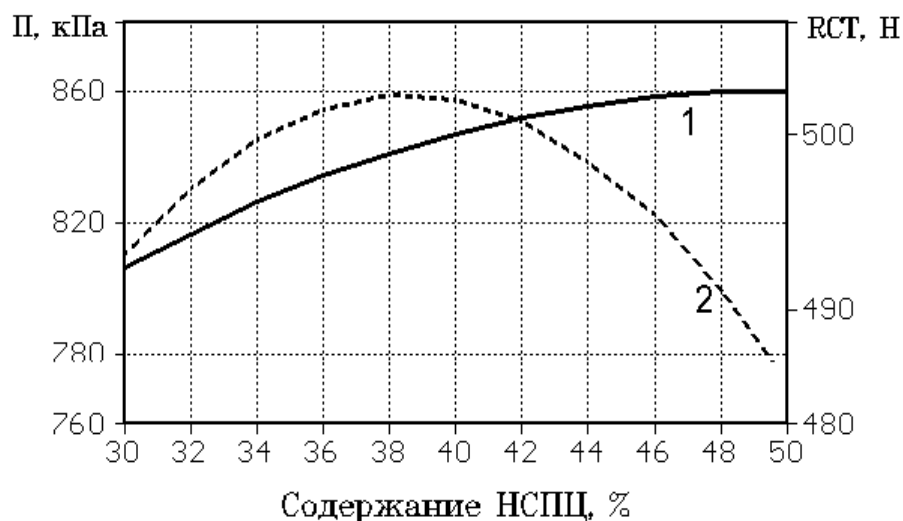


Рис. 5.2. Влияние композиции основного слоя крафт-лайнера на стандартные показатели качества: 1 – разрушающее усилие при сжатии кольца; 2 – сопротивление продавливанию

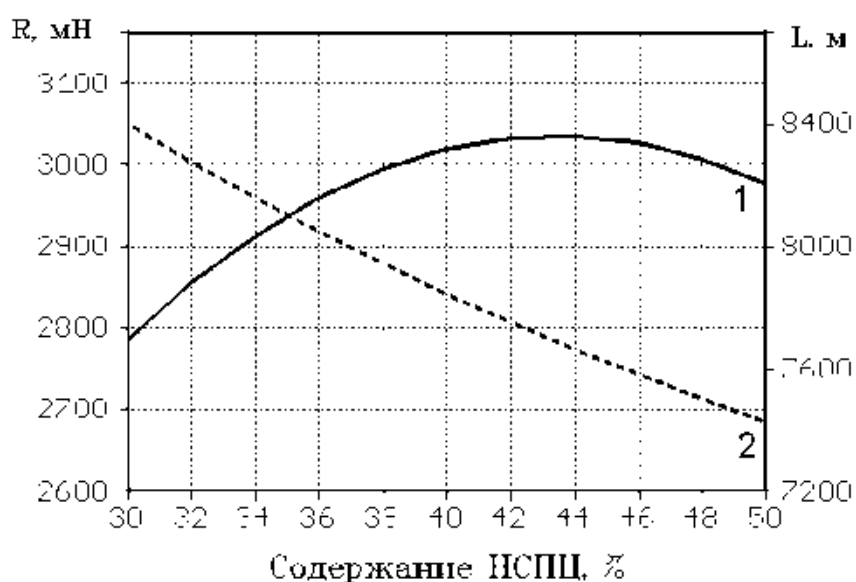


Рис. 5.3. Влияние композиции основного слоя крафт-лайнера на характеристики прочности: 1 – разрывная длина; 2 – сопротивление раздиранию

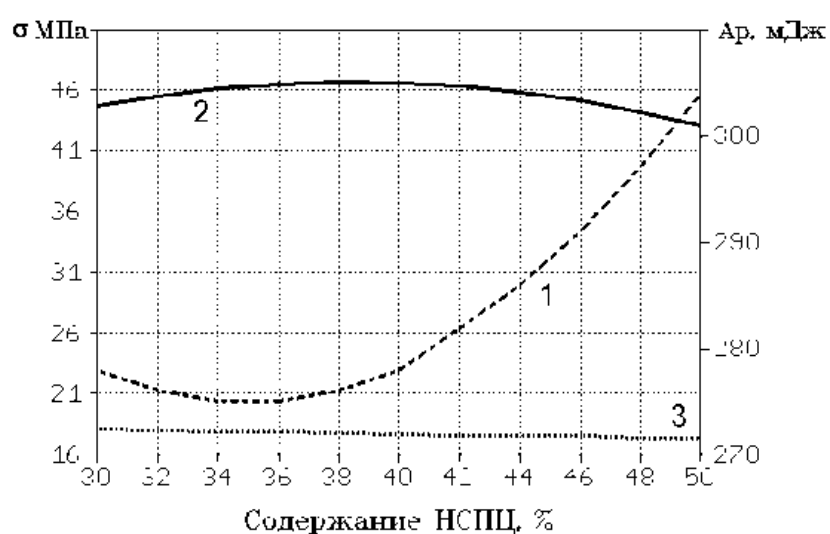
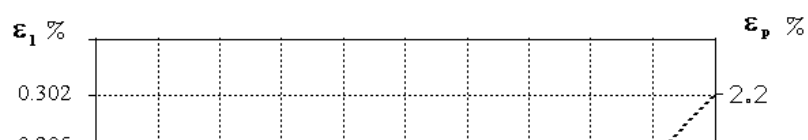


Рис. 5.4. Влияние композиции основного слоя крафт-лайнера на: 1 – работу разрушения; 2 – разрушающее напряжение; 3 – предел упругости



Таким образом, варьирование количества НСПЦ в основном слое картона-лайнера в интервале 30...50 % оказывает различное влияние на его стандартные качественные показатели. В производственных условиях количество этого полуфабриката изменяется обычно в тех же пределах. Если учитывать предложения о необходимости классификации тары из гофрированного картона по способности воспринимать внешние механические воздействия, то для жесткостной тары желательное повышенное содержание полуцеллюлозы, а для прочностной ее количество следует ограничить на уровне 40 %.

Влияние количества НСПЦ в основном слое картона на его деформативность при **растяжении** показано на *рис. 5.4...5.8*.

На *рис. 5.4 и 5.5* видно, что при содержании полуцеллюлозы в основном слое картона более 38 %, наблюдается увеличение работы разрушения и общей деформации, т.е. способность материала к **растяжению** возрастает, в то время как значения разрушающего напряжения и модуля материала в области предразрушения заметно снижаются. Кроме того, начальный модуль упругости E_1 в интервале содержания НСПЦ 40...50 % возрастает с 6300 до 6800 МПа. Другие характеристики упругой области деформирования – предел упругости и **величина упругой составляющей деформации** – практически остаются неизменными во всем исследуемом интервале.

Характер полученных зависимостей позволяет сделать некоторые предположения. Рост общей деформации картона при растяжении и, как следствие, работы его разрушения при снижении предельного уровня напряжения обусловлен увеличением доли вязкоупругих деформаций материала (*см.рис. 5.6*).

Содержание НСПЦ в композиции основного слоя незначительно влияет на его жесткость при изгибе, но, с другой стороны, в интервале от 30 до 42 % наблюдается снижение модуля упругости при изгибе на 9 % (*рис. 5.7*). Ход кривых зависимостей начального модуля упругости картона

при растяжении (см.рис. 5.6) и модуля упругости при изгибе (см.рис. 5.7) имеют сходный характер.

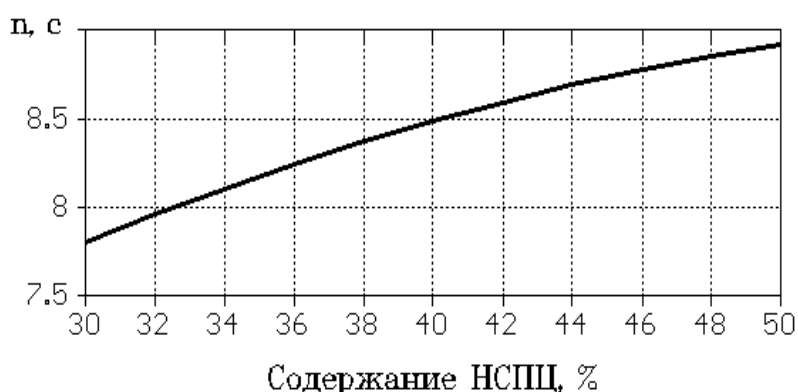


Рис. 5.8. Зависимость времени релаксации напряжений от содержания НСПЦ в основном слое крафт-лайнера

Время релаксации напряжений прямолинейно возрастает с увеличением содержания полуцеллюлозы. Это говорит о том, что жесткие и короткие волокна лиственной НСПЦ замедляют восстановление исходной структуры материала в случае прекращения воздействия механической нагрузки (см.рис. 5.8).

Из вышеизложенного следует, что при содержании в композиции по волокну бумажной массы более 38...40 % НСПЦ упругие и жесткостные характеристики возрастают. Увеличение в этом случае деформации разрушения, а следовательно и работы разрушения, компенсирует некоторое снижение характеристик прочности. Таким образом, крафт-лайнер с повышенным содержанием более дешевого полуфабриката может с успехом использоваться для производства гофротары жесткого типа.

Влияние степени помола массы основного слоя

Известно, что степень помола целлюлозы, применяемой для получения различных видов бумаги и картона, оказывает значительное влияние на большинство их свойств. Размол волокнистых полуфабрикатов при производстве картона для плоских слоев гофрированного картона обычно проводят в две ступени. На первой ступени сульфатную целлюлозу и НСПЦ размалывают отдельно. При этом более интенсивному размолу должны

подвергаться волокна сульфатной небеленой целлюлозы. Размол полуцеллюлозы проводят так, чтобы обеспечить минимальное укорочение волокна. На второй ступени полуфабрикаты размалывают совместно для выравнивания их степеней помола.

При выборе интервала изменения степени помола массы исходили из того, что нижний уровень варьирования реально не должен быть ниже 18...19 °ШР. Максимальную степень помола массы основного слоя ограничили 28 °ШР. При этом степень помола массы покровного слоя оставалась постоянной и составляла 45 °ШР. Влияние степени помола массы на деформативность и прочность картона массой 200 г/м² представлено на *рис. 5.9...5.15*.

Как видно на *рис. 5.9*, увеличение степени помола массы с 18 до 28 °ШР вызывает увеличение значений стандартных показателей качества. При этом сопротивление продавливанию в исследуемом интервале возрастает на 32 %, а разрушающее усилие при сжатии кольца – на 43 %. Разрывная длина имеет аналогичную зависимость от данного фактора и возрастает на 60 % (*рис. 5.10*). Представленные зависимости показывают, что в целом увеличение степени помола массы основного слоя крафт-лайнера оказывает положительное влияние на стандартные показатели прочности. Зависимости, характеризующие деформационное поведение лабораторных образцов картона в исследуемом интервале степени помола основного слоя, представлены на *рис. 5.11...5.15*. Разрушающее напряжение при статическом растяжении монотонно возрастает от 32 МПа при 18 °ШР до 45 МПа при 28 °ШР. Показатели работы разрушения и предела упругости (*рис. 5.11*) достигают максимальных значений при степени помола 25 °ШР, а затем несколько снижаются.

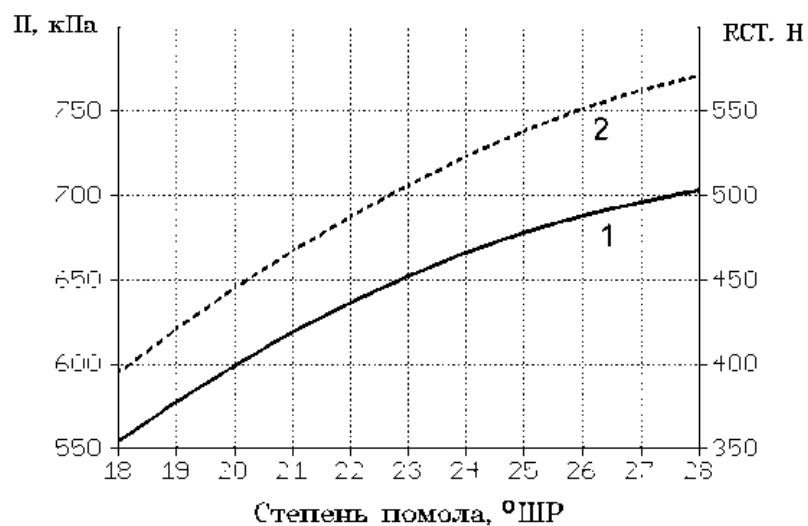


Рис. 5.9. Влияние степени помола массы основного слоя крафт-лайнера на стандартные показатели качества:
1 - разрушающее усилие при сжатии кольца; 2 – сопротивление продавливанию

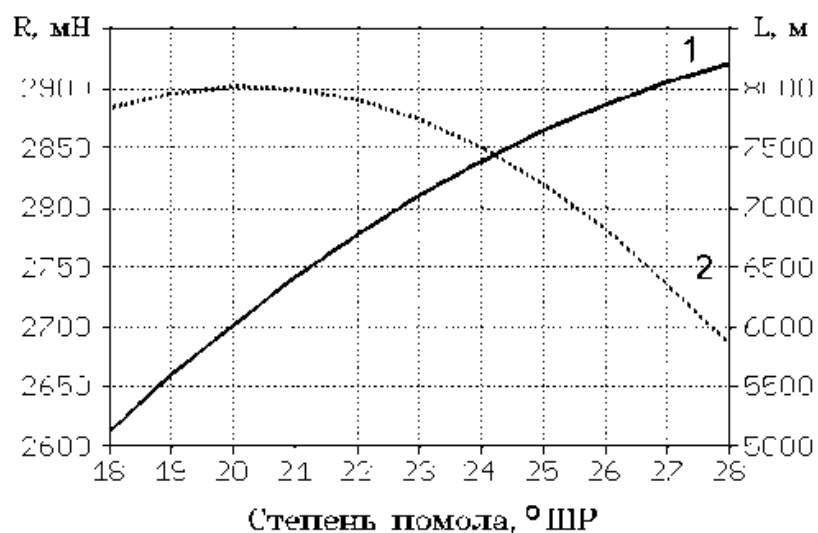


Рис. 5.10. Влияние степени помола массы основного слоя крафт-лайнера на характеристики прочности:
1 – разрывная длина; 2 – сопротивление раздиранию

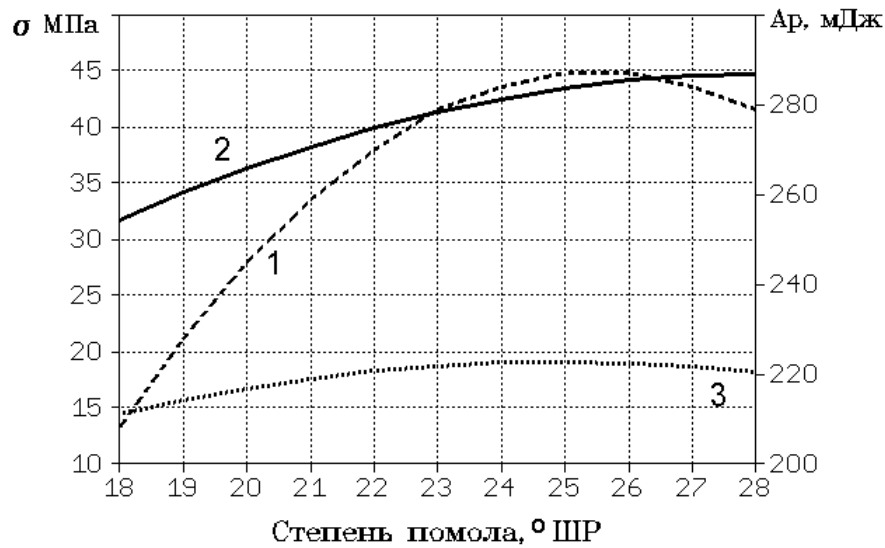


Рис. 5.11. Влияние степени помола массы основного слоя крафт-лайнера на: 1 – работу разрушения; 2 – разрушающее напряжение; 3 – предел упругости

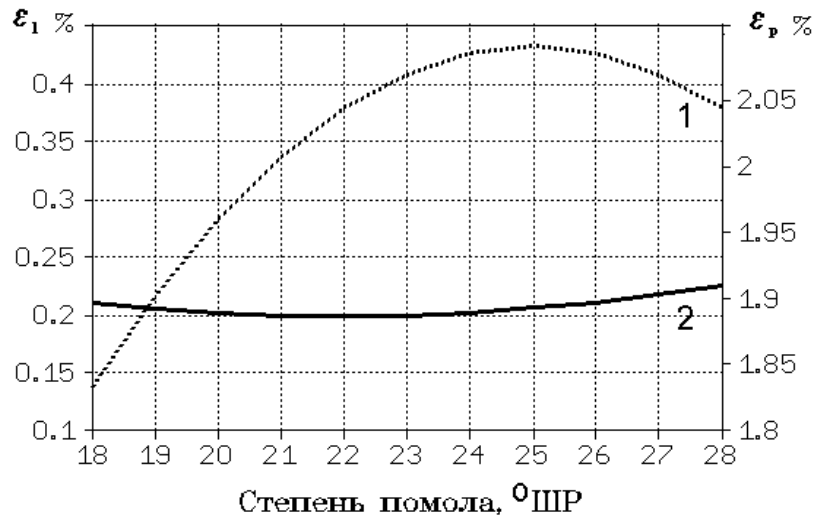


Рис.5.12. Влияние степени помола массы основного слоя крафт-лайнера на: 1 – деформацию разрушения; 2 – упругую деформацию

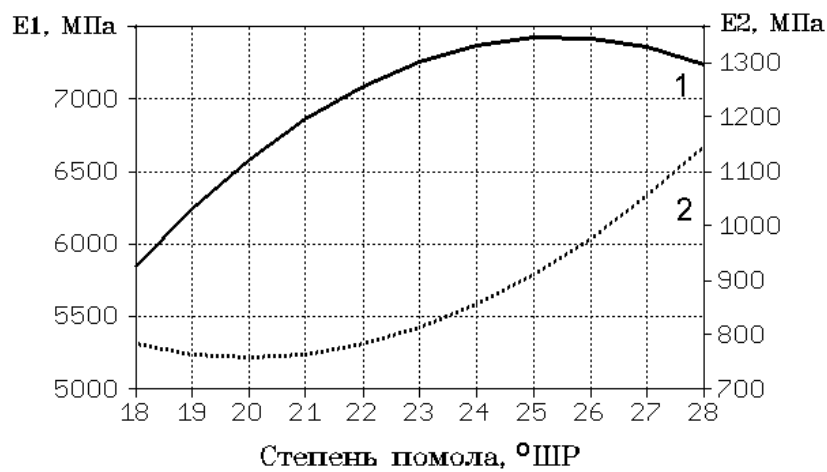


Рис. 5.13. Влияние степени помола массы основного слоя крафт-лайнера на: 1 – модуль упругости; 2 – модуль в области предразрушения

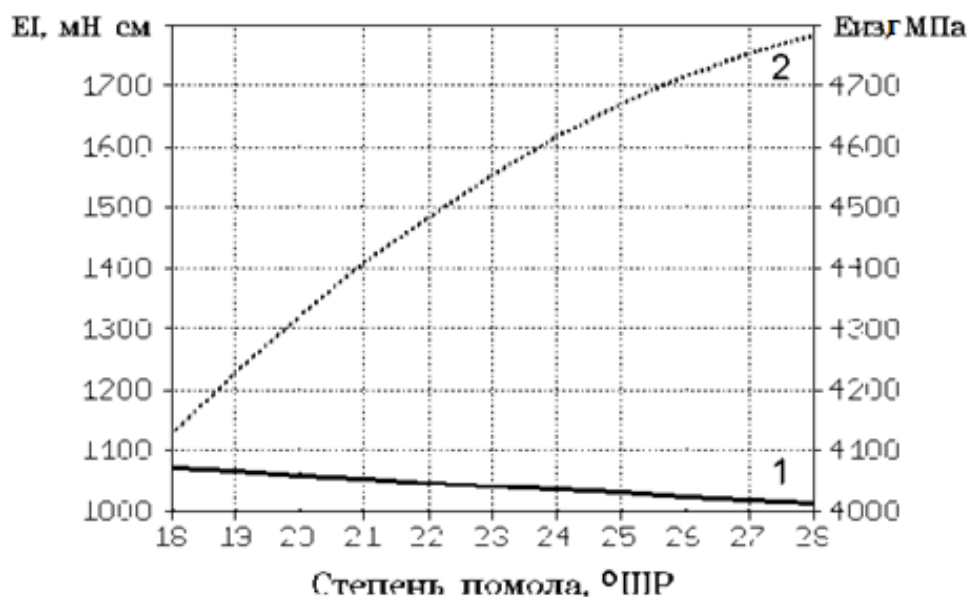


Рис. 5.14. Влияние степени помола массы основного слоя крафт-лайнера на:
1 – жесткость при изгибе; 2 – модуль упругости при изгибе

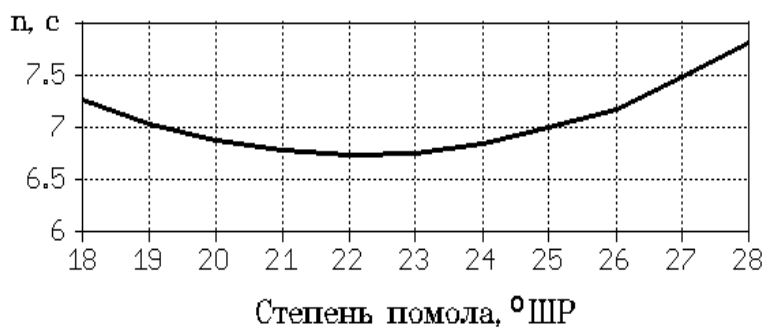


Рис. 5.15. Зависимость времени релаксации напряжений от степени помола массы основного слоя крафт-лайнера

Влияние массы 1 м²

Придание таре из гофрированного картона требуемой жесткости может быть осуществлено различными способами. Наиболее простым среди них является увеличение массы 1 м² картона для плоских слоев. Однако возможность этого направления ограничена, с одной стороны, увеличением расхода полуфабрикатов, с другой, – наличием верхнего предела массы 1 м², при котором возникают затруднения при рилевании гофрокартона и появляются трещины по линиям рилевки при сгибании. Помимо этого, следует учитывать, что в последнее время определилась тенденция к производству бумаги и картона пониженной массы 1 м², в том числе и тарного картона. Следует также учитывать нагрузки, испытываемые

гофрированным картоном при эксплуатации. В противном случае снижение массы 1 м^2 может привести к нежелательным воздействиям на упаковываемую продукцию при ее транспортировке и хранении.

В данном подразделе обсуждается влияние величины массы 1 м^2 на деформационные и прочностные свойства картона для плоских слоев гофрированного картона типа крафт-лайнера. На *рис. 5.16* показано изменение стандартных показателей качества гофрированного картона в интервале изменения массы 1 м^2 от 150 до 200 г. Наблюдается увеличение сопротивления продавливанию и разрушающего усилия при сжатии кольца с ростом данного параметра. В целом в исследуемом интервале сопротивление продавливанию возрастает на 33 %, а разрушающее усилие при сжатии кольца – на 54 %.

Влияние массы 1 м^2 на разрывную длину и сопротивление раздиранию крафт-лайнера лабораторного изготовления представлено на *рис. 5.17*. Разрывная длина картона прямолинейно возрастает с 6 200 м при массе 1 м^2 150 г до 8 200 м при массе 1 м^2 200 г. Сопротивление раздиранию в исследуемом интервале увеличивается на 42 %. Таким образом, изменение прочностных свойств картона типа крафт-лайнер в зависимости от массы 1 м^2 подчиняется известным закономерностям.

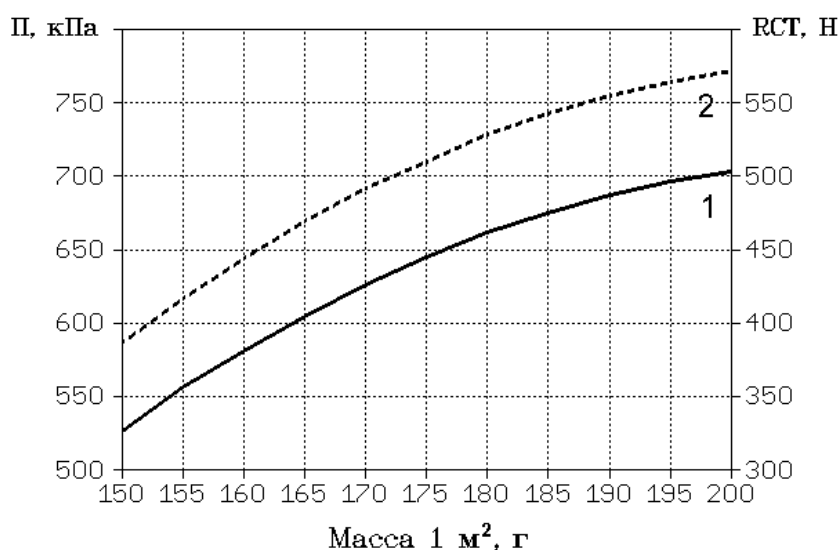


Рис. 5.16. Влияние массы 1 м^2 картона типа крафт-лайнера на стандартные показатели качества: 1 – разрушающее усилие при сжатии кольца; 2 – сопротивление продавливанию

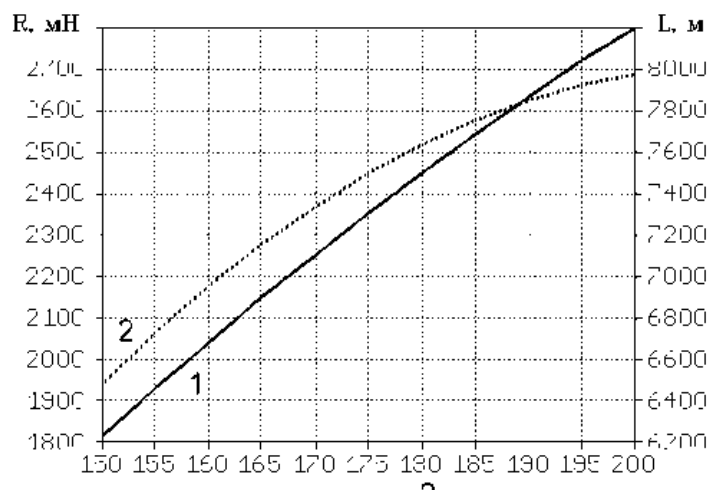


Рис. 5.17. Влияние массы 1 м^2 картона типа крафт-лайнер на характеристики прочности: 1 – разрывная длина; 2 – сопротивление раздиранию

Влияние величины массы 1 м^2 картона на показатели его деформативности не так однозначно, как на прочностные показатели, и зависит от вида используемой для испытаний нагрузки (растяжение или изгиб) и характера области деформирования в случае испытаний на растяжение (упругая, неупругая, общая деформация). Так, на рис. 5.18 видно, что при увеличении массы 1 м^2 величина упругой деформации остается практически неизменной (0,22...0,24 %), в то время как общая деформация картона при растяжении возрастает на 12 % при увеличении массы 1 м^2 от 150 до 200 г. Следовательно, увеличение значения общей деформации картона при повышении массы 1 м^2 происходит преимущественно за счет возрастания доли неупругих деформаций (вязкоупругих и пластических).

Кривые зависимостей модуля упругости картона при растяжении (рис. 5.19) и модуля упругости при изгибе (рис. 5.20) от величины массы 1 м^2 имеют сходный характер при разных абсолютных значениях этих показателей. Обе кривые имеют минимум при массе 1 м^2 картона 165...170 г. Однако, если в диапазоне 150...170 г/м² значения E_1 и $E_{изг}$ снижаются примерно на 4 %, то последующий рост значений более выражен для модуля упругости при изгибе. При увеличении массы 1 м^2 с 170 до 200 г $E_{изг}$ возрастает на 25 %, а E_1 лишь на 9,5 %.

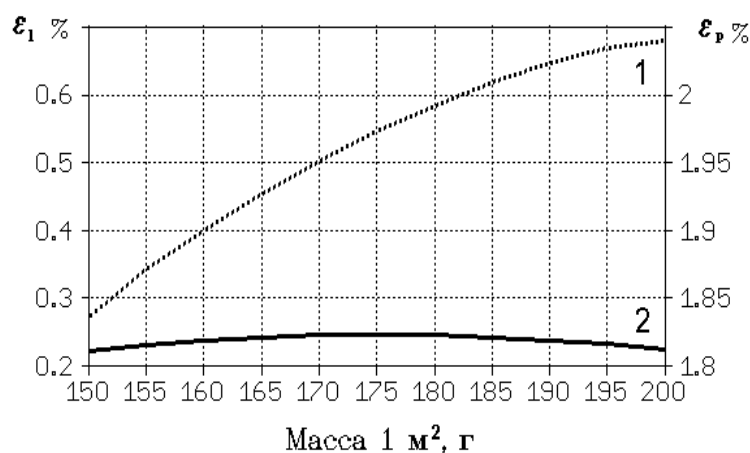


Рис. 5.18. Влияние массы 1 м² картона типа крафт-лайнер на:
1 – деформацию разрушения; 2 – упругую деформацию

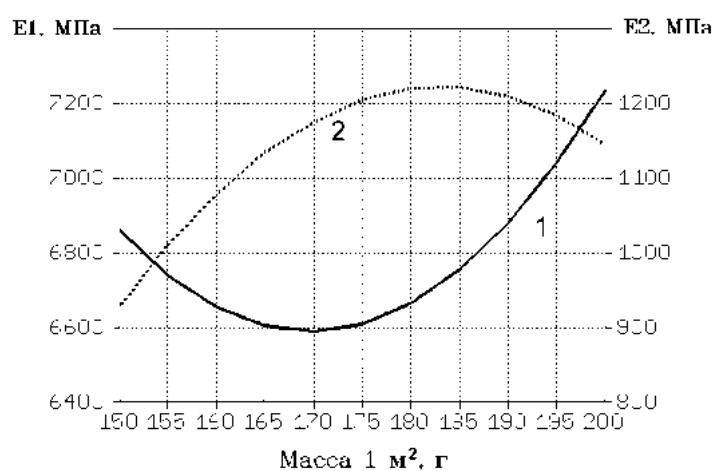


Рис. 5.19. Влияние массы 1 м² картона типа крафт-лайнер на:
1 – модуль упругости; 2 – модуль в области предразрушения

Особенно большое влияние величина массы 1 м² крафт-лайнера оказывает на его жесткость при изгибе (см. рис. 5.20). В исследуемом диапазоне жесткость при изгибе возрастает прямолинейно с 440 до 1000 мНжм², т.е. в 2,27 раза. Наблюдаемый характер изменения EI объясняется тем, что с увеличением массы 1 м² картона возрастает его толщина. Величина жесткости при изгибе обусловлена двумя основными свойствами материала: толщиной и модулем упругости при изгибе. В рассматриваемом случае увеличение толщины с ростом массы 1 м², несомненно, оказывает преобладающее влияние.

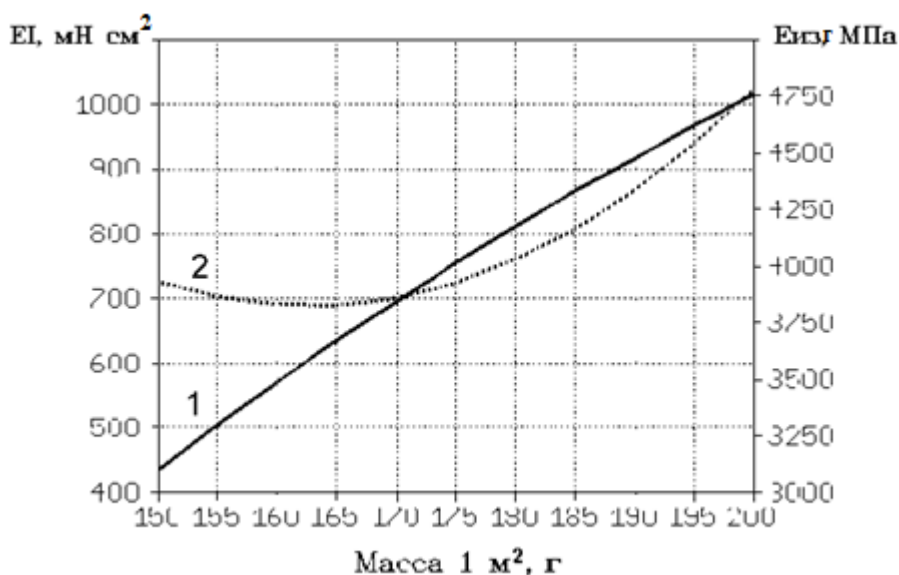


Рис. 5.20. Влияние массы 1 м² картона типа крафт-лайнер на:
1 – жесткость при изгибе; 2 – модуль упругости при изгибе

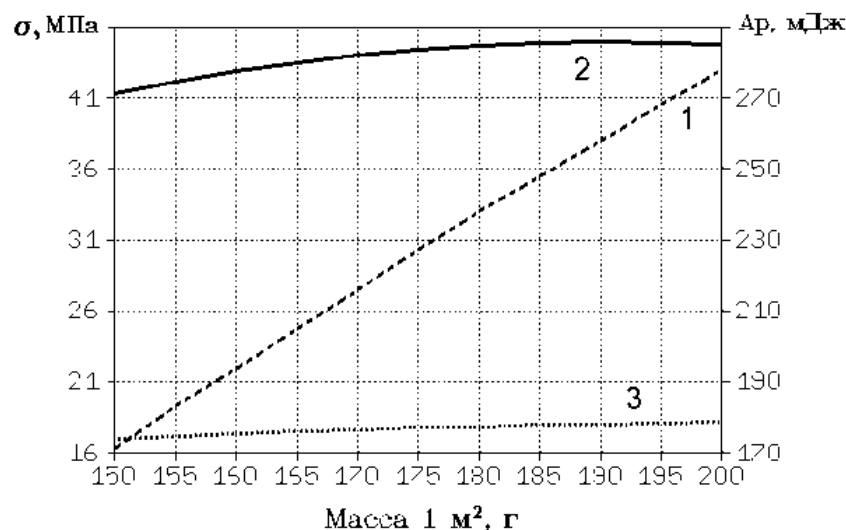


Рис. 5.21. Влияние массы 1 м² картона типа крафт-лайнер на:
1 – работу разрушения; 2 – разрушающее напряжение; 3 – предел упругости

На рис. 5.21 представлены зависимости изменения работы разрушения, предела упругости и разрушающего напряжения, характеризующие кривую « $\sigma - \epsilon$ » при растяжении от величины массы 1 м² картона-лайнера. Наибольший интерес здесь представляет изменение работы разрушения, интегрального показателя процесса деформирования при растяжении. Оптимальная величина A_p важна для материалов, испытывающих при эксплуатации динамические нагрузки. К таким материалам можно отнести и гофрированный картон, компонентом которого является картон для плоских слоев. На рис. 5.21 видно, что при увеличении массы 1 м² картона

работа разрушения линейно возрастает. Разрушающее напряжение и предел упругости крафт-лайнера постепенно возрастают в диапазоне 150...185 г/м², а затем практически не изменяются.

Влияние количества покровного слоя

Количество покровного слоя во многом определяет потребительские свойства картона для плоских слоев гофрированного картона, а именно, внешний вид, способность к восприятию печатных изображений, устойчивость к внешнему трению и иным силовым воздействиям. В нашем случае большой интерес представляло то, как отражается количество покровного слоя, изготавливаемого обычно из сульфатной крафт-целлюлозы с высокой степенью помола, на общей прочности и деформативности картона.

На рис. 5.22...5.28 представлены зависимости прочностных и деформационных характеристик от количества (доли) покровного слоя в общей массе крафт-лайнера. Диапазон изменения количества покровного слоя составил в соответствии с планом эксперимента 10...20 % при степени помола целлюлозы 45 °ШР. Расчетные зависимости приведены для крафт-лайнера массой 1 м² 200 г.

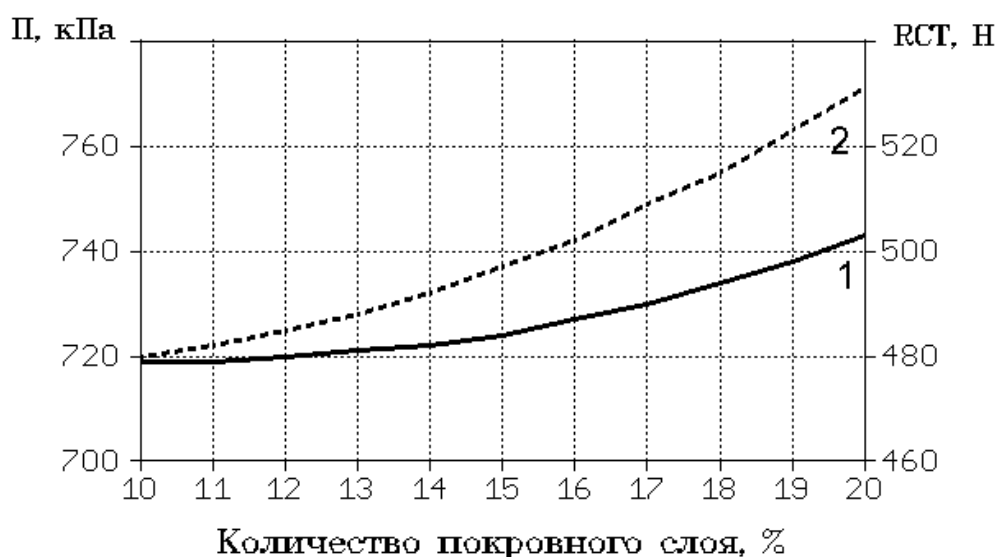


Рис. 5.22. Влияние доли покровного слоя крафт-лайнера на стандартные показатели качества: 1 – разрушающее усилие при сжатии кольца; 2 – сопротивление продавливанию

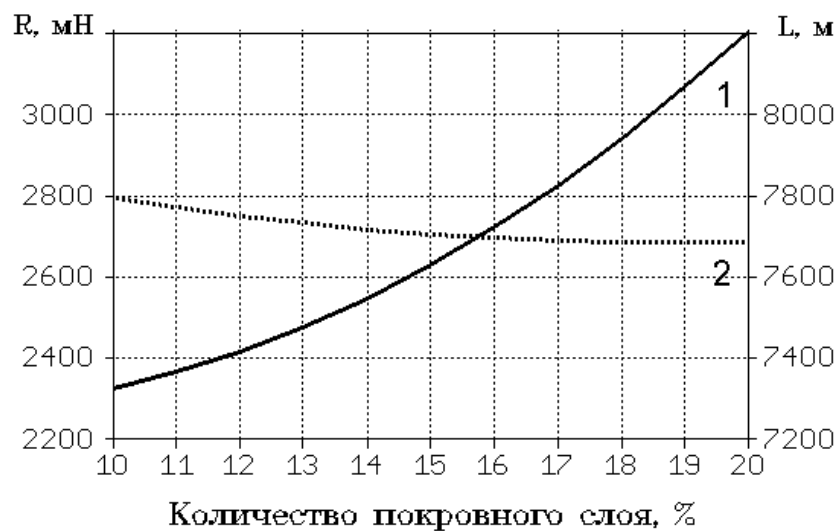


Рис. 5.23. Влияние доли покровного слоя крафт-лайнера на характеристики прочности: 1 – разрывная длина; 2 – сопротивление раздиранью

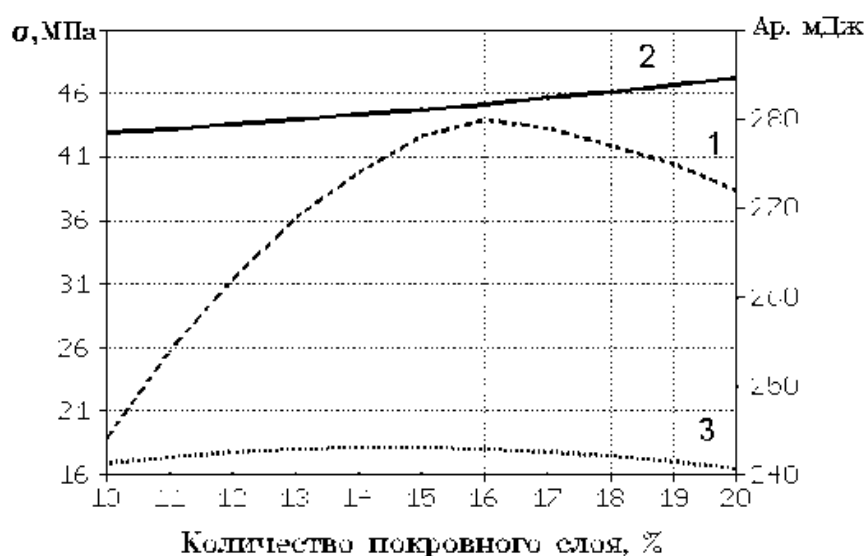


Рис. 5.24. Влияние доли покровного слоя крафт-лайнера на: 1- работу разрушения; 2 – разрушающее напряжение; 3 – предел упругости

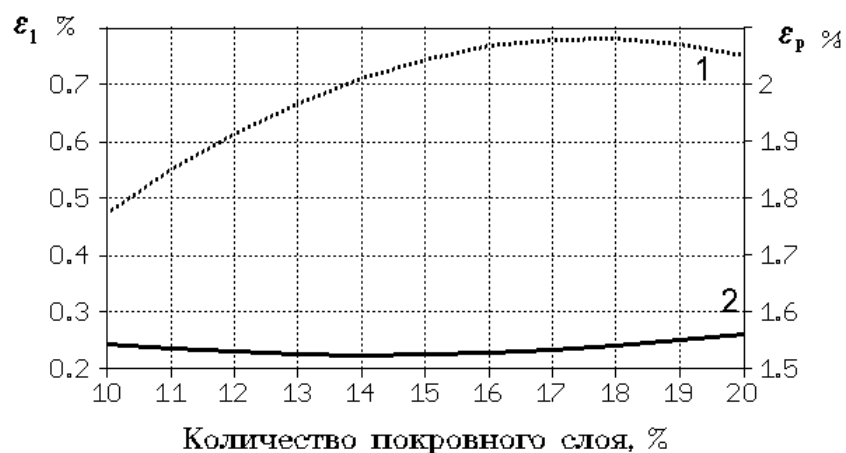


Рис. 5.25. Влияние доли покровного слоя крафт-лайнера на: 1 – деформацию разрушения; 2 – упругую деформацию

Как видно на *рис. 5.22*, с увеличением доли покровного слоя в исследованном интервале значения стандартных характеристик качества возрастают. Сопротивление продавливанию увеличивается с 720 до 770 кПа, а разрушающее усилие при сжатии кольца с 480 до 500 Н, т.е. на 7 и 5 % соответственно. Разрывная длина образцов крафт-лайнера с увеличением доли покровного слоя от 10 до 20 % возрастает на 12 %, сопротивление раздиранию при этом незначительно снижается (*рис. 5.23*).



Рис. 5.26. Влияние доли покровного слоя крафт-лайнера на: 1 – модуль упругости; 2 – модуль в области предразрушения

Незначительно изменяется и величина упругой деформации (*рис. 5.25*). Рост общей деформации крафт-лайнера лабораторного изготовления обусловлен, по-видимому, развитием вязкоупругих свойств в материале, так как возникновение значительных пластических деформаций при увеличении

содержания в общей массе картона более прочного компонента с развитыми межволоконными связями маловероятно. При анализе графиков, отражающих характер изменения работы разрушения и общей деформации (рис.5.24 и 5.25), видно, что максимальная растяжимость картона наблюдается при количестве покровного слоя 17...18 %.

Получена достаточно неожиданная зависимость величины начального модуля упругости от доли покровного слоя в общей массе картона. При увеличении количества покровного слоя с 14 до 20 % значение этого показателя снижается с 7600 до 6400 МПа, хотя на первоначальном участке E_1 растет (рис.5.26).

На рис.5.27 явно видно, что жесткость при изгибе образцов картона практически не зависит от количества покровного слоя, в то время как модуль упругости при изгибе увеличивается в том же диапазоне примерно на 17 %.



Рис. 5.27. Влияние доли покровного слоя крафт-лайнера на:
1 – жесткость при изгибе; 2 – модуль упругости при изгибе



Рис. 5.28. Зависимость времени релаксации напряжений от доли покровного слоя крафт-лайнера

Такой характер зависимости можно объяснить возможным уменьшением межслоевой прочности, которое возникает вследствие того, что при сушке лабораторных образцов картона испаряемая через покровный слой влага встречает все возрастающее сопротивление при увеличении толщины этого слоя, обладающего плотной структурой. С другой стороны, увеличение содержания в общей массе образцов крафт-лайнера сульфатной целлюлозы с высокой степенью помола должно способствовать росту значения E_1 . Таким образом, возрастание доли покровного слоя до 14 % положительно влияет на начальный модуль упругости картона, дальнейшее ее увеличение резко снижает межслоевую прочность и, как следствие, модуль упругости.

Анализ полученных в результате осуществления многофакторного эксперимента данных позволяет сделать следующие выводы: изменение содержания НСПЦ в композиции основного слоя крафт-лайнера от 38 до 50 % оказывает избирательное влияние на его стандартные характеристики качества (для предотвращения снижения качества картона по показателю сопротивления продавливанию необходимо ограничивать долю НСПЦ в основном слое на уровне 38...40 %); упругие характеристики возрастают при массовой доле НСПЦ в композиции более 38 %; увеличение растяжимости крафт-лайнера и, вследствие этого, работы разрушения при возрастании доли НСПЦ в основном слое компенсирует падение абсолютных значений показателей прочности, что позволяет использовать картон с высоким содержанием дешевого полуфабриката для изготовления

гофротары жесткостного типа с пониженными прочностными свойствами; более высокая степень помола массы необходима для картона, используемого для производства тары повышенной прочности, однако упругие, жесткостные свойства и растяжимость в этом случае могут ухудшиться; значения стандартных показателей качества крафт-лайнера возрастают при повышении как общей массы 1 м^2 картона, так и массы покровного слоя; с повышением массы 1 м^2 наблюдается увеличение общей деформации и значительный рост работы разрушения. Для придания картону большей упругости также необходима повышенная масса 1 м^2 ; в исследованном диапазоне соотношений масс покровного и основного слоев жесткость картона при изгибе практически не меняется; упругие характеристики имеют максимум при 13...15 %, а наибольшая деформация разрушения наблюдается при 17...18 % содержания покровного слоя от общей массы крафт-лайнера.

Контроль качества при производстве гофрированного картона и тары

Высокое и стабильное качество тарного картона и продуктов его переработки (ящиков, коробок, комплектующих деталей) обусловлено не только совокупностью свойств материалов и особенностями используемой технологии, но также наличием и стабильным функционированием комплексной системы управления качеством. Более того, современные принципы управления качеством, базирующиеся на идеологии *TQM (Total Quality Management)*, предполагают не просто обязательное наличие такой системы, но и ее сертификацию на соответствие требованиям комплекса руководящих документов и стандартов, которые сегодня часто объединяют под названием *ISO 9000*.

К сожалению, ни одно из отечественных предприятий целлюлозно-бумажной промышленности не имеет сертифицированной системы управления качеством продукции. По нашему мнению, для лучшего понимания обсуждаемых далее результатов работы следует коротко представить существующие принципы системы контроля качества

при производстве гофрированного картона и тары на примере крупнейшего в России производителя этой продукции – ОАО "Архангельский ЦБК".

Цех по производству тары из гофрированного картона получает исходные компоненты (крафт-лайнер и флютинг) со склада, куда они поступают с картонной фабрики. При этом крафт-лайнер марок *KBC...K-2* имеет массу 1 м² 125...200 г, флютинг марок *B0...B3* массу 112...160 г.

Цех по производству гофротары разделен на два технологических участка. На первом осуществляется производство гофрированного картона, который в виде листов направляется потребителям либо в виде заготовок перерабатывается в тару на втором технологическом участке по своему регламенту. Производительность составляет до 100 млн. м² листового трехслойного гофрированного картона с типом гофр "В" или "С". Ассортимент выпускаемой гофротары практически не ограничен, за исключением транспортной тары, которая преимущественно производится из гофрированного картона марки *П*. Соотношение объемов реализуемых видов продукции не постоянно и определяется состоянием внешнего и внутреннего рынков.

Система контроля качества является, по нашему мнению, традиционной для цехов данного профиля, входящих в структуру комплексного производства. Соответствие картона-лайнера и бумаги для гофрирования требованиям стандартов анализируется контролерами ОТК в лаборатории готовой продукции картонной фабрики на образцах, которые отбирают непосредственно после их изготовления с тамбуров, снимаемых с наката КДМ по всей ширине. Массу 1 м², толщину и абсолютное сопротивление продавливанию тарного картона измеряют у образцов с каждого тамбура, а остальные качественные характеристики контролируют через три съема тамбуров с наката. В некоторых случаях производят дополнительный отбор образцов из рулонов, получаемых на продольно-резательном станке, и их испытания. По результатам испытаний партии картона присваивается марка и производится маркировка торцов каждого

рулона с указанием значений основных характеристик качества. Аналогичный порядок контроля используется и в производстве бумаги для гофрирования.

При поступлении исходных компонентов в цех по производству гофрированной тары контроль качества конкретных рулонов бумаги и картона не производится. При отборе компонентов для изготовления гофрированного картона нужной марки используют сведения о качестве материалов, нанесенные на рулоны, а также передаваемые в лабораторию контроля цеха из журналов контроля качества лаборатории картонной фабрики. Таким образом, входной контроль качества исходного сырья в основном ведется по усредненным по партиям показателям. Исключение могут составлять лишь характеристики массы 1 м^2 , влажности бумаги и картона и толщины картона-лайнера, значения которых при необходимости могут уточняться перед установкой рулонов на размоточные станки. Такой контроль проводится с целью обеспечения стабильной работы линии по производству гофрированного картона и достижения равномерной прочности склеивания слоев по ширине полотна.

Контроль качества гофрированного картона осуществляется согласно регламенту путем отбора проб, который производится через каждые 2 ч. работы линии, а также один раз в смену выполняется усредненный анализ. Испытания гофрированного картона проводятся после кондиционирования образцов при стандартных условиях. По результатам испытаний у образцов, согласно действующим стандартам, определяются влажность, толщина, абсолютное сопротивление продавливанию, сопротивление торцовому сжатию, сопротивление расслаиванию и удельное сопротивление разрыву с приложением разрушающего усилия вдоль гофров по линии рилевки после выполнения одного двойного перегиба на 180° . Последний показатель определяется только у заготовок для ящиков по линиям рилевки, наносимым на рилеочно-продольнорезательной машине. Помимо этого, контролерами ОТК практически непрерывно осуществляется визуальный контроль

непосредственно в процессе производства гофрированного картона на предмет обнаружения расклейки слоев, коробления, несоответствия размеров листов и заготовок, косины и т.п. По результатам анализов партиям гофрированного картона присваиваются марки. Гофрированный картон, предназначенный для переработки в цехе, поступает на соответствующее оборудование в виде кип заготовок.

В настоящее время лабораторные испытания ящиков конкретного назначения постоянно не осуществляются. Контроль и отбраковка ведутся непосредственно на линиях по производству гофротары по внешним признакам и геометрическим параметрам. Показатели механической прочности, заложенные в нормативно-технической документации на ящики для определенных видов упаковываемой продукции, такие как сопротивление сжатию, сопротивление ударам при свободном падении, прочность при штабелировании и другие, определяются при разногласиях с потребителями и в особых случаях, например, при прохождении процедуры сертификации продукции.

В целом существующая система контроля качества в производстве гофрированного картона и тары должна достаточно надежно функционировать при условии обеспечения стабильности качества сырья и технологических параметров. Однако на практике стабильность параметров производства и качества обеспечивается не всегда. В частности это было показано в наших исследованиях, проведенных в 1995 г. Обследование технологического режима производства гофрированного картона в течение трех месяцев показало, что нестабильность качества компонентов гофрированного картона проявляется, прежде всего, в различии их свойств по ширине полотна. Причем вариация свойств во многих случаях остается неизвестной, поскольку маркировка рулонов картона-лайнера и флутинга проводится по усредненным показателям. Кроме того, при нормальном соблюдении технологического режима рекомендуется выдерживать исходные материалы для производства гофрокартона на складе

до четырнадцати дней. Это необходимо для выравнивания влажности и других свойств картона и бумаги в рулонах.

Исследования показали, что во многих случаях наблюдается значительное колебание характеристик качества картона для плоских слоев и бумаги для гофрирования по ширине. Например, сопротивление продавливанию бумаги для гофрирования может возрасти от 410 кПа на лицевой стороне до 490 кПа на приводной стороне гофроагрегата. В нескольких случаях выявлено резкое снижение показателя сопротивления торцовому сжатию на приводной стороне рулонов. Минимально изменяется по ширине рулонов бумаги для гофрирования удельное сопротивление разрыву.

Картон-лайнер, поступающий на гофрировальную и клеильную машины (первый и второй плоские слои), в период проведения работы имел по ширине рулонов стабильную массу 1 м^2 и толщину. Однако встречались случаи значительной вариации сопротивления продавливанию и разрушающего усилия при сжатии кольца. Например, максимальный размах сопротивления продавливанию картона, подаваемого на клеильную машину, составил от 690 кПа в середине рулона, до 590 кПа с приводной стороны (16 %).

Так как качество гофрированного картона обусловлено свойствами всех трех его компонентов, нестабильность физико-механических характеристик по ширине рулонов приводит при определенных условиях к различию в свойствах гофрированного картона. Два наиболее характерных примера представлены в *табл. 5.5 и 5.6*.

По *табл. 5.5* видно, что показатели качества гофрокартона с лицевой стороны ниже, чем в середине и на приводной стороне. Можно предположить, что на такой характер изменения влияет суммарный эффект вариации основных показателей качества исходных материалов по ширине. Большинство из них имеют минимальные значения с лицевой стороны рулона. Исключение составляет показатель сопротивления продавливанию

картона, поступающего на гофромашину. Его значения с лицевой стороны больше. Однако значительные различия сопротивления продавливанию бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев, поступающего на клеильную машину, по сравнению с серединой и приводной частью приводит к снижению сопротивления продавливанию гофрированного картона. Более низкое значение сопротивления торцовому сжатию с лицевой стороны обусловлено низкими значениями разрушающего усилия при сжатии кольца двух плоских слоев картона, хотя сопротивление торцовому сжатию бумаги для гофрирования остается стабильным.

Таблица 5.5

**Изменение стандартных показателей исходных компонентов
и гофрированного картона по ширине полотна (пример 1)**

Характеристики	Точки по ширине рулона		
	1	2	3*
Бумага для гофрирования			
Масса 1 м ² , г	118	123	124
Сопротивление продавливанию, кПа	355	383	387
Сопротивление плоскостному сжатию, Н	244	252	255
Сопротивление торцовому сжатию, кН/м	1,66	1,66	1,68
Картон для плоских слоев (с гофромашины)			
Масса 1 м ² , г	148	150	148
Сопротивление продавливанию, кПа	563	533	494
Разрушающее усилие при сжатии кольца, Н	257	281	273
Картон для плоских слоев (с клеильной машины)			
Масса 1 м ² , г	144	150	148
Сопротивление продавливанию, кПа	489	583	603
Разрушающее усилие при сжатии кольца, Н	231	254	221
Гофрированный картон			
Сопротивление продавливанию, МПа	1,21	1,47	1,40
Сопротивление торцовому сжатию, кН/м	3,60	4,20	4,30

* Образцы отбирались с краев и середины рулонов

Во втором случае (табл.5.6) минимальные значения характеристик качества гофрированного картона наблюдались на приводной стороне гофроагрегата. По сопротивлению продавливанию гофрированный картон с лицевой стороны и из середины листа соответствовал стандарту марке T12 класса 1, а с приводной стороны лишь самой низшей марке T11. В тоже время для класса 1 данный картон имеет большой запас прочности по сопротивлению торцовому сжатию. При отнесении этого гофрокартона к классу 2, по сопротивлению торцовому сжатию в середине листа он удовлетворяет требованиям стандарта для марки T25, но с лицевой и приводной части гофроагрегата – лишь для марки T24. Наблюдаемый разброс качественных показателей гофрированного картона по ширине полотна обусловлен более низкими значениями массы 1 м², сопротивления продавливанию и разрушающего усилия при сжатии кольца с приводной стороны у рулонов флутинга и картона-лайнера, поступающего на клеильную машину.

Кроме того, более низкие значения разрушающего усилия при сжатии кольца на лицевой стороне, по сравнению с серединой полотна, у обоих плоских слоев привели в той же точке к снижению значения сопротивления торцовому сжатию гофрированного картона.

Таблица 5.6

Изменение стандартных показателей исходных компонентов и гофрированного картона по ширине полотна (пример 2)

Характеристики	Точки по ширине рулона		
	1	2	3
Бумага для гофрирования			
Масса 1 м ² , г	128	122	113
Сопротивление продавливанию, кПа	360	313	265
Сопротивление плоскостному сжатию, Н	265	263	224
Сопротивление торцовому сжатию, кН/м	1,78	1,67	1,43
Картон для плоских слоев (с гофромашины)			
Масса 1 м ² , г	146	150	149
Сопротивление продавливанию, кПа	521	589	607
Разрушающее усилие при сжатии кольца, Н	254	292	302
Картон для плоских слоев (с клеильной машины)			
Масса 1 м ² , г	145	145	139
Сопротивление продавливанию, кПа	554	583	477
Разрушающее усилие при сжатии кольца, Н	289	300	242
Гофрированный картон			
Сопротивление продавливанию, МПа	1,31	1,31	1,25
Сопротивление торцовому сжатию, кН/м	5,0	5,4	4,7

Наблюдаемая нестабильность свойств картона-лайнера и флютинга по ширине рулонов в совокупности с действующей системой контроля их качества, когда усредненные характеристики тамбура фактически переносятся на девять отдельных рулонов, может привести к несоответствию между предполагаемым (по маркировке) и реальным уровнем свойств материалов, из которых производится гофрированный картон. В ходе детального обследования технологической линии по производству гофрокартона, о котором говорилось выше, проводили усиленный входной контроль качества поступающих компонентов, включающий всесторонние физико-механические испытания. Полученные значения показателей сравнивали со значениями, отраженными на маркировке. Всего провели 31 сравнение.

В результате выявлено, что марка бумаги для гофрирования не соответствовала предполагаемой в одиннадцати, картона, поступающего на гофрировальную машину – в восемнадцати и картона, поступающего на клеильную машину – в двадцати трех случаях. Причем в подавляющем большинстве случаев реальное качество материалов оказалось ниже (табл. 5.7).

Таблица 5.7

Сравнение значений показателей качества и марок картона, отобранного с наката КДМ и с рулонов, поступающих на клеильную машину

Вариант	Место отбора пробы	Показатели				Марка
		масса 1м ² , г	П, кПа	впитываемость, г	разрушающее усилие при сжатии кольца, Н	
1	КДМ	143	660	19	275	К-0
	Цех ГТ	147	560	19	256	К-1
2	КДМ	149	600	21	290	К-1
	Цех ГТ	147	550	23	235	К-1
3	КДМ	150	620	21	225	КВС
	Цех ГТ	144	625	17	248	К-0
4	КДМ	150	620	22	280	К-0
	Цех ГТ	151	630	19	270	К-0
5	КДМ	150	620	22	280	К-0
	Цех ГТ	151	560	15	245	К-1
6	КДМ	144	640	23	230	К-0
	Цех ГТ	150	600	18	262	К-1
7	КДМ	150	—	—	—	К-0
	Цех ГТ	147	600	19	277	К-1
8	КДМ	150	600	23	235	К-1
	Цех ГТ	146	640	22	248	К-0
9	КДМ	150	660	23	275	К-0
	Цех ГТ	146	640	22	248	К-1
10	КДМ	146	610	20	230	К-1
	Цех ГТ	152	560	16	250	К-1
11	КДМ	150	540	21	250	К-1
	Цех ГТ	152	570	21	260	К-1
12	КДМ	150	540	21	250	К-1
	Цех ГТ	151	550	16	260	К-1
13	КДМ	150	540	21	290	К-1
	Цех ГТ	148	520	19	236	К-1
14	КДМ	150	520	23	280	К-1
	Цех ГТ	146	500	21	290	К-2
15	КДМ	150	700	24	300	КВС
	Цех ГТ	144	600	19	287	К-1
16	КДМ	150	530	20	270	К-1
	Цех ГТ	149	490	21	262	—
17	КДМ	150	520	24	270	К-1
	Цех ГТ	146	460	20	275	—

Вариант	Место отбора пробы	Показатели				Марка
		масса 1м ² , г	П, кПа	впитываемость, г	разрушающее усилие при сжатии кольца, Н	
18	КДМ	150	650	21	290	К-0
	Цех ГТ	153	640	18	295	К-0
19	КДМ	150	700	19	270	КВС
	Цех ГТ	143	540	21	278	К-1
20	КДМ	150	650	22	260	К-0
	Цех ГТ	147	570	19	273	К-1
21	КДМ	150	730	25	300	КВС
	Цех ГТ	150	590	16	270	К-1
22	КДМ	150	690	22	280	КВС
	Цех ГТ	150	620	21	285	К-1
23	КДМ	150	650	22	280	К-0
	Цех ГТ	150	610	23	270	К-1
24	КДМ	149	650	23	285	К-0
	Цех ГТ	149	530	21	280	К-1
25	КДМ	147	580	21	270	К-1
	Цех ГТ	150	530	16	242	К-1
26	КДМ	146	570	18	270	К-1
	Цех ГТ	150	550	21	224	К-1
27	КДМ	150	720	25	300	КВС
	Цех ГТ	153	580	19	275	К-1
28	КДМ	150	720	25	300	КВС
	Цех ГТ	152	620	17	300	К-1
29	КДМ	150	720	25	300	КВС
	Цех ГТ	149	570	20	280	К-1
30	КДМ	150	660	23	285	К-0
	Цех ГТ	152	530	20	285	К-1
31	КДМ	146	570	18	270	К-1
	Цех ГТ	145	500	21	230	—

По нашему мнению, причины, вызывающие периодические проблемы с качеством картона-лайнера, флутинга, гофрированного картона и тары, в большинстве случаев можно отнести к объективно неизбежным и вынужденным.

Во-первых, это сравнительно небольшие объемы заказов и одновременно широкий ассортимент продукции, что не позволяет четко планировать портфель заказов на длительную перспективу и вызывает необходимость частой перенастройки оборудования и регулирования технологических параметров.

Во-вторых, сохранение различий в требованиях к обеспечению качества крафт-лайнера и флутинга, с одной стороны, направляемых

непосредственно потребителям и прежде всего на экспорт, а с другой стороны, перерабатываемых в цехе по производству гофротары.

В-третьих, нестабильность свойств и объемов партий древесного сырья и вспомогательных материалов.

В-четвертых, необходимость реконструкции и замены физически и морально устаревшего оборудования.

В-пятых, отсутствие оперативной компьютеризированной системы статистического учета качества продукции на основе современных принципов управления качеством, которая позволяла бы накапливать и быстро получать информацию за любые периоды времени.

Наиболее быстрым и действенным способом обеспечения качества гофрированного картона и гофротары является увеличение частоты контроля на всех стадиях производства, включая испытания ящиков. Для достижения максимального эффекта в этом случае необходимо значительное увеличение численности контролеров и (или) приобретение и внедрение современного контрольно-измерительного и лабораторного оборудования, например, автоматических и полуавтоматических систем оперативного контроля качества европейских фирм *Lorentzen & Wettre*, *Messmer Buchel* и др.

Связь деформационных характеристик компонентов гофрированного картона с его физико-механическими свойствами

Потребительские свойства гофрированного картона и ящиков зависят, прежде всего, от вида и совокупности свойств исходных материалов. Это обстоятельство не подлежит сомнению, однако вопрос о том, какие именно свойства бумаги и картона и характеризующие их показатели должны приниматься во внимание, в мировой практике решается не однозначно.

Проведенный нами анализ международных и региональных систем стандартов и изучение опыта работы с зарубежными партнерами ОАО "Архангельский ЦБК" позволили сделать вывод о значительных отличиях в подходах к оценке качества картона-лайнера и флутинга,

особенно по сравнению с требованиями отечественных стандартов. Судить об этих различиях можно из *табл. 5.8*.

Таблица 5.8

Сравнение методов оценки качества компонентов для производства гофрированного картона

Показатели механической прочности и жесткости картона-лайнера и бумаги для гофрирования	ГОСТ	ISO	SCAN	DIN	TAPPI
Сопротивление продавливанию	13525,8	2758	P 24	53141	T 403
CCT	20682		P 42		T 824
CMT	20682	7263	P 27	53143	T 809
RCT	10711		P 34	53134	T 818
					T 822
SCT		9895	P 46	54518	T 826
Сопротивление раздиранию		1974	P 11	53128	T 414
Сопротивление разрыву	13525,1	1924/2	P 38	53112	T 494
Жесткость при растяжении		1924/2	P 38	53112	T 494
Жесткость при изгибе:					
статический метод		2493	P 29	53121	
резонансный метод		5629	P 64	53123	T 535

Механическая прочность картона-лайнера и бумаги для гофрирования является решающим фактором, определяющим их способность к переработке на гофроагрегате и последующие потребительские свойства тары из гофрированного картона. Поведение материалов при механическом воздействии складывается из способности к деформированию (жесткости при растяжении и изгибе, вязкоупругих свойств, устойчивости и т.д.) и прочности. Мнение о том, что способность к деформированию и прочность одинаково важны для оценки качества картона-лайнера и флютинга и для удовлетворения запросов потребителей, высказывается во многих литературных источниках.

Гофрированный картон при эксплуатации часто подвергается воздействию изгибающих нагрузок. При изгибе в машинном и поперечном направлениях у плоских слоев на выпуклой стороне возникают усилия растяжения, а на вогнутой стороне – усилия сжатия. При изгибе в поперечном направлении усилия возникают также и в гофрированном слое. Таким образом, сопротивление сжатию готового гофроящика зависит

от жесткости при изгибе гофрированного картона, которая, в свою очередь, зависит от жесткости при растяжении картона-лайнера, а также флютинга в поперечном направлении. Тот факт, что для различных видов плоских или гофрированных слоев значения жесткости при растяжении различны, необходимо учитывать при подборе компонентов бумажной массы в производстве бумаги и картона.

Данные, приведенные в табл. 5.8, показывают, что методы определения жесткости при растяжении и изгибе стандартизованы в большинстве рассматриваемых систем, хотя и не получили пока широкого распространения в практике оценки качества компонентов гофрированного картона. В нашей стране вопрос об их применении остается открытым.

В настоящее время можно выделить две основные концепции, характеризующие взаимосвязь между свойствами картона-лайнера и флютинга и свойствами гофрированного картона, которые, в свою очередь, определяют эксплуатационные характеристики ящиков и другой тарной продукции. В обоих случаях конечной целью является достижение оптимальных значений показателя сопротивления сжатию ящика из гофрированного картона, обозначаемого обычно *BCT* (*box compression strength test*). Значение *BCT* является непосредственным показателем прочности и жесткости картонных упаковок при сжатии и определяет потенциальные эксплуатационные характеристики коробок при их штабелировании, хранении и транспортировании.

В первом из рассматриваемых случаев принимается, что величина *BCT* ящика обусловлена сопротивлением торцовому сжатию гофрированного картона – *ECT* (*edgewise crush test*), а последнее – сопротивлением сжатию исходных компонентов. При этом в качестве характеристик сопротивления сжатию флютинга и картона-лайнера могут быть использованы различные показатели и методы измерений. Например, проанализированные выше *RCT* (*ring crush test*) – разрушающее усилие при сжатии кольца картона-лайнера в поперечном направлении, *CCT* (*corrugated crush test*) – сопротивление

торцовому сжатию гофрированного образца бумаги, *SCT* (*short span compression test*) — сопротивление торцовому сжатию короткого участка образца картона-лайнера или флутинга, а также некоторые другие.

Согласно второму подходу, величина *BCT* ящика зависит, прежде всего, от упругих свойств гофрированного картона и его компонентов, так как при эксплуатации тара из гофрокартона подвергается воздействию сжимающих, растягивающих и изгибающих нагрузок. В оптимальном случае сопротивление упаковки указанным нагрузкам должно происходить в упругой области деформирования. Поэтому в качестве показателей, характеризующих упругие свойства материалов, во втором случае приняты жесткость при изгибе гофрокартона в машинном и поперечном направлении Sb_{MD} , Sb_{CD} (*bending stiffness*) и жесткость при растяжении флутинга и картона-лайнера в машинном и поперечном направлении St_{MD} , St_{CD} (*tensile stiffness*). В основе измерения жесткости при изгибе и жесткости при растяжении лежит определение модуля упругости материалов, являющегося интегральной характеристикой структуры и деформационных свойств.

Указанные концепции в настоящее время получили распространение в мировой практике производства гофрированного картона. Причем в некоторых случаях при оценке качества применяются показатели, используемые для оптимизации *BCT* как в первом, так и во втором подходе. Например, в системе стандартов *SCAN* предусмотрено использование наряду с общепринятыми характеристиками (сопротивление продавливанию, *BCT*, *RCT*, *SCT*, *CCT* и др.) показателя жесткости при изгибе гофрированного картона. В то же время в комплексе стандартов Европейской федерации производителей гофрокартона (*FEFCO*) показатели жесткости пока отсутствуют.

Для измерения показателей жесткости при растяжении и жесткости при изгибе разработаны специальные приборы, которые уже применяются на некоторых зарубежных предприятиях-производителях картона-лайнера,

флютинга и гофрированного картона. Особенно часто используются приборы упоминавшихся выше фирм *Lorentzen & Wettre* и *Messmer Buchel*. В основу измерения жесткости при изгибе гофрированного картона заложен метод четырехточечного приложения нагрузки, а для исходных компонентов используют статический метод при приложении нагрузки в одной точке или ультразвуковой метод.

В отечественных стандартах на рассматриваемые виды продукции в какой-то мере реализован первый из указанных выше подходов. Сопротивление сжатию картона-лайнера характеризуется показателем RCT , способность флютинга сопротивляться сжимающим усилиям вдоль гофров – показателем CCT , а сопротивление торцовому сжатию гофрокартона – величиной ECT , измеряемой по методу *FEFCO*. Помимо указанных, для всех материалов стандартной характеристикой прочности является сопротивление продавливанию. Применение деформационных характеристик для оценки качества тарного картона, как отмечено выше, не предусмотрено, следовательно, не решаются проблемы их стандартизации, разработки методик измерений и приборов.

В разделе 5.6 приведены результаты исследований по выявлению наличия парных взаимосвязей между стандартными показателями качества гофрированного картона и упругими характеристиками его компонентов. Некоторые зависимости между показателями $P_{ск}$ и ECT гофрокартона и упругими характеристиками его компонентов, иллюстрирующие полученные результаты, приведены на рис. 5.29...5.33 (точками показаны экспериментальные значения, линии построены по уравнениям регрессии). Адекватность уравнений регрессии оценивали по критерию Фишера. Во всех представленных случаях расчетные уравнения адекватно описывают экспериментальные данные, и зависимости носят линейный характер.

Уравнение связи между сопротивлением продавливанию гофрированного картона и средним модулем упругости двух слоев картона-лайнера в машинном направлении имеет вид:

$$\Pi_{\text{ЭК}} = 0,191 \times 10^{-3} E_1 + 0,230 . \quad (5.1)$$

Коэффициент парной корреляции $r = 0,78$, средняя относительная погрешность аппроксимации составила $\Delta_c = 5,3 \%$ (см. рис. 5.29).

Уравнение связи между сопротивлением продавливанию трехслойного гофрированного картона и средней жесткостью при изгибе всех его компонентов в машинном направлении имеет вид

$$\Pi_{\text{ЭК}} = 0,865 \times 10^{-3} EI + 0,609 , r = 0,78, \Delta_c = 4,6 \%. \quad (5.2)$$

В графическом виде зависимость показана на рис. 5.30. Взаимосвязь между сопротивлением торцовому сжатию гофрированного картона и модулем упругости флютинга в поперечном направлении может быть представлена в виде уравнения

$$ECT = 0,663 \times 10^{-3} E_{16r} + 2,486 , r = 0,82 , \Delta_c = 4,1 \%. \quad (5.3)$$

В графическом виде зависимость показана на рис. 5.31. Взаимосвязь между сопротивлением торцовому сжатию гофрированного картона и жесткостью при изгибе флютинга в поперечном направлении имеет вид:

$$ECT = 5,96 \times 10^{-3} E_{16r} + 3,36 , r = 0,80, \Delta_c = 3,3 \%. \quad (5.4)$$

Экспериментальные точки и линия регрессии показаны на рис. 5.32.

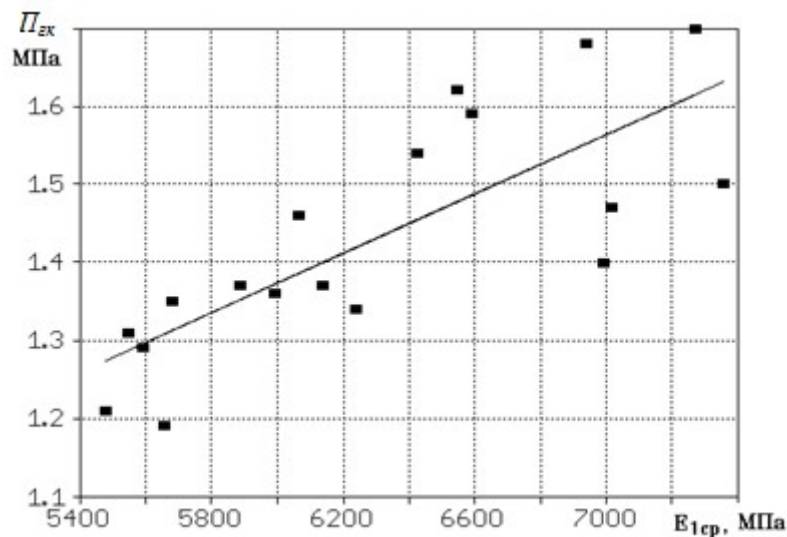


Рис. 5.29. Зависимость сопротивления продавливанию гофрированного картона от среднего модуля упругости двух плоских слоев

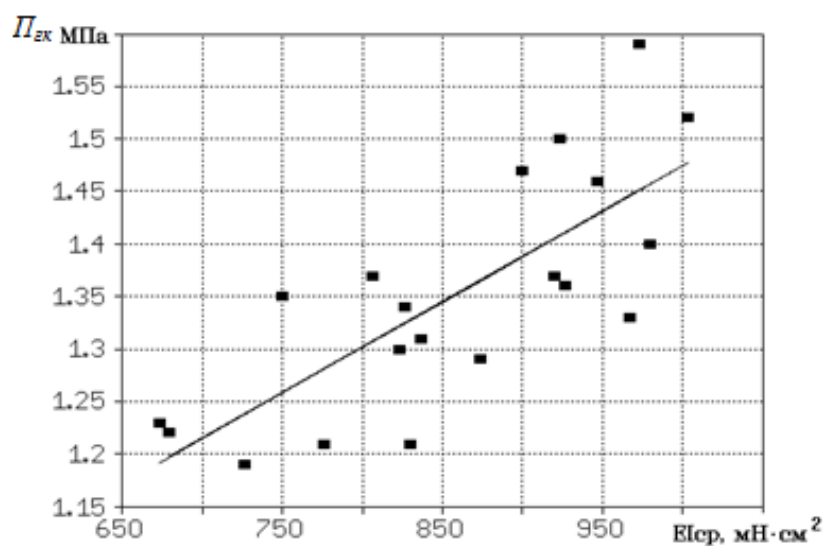


Рис. 5.30. Зависимость сопротивления продавливанию гофрированного картона от средней жесткости при изгибе плоских и гофрированных слоев

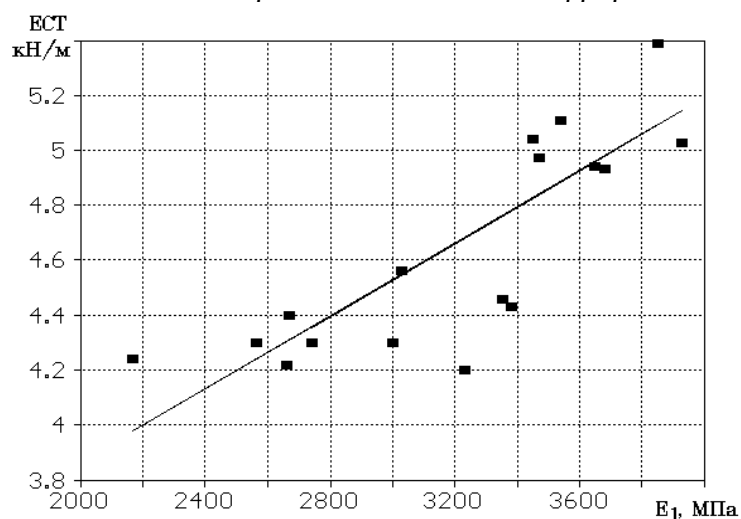


Рис. 5.31. Зависимость сопротивления торцовому сжатию гофрированного картона от начального модуля упругости бумаги для гофрирования

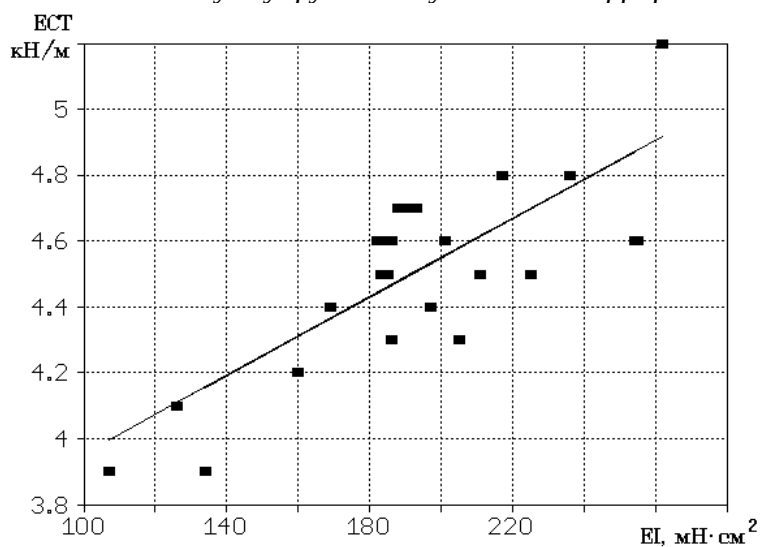


Рис. 5.32. Зависимость сопротивления торцовому сжатию гофрированного картона от жесткости при изгибе бумаги для гофрирования

Для иллюстрации двух последних зависимостей модуль упругости и жесткость при изгибе были не случайно выбраны в поперечном направлении, поскольку при определении значения ЕСТ нагрузка прилагается вдоль гофров, т. е. флутинг расположен в направлении, перпендикулярном машинному.

Результаты проведенных исследований позволяют говорить о том, что показатели качества гофрированного картона, используемые в отечественном стандарте, обнаруживают достаточно тесную взаимосвязь с характеристиками упругих свойств картона-лайнера и флутинга. Принимая во внимание, что сопротивление торцовому сжатию гофрированного картона есть характеристика устойчивости, обуславливающая жесткость тары, а сопротивление продавливанию – комплексная функция прочности на разрыв и растяжимости, полученные зависимости представляются закономерными.

Следовательно, это обстоятельство необходимо учитывать при прогнозировании жесткости гофрированного картона и тары и при оптимизации их свойств. В основу при этом могут быть заложены испытания исходных компонентов на изгиб с определением жесткости при изгибе и на растяжение с определением модуля упругости и других характеристик деформативности, получаемых при обработке зависимости «напряжение-деформация».

Эмпирические модели для прогнозирования жесткости гофрированного картона

Главной задачей исследований, обсуждаемых в данном разделе, было получение эмпирических математических моделей для прогнозирования жесткости гофрированного картона с использованием как традиционных характеристик качества исходных компонентов, так и характеристик деформативности. Попытка прогнозирования качества гофрированного картона в данном случае является однокритериальной, т.е. направленной на важнейшие качественные характеристики продукции.

Для гофрированного картона – это сопротивление торцовому сжатию как безальтернативная характеристика жесткости в отечественной практике. Уровень *ECT* априори во многом определяет уровень сопротивления сжатию ящиков из гофрированного картона. Кроме того, *BCT* зависит от геометрии конкретного типоразмера ящика и наличия вспомогательных комплектующих элементов.

В основу многофакторного регрессионного анализа положены результаты определения стандартных характеристик качества и характеристик деформативности бумаги для гофрирования (*БГ*) и картона для плоских слоев, поступающего на гофрировальную (*ГМ*) и клеильную (*КМ*) машины, линии по производству гофрированного картона.

Следует подчеркнуть, что процесс отбора проб осуществлялся без какого-либо вмешательства в систему производства гофротары, и поэтому полученный набор данных обусловлен производственной программой предприятия в соответствующий период, который характеризовался сравнительно небольшими объемами заказов и широким ассортиментом выпускаемых ящиков. В то же время это позволило сформировать всю выборку случайным образом и достаточно широко представить возможные варианты комбинаций картона-лайнера и флютинга в составе гофрированного картона.

Анализ экспериментальных данных показал, что сопротивление торцовому сжатию гофрированного картона во всей полученной выборке варьируется в диапазоне от 3,9 до 5,4 кН/м, а применительно к наиболее часто встречающейся комбинации масс 1 м² исходных компонентов (150–125–150) – от 4,0 до 5,2 кН/м. Формальное отличие марок исходных компонентов не всегда приводит к адекватной разнице значений *ECT*. Например, для указанной комбинации масс 1 м² комбинация марок *КО-БО-КО*, дает более высокое значение *ECT* (4,6 кН/м), чем комбинация марок *КО-БО-КВС* (4,2 кН/м). Это обусловлено тем, что отнесение картона-лайнера и флютинга к той или иной марке в соответствии с действующими

стандартами зависит не только от показателей, непосредственно влияющих на *ECT* гофрокартона, но и от других характеристик качества. Более того, в разделе 5.6 было показано, что лимитирующими характеристиками чаще всего являются сопротивление продавливанию у картона-лайнера и сопротивление плоскостному сжатию гофрированного образца у бумаги для гофрирования. При прочих равных условиях (тип гофр, стабильные технологические параметры изготовления и др.) на сопротивление *ECT* трехслойного гофрированного картона преимущественное влияние оказывают свойства двух плоских слоев и гофрированного слоя и толщина гофрокартона.

Сравнение относительного влияния комбинаций масс 1 м^2 исходных компонентов на *ECT* по данным эксперимента показало, что одинаковые значения этой характеристики могут быть получены при различных вариантах. Например, *ECT*, равное 4,6...4,7 кН/м было получено при комбинациях масс 1 м^2 компонентов (г) 150–125–150, 140–125–150 и 150–125–175. Следовательно, стремление к увеличению жесткости гофрированного картона только за счет увеличения массы исходных компонентов не всегда даст желаемый результат.

Для оценки взаимосвязи между комбинациями масс 1 м^2 компонентов и *ECT* гофрокартона был проведен корреляционный анализ. Расчет коэффициента парной корреляции проводили по всему массиву данных для комбинации марок исходных компонентов КО-БО-К1. Для комплексного выражения комбинации марок в каждом конкретном случае был принят расчетный параметр – приведенная масса образца гофрированного картона (M_{np}), который характеризует суммарную массу (г) волокнистых материалов в образце размерами $100 \times 25 \text{ мм}$ с учетом коэффициента гофрирования:

$$M_{np} = 0,1 \times 0,025 \times (M_{зм} + M_{км} + M_{бг} \times k), \quad (5.5)$$

где $M_{зм}$ – масса 1 м² картона с гофрировальной машины, г; $M_{км}$ – масса 1 м² картона с клеильной машины, г; $M_{бз}$ – масса 1 м² бумаги для гофрирования, г; k – коэффициент гофрирования (для гофра В $k = 1,33$).

Расчетные значения $M_{пр}$ изменяются от 1,1 г при комбинации масс 1 м² (150–112–140) до 1,3 при комбинации масс 1 м² компонентов (150–125–200). Значение коэффициента парной корреляции между $M_{пр}$ и сопротивлением $ЕСТ$ составило 0,90, что говорит о достаточно тесной взаимосвязи этих параметров и о возможности использования числового параметра $M_{пр}$ в совокупности с известными характеристиками прочности и деформативности для предварительной оценки значения $ЕСТ$.

С точки зрения прогнозирования $ЕСТ$ гофрокартона принятая в настоящее время классификация картона-лайнера и флутинга по маркам, как показывают полученные экспериментальные данные, не дает возможности получить надежный результат. Приведем лишь один пример. Для комбинации масс 1 м² (150–125–150) в случаях одной комбинации марок (КО-БО-КО) значения показателя разрушающего усилия при сжатии кольца для двух плоских слоев варьировались от 250 до 286 Н и от 258 до 285 Н **соответственно** при минимальной норме RCT для марки **КО** 210 Н. Следовательно, по этому показателю картон-лайнер обоих плоских слоев соответствовал марке КВС и был переведен в норму по качеству вследствие низких значений других характеристик, скорее всего, сопротивления продавливанию. Подобную картину можно наблюдать и в других сочетаниях марок и масс 1 м².

Таким образом, при прогнозировании $ЕСТ$ гофрированного картона не представляется возможным опираться только на условное отнесение исходных материалов к маркам согласно ГОСТ. В лучшем случае, можно обеспечить лишь запас прочности и жесткости, который, в свою очередь, не всегда может быть экономически оправдан.

Выше было показано, что при оценке качества картона-лайнера, флутинга и гофрокартона необходимо учитывать показатели,

характеризующие упругие свойства этих материалов. Прежде всего, речь идет о жесткости при растяжении и изгибе. Жесткость при растяжении определяется в основном значением модуля упругости при растяжении, а жесткость при изгибе зависит от модуля упругости при изгибе и толщины материала. В ходе наших исследований параллельно со стандартными показателями у тех же образцов исходных компонентов для производства гофрокартона были рассчитаны характеристики, полученные при испытаниях на одноточечный изгиб и одноосное статическое растяжение. Испытаниям подвергали образцы исходных компонентов отдельно в машинном и поперечном направлениях.

При компьютерной обработке результатов, полученных при испытаниях на растяжение, кроме модуля упругости вычисляли также ряд других характеристик, позволяющих максимально интерпретировать все области кривой зависимости «напряжение-деформация». Наиболее важными из них с точки зрения поведения исследуемых материалов под нагрузкой как при переработке, так и в составе картонной тары можно считать значения упругой деформации, деформации разрушения и работы разрушения.

Модуль упругости при растяжении в машинном направлении картона, поступающего на оба плоских слоя гофрокартона, в целом изменяется от 3930 до 5520 МПа, т.е. разница составляет около 30 %. Если учесть E_1 только у картона, поступающего на гофромашину, то здесь разница составила только 16 %. Значения E_1 у образцов бумаги для гофрирования в машинном направлении в рассматриваемом случае менее стабильны и изменяются в диапазоне от 3340 до 5520 МПа (разница около 40 %). Сравнение E_1 для различных комбинаций масс и марок картона для плоских слоев в данном случае провести трудно в связи с достаточно большим количеством сочетаний. Такой результат был достаточно ожидаем, если исходить из того, что формирование характеристик жесткости и стандартных характеристик в процессе производства может происходить по разным механизмам.

Жесткость при изгибе компонентов гофрированного картона в машинном направлении изменялась в период проведения экспериментов в широких пределах. Так, у картона-лайнера независимо от места поступления в переработку EI варьировалась от 680 до 1620 мНжм², а у флутинга – от 390 до 560 мНжм², т.е. размах максимального и минимального значения этого показателя составил соответственно 59 и 30 %. Жесткость при изгибе всегда выше у образцов бумаги и картона в машинном направлении, однако в поперечном направлении у всех исходных материалов этот показатель более стабилен.

Сравнение модуля упругости при растяжении как основного фактора, влияющего на жесткость при растяжении, и модуля упругости при изгибе как одного из факторов, определяющего жесткость при изгибе, показывает, что в большинстве случаев E_1 был по значению больше чем $E_{изг}$. Причем более ярко это различие проявляется в поперечном направлении.

Значение упругой составляющей деформации при растяжении в машинном направлении в целом возрастает с увеличением массы 1 м². Упругая деформация для картона-лайнера варьируется в диапазоне от 0,17 до 0,65 % в машинном направлении, и от 0,43 до 1,16 % в поперечном направлении, т.е. изменяется в широких пределах. Применительно к бумаге для гофрирования ϵ_1 изменяется в диапазоне от 0,16 до 0,58 % для машинного направления, и от 0,63 до 1,06 % для поперечного направления. Интересным, с нашей точки зрения, представляется тот факт, что разница значений ϵ_1 образцов картона-лайнера и флутинга, испытанных в машинном и поперечном направлениях, не столь значительна, как у некоторых других видов бумаги и картона, например, у мешочной бумаги. Это можно объяснить особенностями структуры материалов для производства гофрокартона.

Работа разрушения бумаги для гофрирования в машинном направлении меньше, чем у картона для плоских слоев, и варьируется соответственно

от 144 до 261 мДж и от 181 до 374 мДж. Значения A_p исходных компонентов гофрокартона одного состава практически во всех случаях в машинном направлении больше, чем в поперечном. Например, для картона-лайнера A_p изменяется в диапазоне от 181 до 363 мДж у образцов в машинном направлении и от 70 до 256 мДж – в поперечном. Этот факт можно объяснить тем, что в машинном направлении силы сцепления волокон выше вследствие присущей структуре анизотропии, и, следовательно, при относительно небольших различиях значений общей деформации в двух направлениях приложения нагрузки (что было показано выше на примере упругой составляющей) основной вклад в различие значений A_p вносит большая прочность при растяжении образцов, испытанных в машинном направлении.

Попытки прогнозирования ECT гофрокартона предпринимаются давно, и полученные эмпирические модели рекомендуются для использования в производстве для улучшения качества, снижения материалоемкости, уменьшения и оптимизации затрат на производство. Однако чаще всего эти модели разрабатываются для конкретных предприятий, технологий, характеристик, потребителей и т.п.

Наиболее известной аналитической зависимостью для расчета ECT трехслойного гофрокартона является полученное еще в 60-х гг. уравнение

$$ECT = b_1 \times (RCT_1 + RCT_2 + \alpha CCT) + b_0, \quad (5.6)$$

где ECT – сопротивление торцовому сжатию трехслойного гофрированного картона, кН/м; RCT_1 , RCT_2 – разрушающее усилие при сжатии кольца первого и второго плоского слоя, кН/м; CCT – сопротивление торцовому сжатию бумаги для гофрирования, кН/м; α — коэффициент, определяющий несущую способность гофров данного профиля или коэффициент гофрирования; b_1 – ; b_0 – .

На основе полученных экспериментальных данных оценена возможность использования данной модели применительно к конкретной технологии производства гофрированного картона на Архангельском ЦБК. Эмпирическое уравнение регрессии имеет вид:

$$ECT = 0,69 \times (RCT_1 + RCT_2 + 1,33 \times CCT) + 0,94. \quad (5.7)$$

Коэффициент парной линейной корреляции между ECT , рассчитанным по уравнению (5.10) и экспериментальным составил 0,81 что существенно ниже данных, приводимых в литературе (0,9...0,98). Следовательно, непосредственное применение данной модели в условиях Архангельского ЦБК не может обеспечить достаточной точности прогнозирования сопротивления сжатию гофрированного картона, и необходим поиск других зависимостей.

Для получения новых моделей для расчета ECT гофрированного картона по известным свойствам компонентов использовали многоуровневый статистический регрессионный анализ.

На первом этапе рассчитывали коэффициенты парной корреляции между ECT и принятыми характеристиками свойств картона-лайнера и флутинга. Большинство полученных значений коэффициентов парной корреляции не являются значимыми. Этот результат был ожидаем, так как гофрированный картон является сложной системой и его свойства должны определяться совокупностью наиболее важных факторов.

Следующим этапом был множественный корреляционный анализ, в ходе которого оценивали комплексное влияние на ECT двух, трех и четырех различных факторов, а также частные коэффициенты корреляции. Значимость коэффициентов как множественной, так и парной корреляции оценивали стандартным способом при доверительной вероятности 0,95 и числе степеней свободы $N-2$. Все расчеты проводили на специально подготовленном программном модуле в системе электронных таблиц QUATROPRO. Программа позволяет оценивать множественную корреляцию одновременно для двух, трех и четырех факторов.

На последнем этапе получали эмпирические уравнения регрессии между ECT гофрокартона и принятыми для анализа факторами с помощью программы, которая позволяет аппроксимировать экспериментальные данные различными видами уравнений. Для оценки адекватности полученных уравнений реальным экспериментальным данным вычисляли среднюю относительную погрешность аппроксимации (Δ_c) и расчетное значение критерия Фишера, которое сравнивали с табличным. Предваряя приведенные ниже результаты, следует отметить, что в большинстве случаев для характеристики взаимосвязи между ECT гофрокартона и параметрами исходных компонентов достаточно нахождения модели линейного вида.

Приведем наиболее точные, по нашим оценкам, эмпирические модели, связывающие ECT и характеристики свойств картона-лайнера и гофрированного картона. Прежде всего, это уравнение, проверка и использование которого может быть сразу осуществлена на практике, т.е. на основе стандартных характеристик качества исходных компонентов:

$$ECT = 0,41RCT_{2M} - 0,46CCT + 0,15RCT_{KM} + 4,27M_{np} - 2,49 \quad (5.8)$$

Средняя относительная погрешность аппроксимации по отношению к экспериментальным данным составила $\Delta_c = 2,6 \%$. Коэффициент парной корреляции (R_{ect}) между расчетным значением ECT и вычисленным по уравнению (5.8) составил 0,90, и его значение сопоставимо с данными других исследователей.

В уравнение (5.8) наряду с характеристиками торцевой жесткости исходных компонентов входит расчетный параметр M_{np} , использование которого дает меньшую ошибку аппроксимации по сравнению с использованием значения толщины гофрированного картона. В последнем случае уравнение имеет вид:

$$ECT = 0,0036RCT_{2M} + 0,66CCT + 0,0057RCT_{KM} + 1,07T_{2K} - 2,77 \quad (5.9)$$

Средняя относительная погрешность аппроксимации по отношению к экспериментальным данным составила $\Delta_c = 3,2 \%$. Коэффициент парной корреляции $R_{ect} = 0,84$.

Большая точность уравнения (5.8) с использованием в качестве одного из параметров M_{np} объясняется тем, что толщина гофрированного картона в использованной выборке имела размах 5 %, т.е. оставалась практически стабильной, в то время как у M_{np} разница между максимальным и минимальным значением составляла 15 %, так как применялись различные комбинации масс 1 м² картона-лайнера и флутинга. Кроме того, параметр M_{np} можно с большей точностью учесть еще до изготовления гофрокартона. Поэтому и для последующего анализа использовали в основном этот параметр.

В графической форме взаимосвязь между экспериментально полученными и расчетными значениями ECT показана на *рис. 5.33 и 5.34*.

Положение о важности учета деформационных свойств компонентов **при оценке** потребительских свойств гофрокартона нашло дополнительное подтверждение при использовании различных характеристик деформативности в качестве параметров эмпирических уравнений регрессии. Поскольку картон-лайнер и флутинг в составе гофрированного картона и тары из него в основном подвергаются нагрузкам поперек основной оси ориентации волокон, то и значения характеристик деформативности лучше использовать применительно к поперечному направлению картонного (бумажного) полотна.

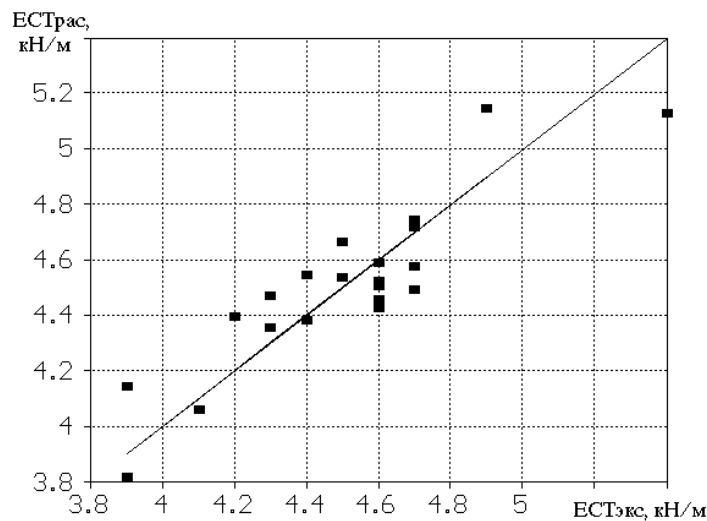


Рис. 5.33. Взаимосвязь между экспериментальными значениями ECT трехслойного гофрокартона и вычисленными по уравнению $ECT = f(RCT_{зм}; CCT; RCT_{км}; M_{пр})$

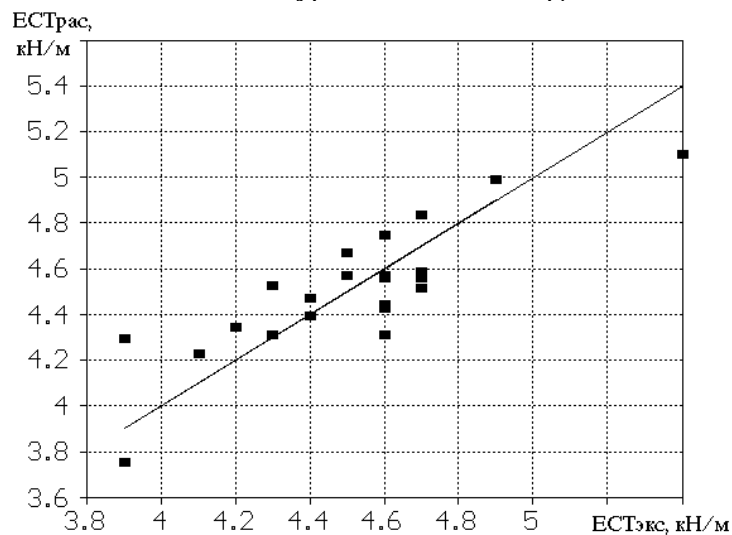


Рис. 5.34. Взаимосвязь между экспериментальными значениями ECT трехслойного гофрокартона и вычисленными по уравнению $ECT = f(RCT_{зм}; CCT; RCT_{км}; T_{зк})$

В результате многофакторного регрессионного анализа по упомянутой выше выборке получены следующие уравнения.

С использованием значений жесткости при изгибе всех компонентов и $M_{пр}$

$$ECT = -0,0005EI_{зм} - 0,0007EI_{км} - 0,0049EI_{бз} + 7,7M_{пр} - 4,22 \quad (5.10)$$

Средняя относительная погрешность аппроксимации по отношению к экспериментальным данным составила $\Delta_c = 3,2 \%$. Коэффициент парной корреляции $R_{ect} = 0,853$. В графической форме взаимосвязь между экспериментально полученными и расчетными значениями ECT представлена на рис. 5.35.

С использованием значений жесткости при изгибе всех компонентов и толщины гофрированного картона

$$ECT = 0,0007EI_{зм} + 0,0014EI_{км} + 0,0013EI_{бз} + 0,03T_{зк} + 3,42 \quad (5.11)$$

($\Delta_c = 3,9$; $R_{ect} = 0,756$; *рис. 5.36*).

С использованием значений начального модуля упругости при растяжении всех компонентов и M_{np} :

$$ECT = 0,0024E_{зм} - 0,0007E_{км} + 0,0014E_{бз} + 0,0179M_{np} - 0,89 \quad (5.12)$$

($\Delta_c = 2,5$; $R_{ect} = 0,914$; *рис. 5.37*).

С использованием значений работы разрушения:

$$ECT = 0,0013A_{рзм} + 0,0011A_{ркм} + 0,0012A_{рбз} + 6,0M_{np} - 3,18 \quad (5.13)$$

($\Delta_c = 3,00$; $R_{ect} = 0,88$; *рис. 5.38*).

С использованием значений упругой деформации при растяжении:

$$ECT = 0,550\varepsilon_{зм} + 0,054\varepsilon_{км} + 0,783\varepsilon_{бз} + 5,69M_{np} - 3,34 \quad (5.14)$$

($\Delta_c = 2,5$; $R_{ect} = 0,911$; *рис. 5.39*).

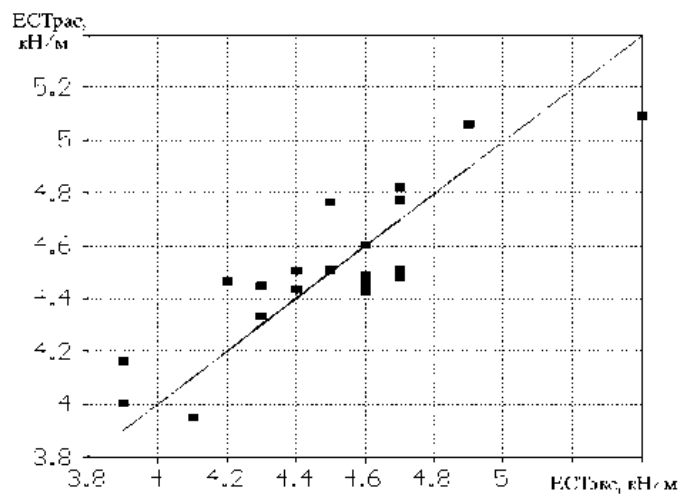


Рис. 5.35. Взаимосвязь между экспериментальными значениями ECT трехслойного гофрокартона и вычисленными по уравнению $ECT = f(EI_{2M}; EI_{KM}; EI_{62}; M_{np})$

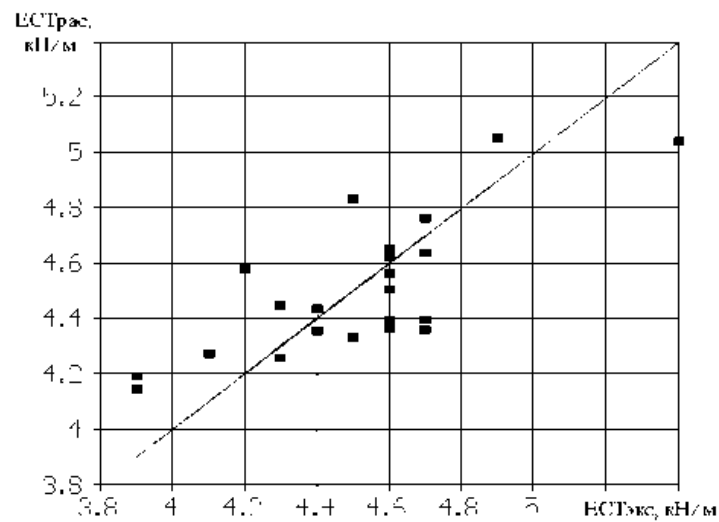


Рис. 5.36. Взаимосвязь между экспериментальными значениями ECT трехслойного гофрокартона и вычисленными по уравнению $ECT = f(EI_{2M}; EI_{KM}; EI_{62}; T_{2K})$

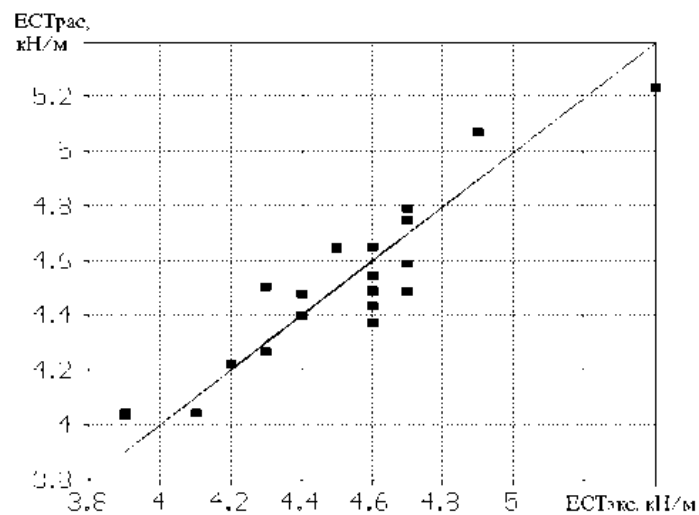
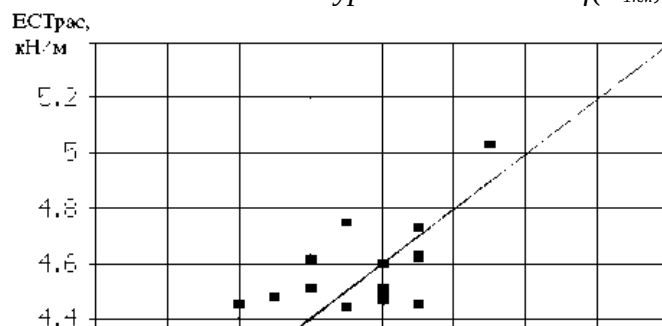


Рис. 5.37. Взаимосвязь между экспериментальными значениями ECT трехслойного гофрокартона и вычисленными по уравнению $ECT = f(E_{1KM}; E_{12M}; E_{162}; M_{np})$



Была предпринята попытка нахождения уравнений регрессии, в которых в качестве переменных параметров сочетались бы, с одной стороны, стандартные характеристики свойств картона-лайнера и флютинга, а с другой – характеристики деформативности.

Расчеты показали, что из всех возможных вариантов адекватно описывают экспериментальные значения ECT только уравнения на основе комбинации характеристик жесткости при изгибе первого и второго плоского слоя и сопротивления торцовому сжатию гофрированного слоя в сочетании с M_{np} или толщиной гофрированного картона

$$ECT = -0,0004EI_{зм} - 0,0001EI_{км} + 0,51CCT + 5,54M_{np} - 2,90 \quad (5.15)$$

($\Delta_c = 2,8$; $R_{ect} = 0,876$; *рис. 5.40*);

$$ECT = 0,0004EI_{зм} + 0,0013EI_{км} + 0,85CCT - 0,032T_{зк} + 2,26, \quad (5.16)$$

($\Delta_c = 3,1$; $R_{ect} = 0,84$; *рис. 5.41*).

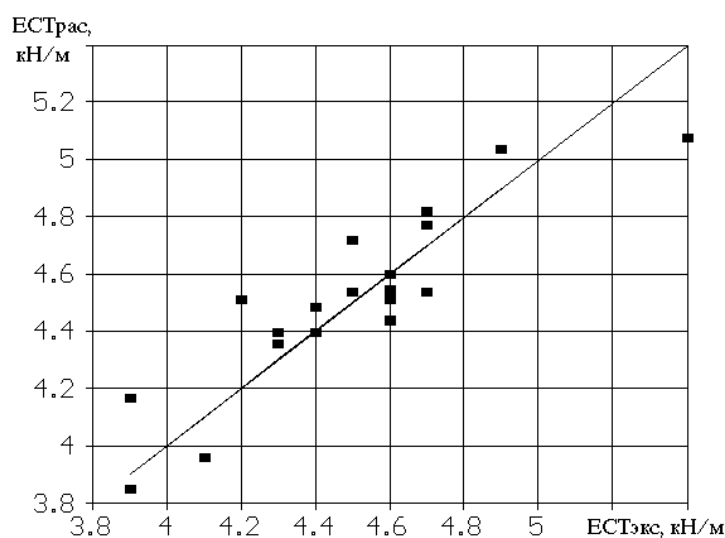


Рис. 5.40. Взаимосвязь между экспериментальными значениями ECT трехслойного гофрокартона и вычисленными по уравнению $ECT = f(EI_{зм}; EI_{км}; CCT; M_{np})$

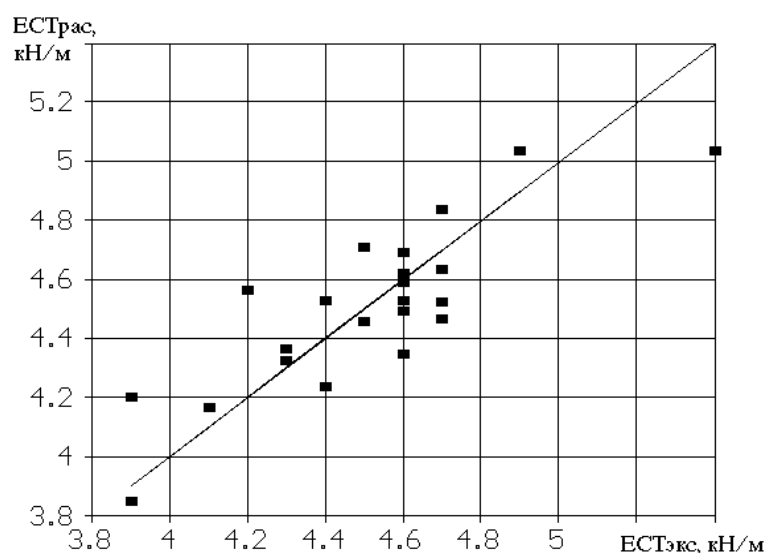


Рис. 5.41. Взаимосвязь между экспериментальными значениями ECT трехслойного гофрокартона и вычисленными по уравнению $ECT = f(EI_{зм}; EI_{км}; CCT; T_{зк})$

Таким образом, получены эмпирические уравнения, которые показывают, что наряду с общепринятыми показателями качества картона для плоских слоев и бумаги для гофрирования для предварительной оценки сопротивления торцовому сжатию гофрокартона могут быть использованы характеристики упругости и деформативности, получаемые при испытаниях на изгиб и растяжение.

Оценка сопротивления сжатию ящиков из гофрированного картона

На сопротивление сжатию ящиков влияет еще большее количество факторов по сравнению с промежуточным продуктом – гофрированным картоном. Такими факторами являются:

- свойства исходных компонентов (картона-лайнера и флутинга);
- тип и свойства гофрированного картона, прежде всего, тип гофр, толщина, ECT , жесткость при изгибе;
- геометрические размеры ящиков и дефекты, возникающие при их изготовлении.

Следовательно, при прогнозировании и оптимизации BCT необходим комплексный учет важнейших влияющих факторов во всей системе производства тары. Основная проблема при разработке эмпирических моделей статистическими методами заключается в правильном выборе

влияющих параметров, поскольку внутри системы между отдельными факторами наблюдаются прямые и достаточно тесные взаимосвязи. Речь идет, прежде всего, о том, что свойства исходных материалов напрямую обуславливают сопротивление торцовому сжатию гофрокартона, которое, в свою очередь, непосредственно влияет на BCT ящиков. Поэтому объединение в одной модели и свойств исходных материалов (RCT , CCT), и сопротивления торцовому сжатию ECT , по нашему мнению, практически невозможно. В процессе нахождения поиска эмпирических зависимостей это предположение полностью подтвердилось. В результате разработка моделей для прогнозирования сопротивления сжатию ящиков может строиться либо на использовании в качестве основного параметра ECT гофрокартона, либо на использовании характеристик прочности и жесткости исходных компонентов. Дополнительными независимыми параметрами могут служить толщина и масса гофрированного картона (или их производные) и геометрические размеры – длина, ширина, высота ящика.

Следует отметить, что для расчета BCT чаще используют модели первого типа, наиболее известной из которых является

$$BCT = 17,7 ECT^{1,06} T_{зк}^{0,85} (L + B)^{0,31}, \quad (5.17)$$

где $T_{зк}$ – толщина гофрированного картона, мм; L – длина ящика, мм;

B – ширина ящика, мм.

Как и в случае с гофрированным картоном, нами была проведена проверка работоспособности уравнения (5.17) применительно к технологии изготовления тары ОАО "Архангельский ЦБК" с использованием полученных экспериментальных данных. Различие расчетных ($BCT_{рас}$) и экспериментальных ($BCT_{экс}$) значений BCT оценивали при помощи коэффициента парной корреляции (R_{bct}). Оценку применимости формулы провели для четырнадцати различных типов ящиков (№№ 4, 13, 19, 21, 22, 23, 26, 28, 34, 38, 39, 40, 52, 59). Кроме того, отдельно проводили анализ применительно к ящику № 4, как наиболее часто встречающемуся в исследуемой выборке.

Расчеты показали, что в обоих случаях теснота связи низкая. Для выборки, содержащей все типы ящиков $R_{bct} = 0,48$, для ящика № 4 – $R_{bct} = 0,35$, в то время как по литературным данным, $R_{bct} = 0,90$. Следовательно, использование уравнение (5.17) не может обеспечить достаточную точность предварительной оценки сопротивления сжатию ящиков из гофрированного картона применительно к конкретной технологии производства. По-видимому, существует возможность уточнения коэффициентов регрессии данной модели или ее вида на основе более представительной выборки. Однако для этого необходимо проведение широкого эксперимента, связанного со значительными затратами.

Как отмечено выше, значение BCT является непосредственным показателем прочности и жесткости картонной гофрированной тары при сжатии. BCT определяет эксплуатационные характеристики ящиков при их штабелировании, хранении и транспортировке, особенно для тары, в которую упаковывают продукцию, не способную воспринимать внешние нагрузки. Действующий ГОСТ 9142–90 рекомендует для прогнозирования BCT ящиков использовать известное значение ECT гофрированного картона и расчетный коэффициент k_1 , учитывающий геометрические размеры ящиков

$$k_1 = \left(\frac{F}{L} + \frac{l}{b} + \frac{b}{h} \right), \quad (5.18)$$

где F – площадь основания ящика, равная $(l \times b)$, см²; L – периметр ящика, равный $2(l+b)$, см; l, b, h – внутренние размеры ящика, см.

С целью проверки рекомендуемого метода оценки BCT и для уточнения основных характеристик, влияющих на сопротивление ящиков сжатию, с использованием полученных экспериментальных данных рассчитывали коэффициент k_1 . Зная k_1 и ECT гофрокартона, по Приложению 3 ГОСТ 9142–90 определяли интервал изменения значения BCT .

Сравнительный анализ оцененных значений BCT и $BCT_{экс}$ показал, что только в шести случаях из тридцати измеренное значение сопротивления ящиков сжатию попадает в расчетный интервал. В остальных случаях $BCT_{экс}$

оказывается намного ниже, чем то, что приводится в Приложении 3 ГОСТ 9142–90 при соответствующих значениях ECT гофрокартона и коэффициента k_L . Более того, значения BCT для ящика № 4, имеющего постоянный коэффициент k_L , варьируются в очень широких пределах. Таким образом, полученные результаты показывают, что достаточно точная предварительная оценка сопротивления сжатию ящиков из гофрированного картона согласно рекомендации ГОСТ вряд ли возможна.

Для определения ожидаемой (расчетной) прочности ящиков при сжатии предложено уравнение

$$BCT_{рас} = 7,35 F / (L \cdot ECT) \quad (5.19)$$

Найдено, что наблюдается прямая зависимость между BCT и отношением F/L , которое представляет коэффициент формы ящика. Нами был рассчитан коэффициент парной корреляции между $BCT_{экс}$ и коэффициентом формы ящика. В целом зависимость действительно просматривается, однако при одном и том же значении F/L , например, для ящика № 4, $BCT_{экс}$ изменяется в самых широких пределах. Поэтому можно сделать важный вывод о необходимости учета влияния на сопротивление сжатию ящиков не столько ECT гофрокартона, сколько характеристик свойств исходных компонентов. Кроме того, расчет коэффициента корреляции R_{bct} между $BCT_{экс}$ и $BCT_{рас}$, определенным по уравнению (5.19), показал невысокую сходимость этих параметров ($R_{bct} = 0,52$).

Принимая во внимание недостаточно удовлетворительные результаты, полученные с использованием уравнений (5.10...5.18), в качестве независимых параметров при разработке более точных моделей для прогнозирования BCT были приняты те же характеристики, что и в случае гофрированного картона, т.е. стандартные и деформационные показатели исходных компонентов и толщина или приведенная масса гофрокартона. Все зависимости получены для ящика одного типа (№ 4),

что позволило исключить из числа влияющих на BCT параметров геометрические размеры тары.

В отличие от уравнений регрессии для гофрированного картона, применительно к BCT ящика меньшую ошибку аппроксимации дает использование в качестве одного из факторов не приведенной массы, а толщины гофрокартона. Ниже приводятся основные полученные уравнения.

Прежде всего, это уравнение на основе стандартных характеристик качества исходных компонентов:

$$BCT = 7,8RCT_{2M} + 1669CCT - 7,4RCT_{KM} - 1037T_{2K} + 1960. \quad (5.20)$$

Средняя относительная погрешность аппроксимации по отношению к экспериментальным данным составила $\Delta_c = 1,6 \%$, коэффициент парной корреляции между экспериментальными данными и рассчитанными по уравнению (5.20) значениями сопротивления сжатию $R_{bct} = 0,84$, что свидетельствует о практически полной сходимости расчетных и экспериментальных данных. На рис. 5.42 это представлено в графической форме.

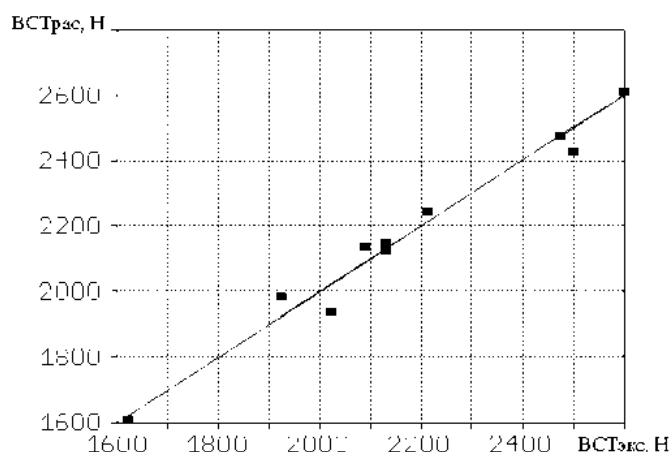


Рис. 5.42. Взаимосвязь между экспериментальными значениями BCT ящика из гофрокартона и вычисленными по уравнению $BCT = f(RCT_{2M}; RCT_{KM}; CCT; T_{2K})$

Уравнения, характеризующие множественную связь между BCT и некоторыми характеристиками деформативности картона для плоских слоев и бумаги для гофрирования и показывающие возможность применения этих показателей для предварительной оценки BCT ящика, представлены ниже.

С использованием значений начального модуля упругости при растяжении всех компонентов (рис. 5.43):

$$BCT = 0,18E_{12M} + 0,51E_{1KM} - 0,008E_{162} + 2430T_{2K} - 8356 \quad (5.21)$$

$$(\Delta_c = 5,0; R_{bct} = 0,874).$$

С использованием значений работы разрушения (рис. 5.44):

$$BCT = 4,22A_{p2M} - 0,11A_{pKM} + 11,29A_{p62} - 1089T_{2K} - 3450 \quad (5.22)$$

$$(\Delta_c = 2,2; R_{ect} = 0,978).$$

С использованием значений деформации разрушения при растяжении в поперечном направлении образцов картона-лайнера и флутинга (рис. 5.45):

$$BCT = 441,8\epsilon_{p2M} - 3,1\epsilon_{pKM} + 909,5\epsilon_{p62} - 1166T_{2K} + 2036 \quad (5.23)$$

$$(\Delta_c = 1,4; R_{ect} = 0,990).$$

Также представляют интерес зависимости, показывающие, что для оценки сопротивления сжатию ящика могут быть использованы разные параметры деформативности для плоских и гофрированного слоев. Например, деформативность картона, поступающего в производство гофротары, можно характеризовать работой разрушения, а бумаги для гофрирования – жесткостью при изгибе. Тогда значение ВСТ подчиняется зависимости (рис. 5.46)

$$BCT = 4,42A_{p2M} + 7,25A_{pKM} - 6,54EI_{62} + 754T_{2K} - 888 \quad (5.24)$$

$$(\Delta_c = 4,9; R_{ect} = 0,918).$$

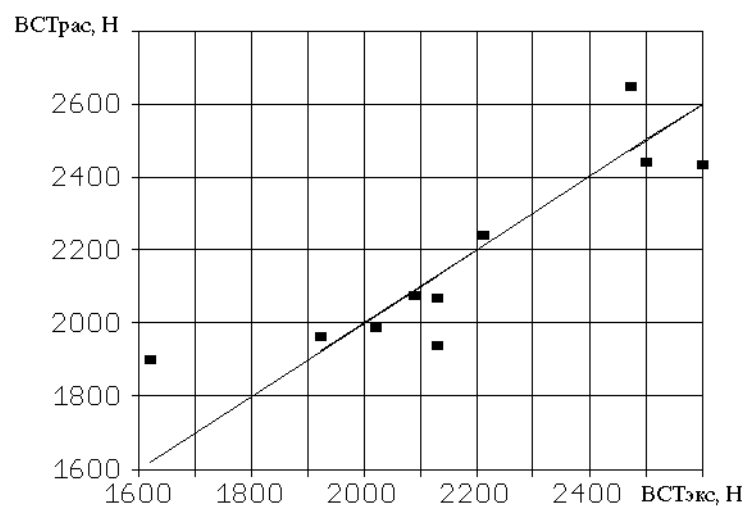


Рис. 5.43. Взаимосвязь между экспериментальными значениями ВСТ ящика из гофрокартона и вычисленными по уравнению $VCT = f(E_{12м}; E_{1км}; E_{16г}; T_{гк})$

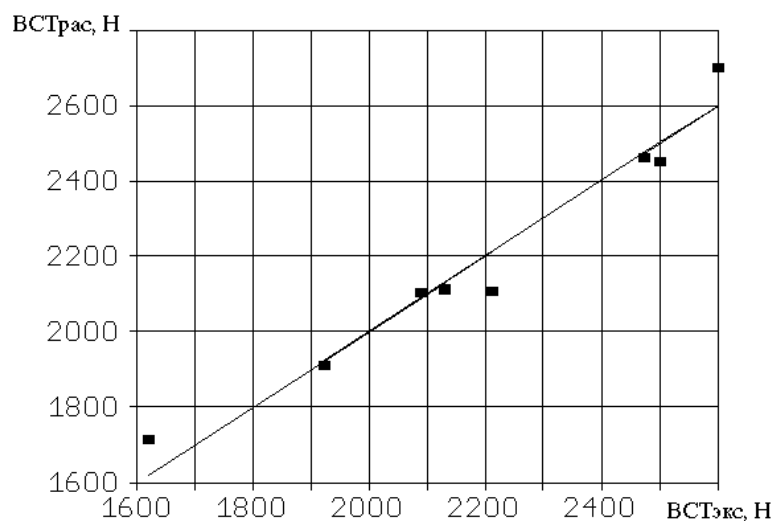


Рис. 5.44. Взаимосвязь между экспериментальными значениями ВСТ ящика из гофрокартона и вычисленными по уравнению $VCT = f(A_{ргм}; A_{ркм}; A_{рбг}; T_{гк})$

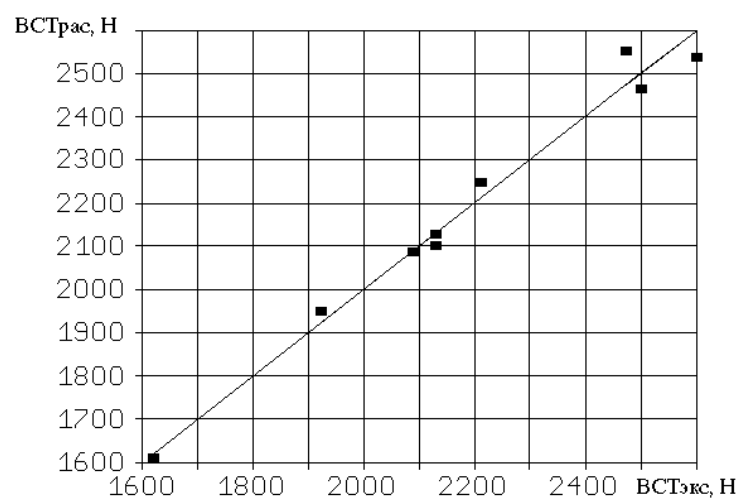


Рис. 5.45. Взаимосвязь между экспериментальными значениями ВСТ ящика из гофрокартона и вычисленными по уравнению $VCT = f(\epsilon_{ргм}; \epsilon_{ркм}; \epsilon_{рбг}; T_{гк})$

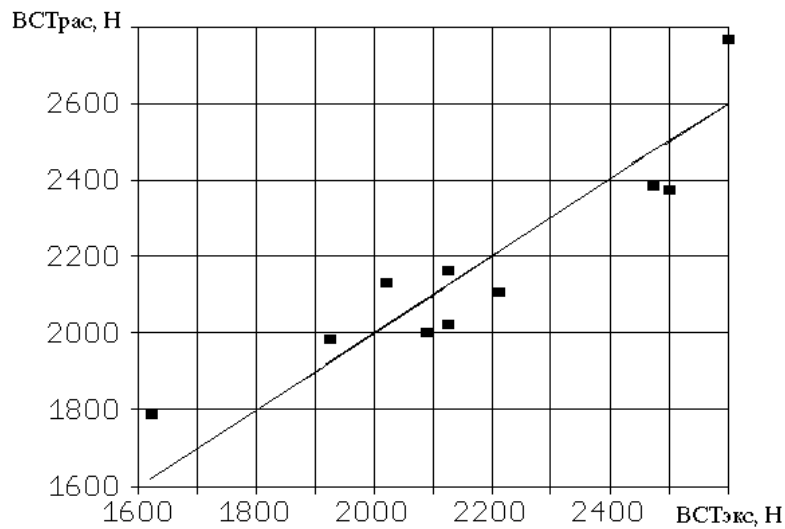


Рис. 5.46. Взаимосвязь между экспериментальными значениями ВСТ ящика из гофрокартона и вычисленными по уравнению $BCT = f(A_{pгм}; A_{pкм}; EI_{бг}; T_{гк})$

Подобная же зависимость получена, если свойства исходных компонентов гофрированного картона представить в обратном порядке, т.е. деформативность картона, поступающего в производство гофротары характеризовать жесткостью при изгибе, а бумаги для гофрирования – работой разрушения (рис. 5.47)

$$BCT = -2,07EI_{гм} - 1,39EI_{км} + 13,04A_{pбг} + 1366T_{гк} - 2495 \quad (5.25)$$

($\Delta_c = 4,0$; $R_{ect} = 0,894$).

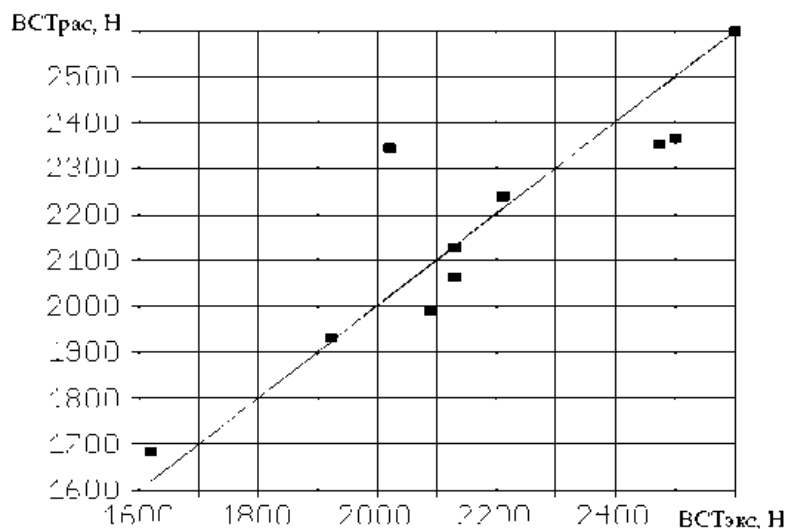


Рис.5.47. Взаимосвязь между экспериментальными значениями ВСТ ящика из гофрокартона и вычисленными по уравнению $BCT = f(EI_{гм}; EI_{км}; A_{pбг}; T_{гк})$

Представленные результаты доказывают, что при контроле качества исходных компонентов, наряду с прочностными свойствами тарного картона,

необходимо определять характеристики деформативности крафт-лайнера и флутинга, прежде всего жесткость при изгибе и жесткость при растяжении. Последнюю обуславливает модуль упругости, определяемый при анализе зависимости «напряжение-деформация».

Существующие в настоящее время принципы прогнозирования качества гофрированного картона и тары, а также предлагаемые на их основе модели в реальных производственных условиях обладают недостаточной точностью и должны быть пересмотрены. Альтернативными являются регрессионные модели, учитывающие характеристики жесткости всех компонентов гофрированного картона и его структурные параметры, в частности, толщину или массу.

Анализ производства тароупаковочного картона показал избирательность влияния основных технологических факторов производства тарного картона типа крафт-лайнер на его деформационные и прочностные свойства. Характеристики деформативности картона машинного и лабораторного изготовления обладают большей изменчивостью по сравнению с прочностными. Для получения тары из гофрированного картона с повышенной прочностью можно рекомендовать крафт-лайнер с содержанием НСПЦ в основном слое не более 40 %, степенью помола массы основного слоя не менее 28 °ШР и количеством покровного слоя около 18 %. Для получения тары с повышенной прочностью содержание НСПЦ в основном слое можно увеличить до 50 %, степень помола массы основного слоя поддерживать на уровне 20...24 %, а количество покровного слоя на уровне 13...15 %. При повышении как общей массы 1 м² картона, так и массы покровного слоя наблюдается увеличение жесткости при изгибе, общей деформации и значительный рост работы разрушения. Изучение формирования характеристик деформативности и прочности на КДМ показало, что процесс размолла полуфабрикатов оказывает большее влияние на уровень деформативности, чем прочности. Внесение в массу с оборотной водой мелкого волокна вызывает снижение значений характеристик

деформативности и прочности у образцов покровного слоя картона, в то же время свойства покровного слоя оказывают преимущественное влияние на формирование деформативности картона в целом. Экспериментально подтверждено, что физико-механические характеристики трехслойного гофрированного картона тесно коррелируют с деформационными характеристиками его компонентов. Характеристики жесткости крафт-лайнера и флютинга, получаемые при испытаниях на растяжение и изгиб (наряду со стандартными) могут быть непосредственно использованы для предварительной оценки сопротивления сжатию – важнейшего показателя качества тары из гофрированного картона, предназначенной для упаковки продукции, не способной воспринимать внешние нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Пиннингтон Т. Гофроиндустрия. В поисках совершенства.- Киев: ТМТ МедиаГрупп, 2012 г. – 493 с. (Т. Pinnington “The Corrugated Industry. In Pursuit of Excellence”).

Комаров В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. – Архангельск: АГТУ, 2002. – 440 с.

Кирван М. Дж. Упаковка на основе бумаги и картона.- СПб.: Профессия, 2008. - 488 с.

Технология целлюлозно-бумажного производства. Т.І. Часть 1. Сырье и производство полуфабрикатов: справочные материалы/ – СПб.: Политехника, 2002. – 432 с.

Технология целлюлозно-бумажного производства. Т.І. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч.2. Производство полуфабрикатов: справочные материалы/ – СПб.: Политехника, 2003. – 633 с.

Технология целлюлозно-бумажного производства. Т.ІІ. Производство бумаги и картона. Ч.1. Технология производства и обработки бумаги и картона/ – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.

Фляте Д.М. Свойства бумаги. - Изд. 4-е, испр. и доп. - СПб.: НПО «Мир и семья-95», ООО «Интерлайн», 1999. – 384 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГОФРИРОВАННОГО КАРТОНА	5
ГЛАВА 2. СОВРЕМЕННЫЙ ГОФРОЯЩИК	32
ГЛАВА 3. ТИПЫ ГОФРОВ И ГОФРИРОВАННОГО КАРТОНА	41
ГЛАВА 4. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОФРОАГРЕГАТОВ В КОНЦЕ XX В.	46
ГЛАВА 5. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГОФРОКАРТОНА	70
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	145

Учебное издание Александр Семенович Смолин
Валерий Иванович Комаров
Владимир Климентьевич Дубовый
Владимир Иванович Белоглазов

ТЕХНОЛОГИЯ ГОФРОКАРТОНА

Учебное пособие
Часть I

Корректор Н.П. Новикова
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2014, поз. 47

Подп. к печати 15.12.14.
Печать офсетная.
Тираж 300 экз.

Формат 60 × 84/16.
Уч.- изд.л. 8,0.
Изд. № 47. Цена «С».

Бумага тип №1.
Усл. печ.л. 8,0.
Заказ

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