

№ 4.- С.117 - 118. [6]. Чудаков М.И., Соколова И.В. Окислительное сульфирование лигнина и некоторых гваяцильных мономеров и димеров, близких к продуктам его распада //Химия древесины. - 1976. - №2. - С. 66 - 71. [7]. Шатц В.Д., Сахартова О.В. Высокоэффективная жидкостная хроматография: Основы теории. Методология. - Рига: Зинатне, 1988. - 338 с. [8]. Lin S.Y. Recent Advances in lignin technology // Int. symp. wood and pulping chem., 23-27 May, 1983. - Japan, 1983.- P.108 - 113. [9]. Meshitsuka G., Watanabe M., Ishizu A. Radical sulfonation of acid hydrolysis lignin // J. Jap. Wood Res. Soc. - 1990. - 236 0, N 10. - P. 876 - 882. [10]. Radical sulfonation of lignin - water solubilization of acid hydrolysis lignin / M. Watanabe, M. Sakumoto, G. Meshitsuka, I. Nakano // 4th Int. symp. wood and pulping chem., Paris, Apr. 27 - 30, 1987. - Vol.2.- P. 329 - 333. [11]. Radical sulfonation of lignin. Water solubilization of lignin / G. Meshitsuka, M. Watanabe, A. Ishizu, M. Sakumoto, I. Nakano // J. Jap. Wood Res.Soc. - 1988. - 234 0. - N 5. - P. 428 - 435. [12]. Watanabe M., Meshitsuka G., Ishizu A. Radical sulfonation of lignin // Int. symp. wood and pulping chem., Raleigh, N.C., May 27 - 30, 1989: Poster Sess.- Atlanta (Ga), 1989. - P. 235 - 239.

УДК 676.017

**В. И. КОМАРОВ**

Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 160 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.

## ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ\*

Представлен обзор выполненных автором статьи и под его руководством исследований в области механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей и изгибающей нагрузок.

\*Работа выполнена по координационным планам АН СССР, комплексному плану НИР Межвузовского координационного совета АН СССР, по координационному плану Минлесбумпрома СССР, координационному плану Научного совета по проблеме «Химия древесины и ее основных компонентов» АН СССР, по проблеме 0.34.01 «Создать и освоить перспективные технологии...» плана ГНТП и с 1991 г. по федеральной целевой научно-технической программе ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники гражданского назначения», подпрограмме «Комплексное использование и воспроизводство древесного сырья».

The review of the research carried out by the author of the article and under his scientific supervision is presented dealing with mechanical behaviour of pulp-and-paper materials when tension and bending loads are applied.

Деформативность – это комплекс свойств упругости, вязкоупругости и пластичности, проявляемых материалом при приложении механических нагрузок различного вида [81]. Задача измерения характеристик деформативности бумаги и картона занимала ученых и практиков на протяжении длительного времени. В силу высокой специфичности структуры целлюлозно-бумажных материалов имеются трудности, связанные с разработкой методик измерения и интерпретацией полученных экспериментальных данных [1, 34, 80, 83, 84].

Нами были проведены методологические исследования способов испытания и обработки экспериментальных данных для определения жесткости при изгибе и растяжении целлюлозно-бумажных материалов. В работе [47] показано влияние геометрического фактора и деформирующей нагрузки на измеряемую величину жесткости бумаги при изгибе. До настоящего времени в стандартах стран, производителей бумаги и картона, отсутствует метод определения жесткости при растяжении этих материалов. В настоящее время в организации SKAN-TEST (Скандинавский комитет по испытаниям целлюлозы, бумаги и картона) проводятся работы, направленные на стандартизацию этого метода.

Нами разработано программное обеспечение для ПЭВМ, позволяющее при обработке экспериментальных кривых усилие–удлинение получать зависимость напряжение–деформация ( $\sigma - \epsilon$ ) и целый ряд характеристик упругости, вязкоупругости, статической и динамической прочности [14, 61, 77, 78]. Создана программа, совмещающая разрывную машину и ПЭВМ и практически в реальном масштабе времени позволяющая вести математическую обработку экспериментальных кривых [15, 29]. Ивановский завод «Точприбор-Маркетинг» в настоящее время изготавливает испытательный комплекс, в котором будет использовано разработанное программно-математическое обеспечение.

Исследование зависимости напряжение–деформация при испытаниях целлюлозно-бумажных материалов позволило разработать ряд новых методик для оценки их качества [21, 28, 30, 46]. Релаксационные процессы, происходящие в структуре целлюлозно-бумажных материалов, имеют большое практическое значение. После полной разгрузки материал не возвращается к своей первоначальной длине, т. е. в нем сохраняется остаточная деформация. Наличие гистерезисной петли часто связывают с процессом пластической деформации, однако это может быть и следствием релаксационного характера развивающейся деформации. В связи с этим важной характеристикой структуры материала является время релаксации напряжения, величина которого обусловлена перегруппировкой элементов структуры и кинетикой дефор-

мации. Была показана возможность [28, 46] при стандартном испытании на растяжение с получением кривых зависимости  $\sigma - \varepsilon$  и решением уравнения типичного тела

$$\sigma(\varepsilon) = E_2 \varepsilon + n\nu (E_1 - E_2) \left(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{n\nu}}\right)$$

по специальной программе наряду с характеристиками деформативности и прочности рассчитывать и время релаксации напряжения  $n$ .

В работе [30] предложено использовать для целлюлозно-бумажных материалов методики, применяемые для расчета коэффициента Пуассона при испытаниях полимерных материалов. Была оценена правильность подхода к решению данной задачи, усовершенствована методика проведения испытаний. Полученные значения коэффициента Пуассона хорошо согласуются с литературными данными. Кроме того, предлагаемая методика позволяет оценить механизм развития пластической деформации при испытаниях образца, т. е. в какой степени она вызвана процессом крейзования или сдвиговой вынужденной эластичностью. Получение данной информации представляется важным для интерпретации процессов деформации и разрушения.

Для оценки качества полимерных и композитных материалов (близких по свойствам к целлюлозно-бумажным) широко используют методы механики разрушения, объединяющей механику деформируемого тела, материаловедение и физику разрушения. В последнее время эти методы все шире используются в практике испытания целлюлозно-бумажных материалов. В работе [21] показана возможность применения наших разработок для определения  $J$ -интеграла, являющегося характеристикой трещиностойкости структуры бумаги или картона.

Кроме того, разработанные методики испытания и обработки экспериментальных данных оказались пригодными для исследования упругопластических свойств кожи и тканей животных организмов. Одна из работ, выполненная совместно с учеными Архангельской государственной медицинской академии, была доложена на II Всесоюзном съезде анатомов, гистологов и эмбриологов [72].

Проведены многолетние исследования природы деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов [3, 16, 18, 23, 38, 40, 41, 43, 53, 54, 56, 57, 59, 60, 63, 67, 69, 74].

В работах [59, 60, 74] отмечено, что повышение степени помола бумажной массы при постоянстве массы  $1 \text{ м}^2$  образцов приводит к снижению жесткости бумаги при изгибе, так как в большинстве случаев определяющее влияние оказывает численное значение момента инерции поперечного сечения образца. Величина модуля упругости при изгибе зависит от природы волокнистого материала и величины межволоконных сил связи. Были установлены закономерности изменения жесткости и модуля упругости при изгибе в зависимости от природы и содержания в структуре наполнителей, проклеивающих веществ и пластификатора. Показано, что увеличение степени ориентации волокон в машинном направлении бумаги вызывает повышение жесткости при изгибе в этом направлении, причем уменьшение дисперсности волокнистого

материала вызывает рост жесткости при изгибе. Таким образом, выполненная работа позволила установить влияние основных технологических факторов на жесткость при изгибе, что важно при разработке технологии как жестких, так и вялых видов бумаги.

Работа, проведенная совместно с лабораторией лигнина ВНПОбумпрома [3], показала, что при проклейке сульфатным лигнином тароупаковочных видов бумаги и картона величины характеристик жесткости при изгибе и разрушающего усилия при сжатии кольца соответственно могут возрасти на 41 и 15 %. Повышаются вязкоупругие характеристики ( $E_1$  и  $E_2$ ), однако начальный модуль упругости снижается.

Выполнен цикл работ по лабораторной оценке свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов [38, 40, 41, 43, 67, 69].

В производственных и лабораторных условиях целлюлоза перед переработкой или испытаниями хранится при повышенной концентрации ее в суспензии достаточно длительное время. Проведенный эксперимент показал [38], что взаимодействие сульфатной небеленой целлюлозы с водой (концентрация массы 20 %) в течение 24...240 ч приводит к возрастанию жесткости при изгибе, начального модуля упругости, отношения предела упругости к разрушающему напряжению и сопротивления раздиранию и продавливанию, но снижается прочность на разрыв.

Важная проблема – объективная оценка качества целлюлозно-бумажных материалов. В работе [43] была сделана попытка применить статистическую теорию прочности к испытаниям стандартных образцов сульфатной небеленой целлюлозы и рассмотреть взаимосвязь некоторых деформационных и прочностных характеристик с неоднородностью материала. В ходе эксперимента установлено, что с увеличением прочности разброс экспериментальных данных возрастает. Неразрушающие методы испытаний обладают повышенной чувствительностью к неоднородностям структуры материала. В этих условиях средние значения характеристик недостаточно полно характеризуют качество продукции, необходима статистическая обработка данных эксперимента.

Совместно с НИЛ Соломбальского ЦБК была проведена работа по оценке влияния комплекса факторов при лабораторном изготовлении образцов целлюлозного материала, его подготовке к испытаниям и в ходе самих испытаний на получаемые значения характеристик деформативности и прочности [40, 41]. Отмечено, что, даже руководствуясь требованиями стандартов и используя однотипное сертифицированное оборудование, невозможно получить в различных лабораториях полностью тождественные результаты для одного и того же образца волокнистого целлюлозного материала. Сделан вывод, что для полной характеристики физико-механических свойств целлюлозных волокнистых материалов требуется привлечение вероятностных пред-



ставлений с целью описания механического поведения этих материалов до момента разрушения и оценки их критического состояния.

Совместно с кафедрой физики Ленинградской лесотехнической академии и НИЛ Соломбальского и Архангельского ЦБК изучена корреляция величин деформативности и прочности различных видов целлюлозы и картона [67, 69]. В отраслевом научно-техническом журнале работникам предприятий предлагалось обсудить вопрос о возможности перехода к однопараметровому неразрушающему контролю продукции. В настоящее время метод определения динамического модуля сдвига широко применяют в научно-исследовательских лабораториях целлюлозно-бумажных предприятий и институтах отрасли.

Целенаправленные комплексные исследования формирования свойств деформативности и прочности целлюлозы, бумаги для печати и картона в технологических процессах проведены как в лабораторных, так и в производственных условиях [2, 5–10, 12, 13, 16, 18, 23, 25, 32, 37, 39, 42, 44, 45, 51–58, 62, 63, 65, 66, 70, 73–75].

В работах [10, 62, 63] представлены результаты исследования изменения свойств древесных волокон в процессе производства термомеханической массы и оптимизации композиции газетной бумаги по волокну с целью получить материал с заранее заданными значениями характеристик деформативности и прочности. Был сделан вывод о доминирующем влиянии коротковолокнистой фракции ТММ на комплекс бумагообразующих свойств. Установлено, что усовершенствованный процесс производства ТММ должен предусматривать возможность регулирования количества отходов сортирования, их обработку химическими реагентами и интенсивный размол. Оптимизацию композиции газетной бумаги по волокну проводили методом математического моделирования трехкомпонентных систем. Были рекомендованы следующие композиции по волокну: первый вариант – 60 % ДДМ + 30 % ТММ + 10 % отходов сортирования, обработанных  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  при температуре 80 °С; второй вариант – 65 % ДДМ + 15 % ТММ + 20 % отходов сортирования, обработанных  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  при температуре 130 °С.

Проблема расширения сырьевой базы целлюлозно-бумажного производства за счет более полного использования различных древесных отходов, снижения стоимости сырья и вредного воздействия на биосферу при сжигании древесных отходов предопределила решение о переработке опилок древесины в целлюлозу. В работе [51] проведено сравнение бумагообразующих свойств различных видов целлюлозы из древесной щепы лиственных пород и древесных опилок хвойных сибирских пород (сосны, лиственницы, кедра). Было показано, что введение в композицию по волокну до 30 % целлюлозы из опилок улучшает деформационные свойства бумаги для глубокой печати, увеличивает разрывную длину, но несколько снижает ее гладкость.

Изучению влияния качества сырья и различных технологических факторов производства на свойства сульфатной небеленой целлюлозы, полуфабрикат которой часто используют для производства бумаги и

картона с высокой деформативностью, посвящены работы [12, 13, 25, 32, 37, 39, 42, 44, 45, 54, 65, 70].

Деформативность и прочность целлюлозного волокнистого материала в производственных условиях обусловлены большим числом технологических факторов [42, 44, 45]. При фиксировании 70 технологических параметров было установлено их избирательное воздействие на деформационные и прочностные характеристики сульфатной небеленой целлюлозы. Это явилось важным фактом, а может быть, первым свидетельством корректности поиска корреляции между характеристиками деформативности и прочности целлюлозных материалов. У товарной сульфатной небеленой целлюлозы характеристики деформативности были ниже на 6,5...13,0 %, а характеристики прочности – на 5,5...7,0 % по сравнению с минимальными, наблюдаемыми в производственном потоке.

В работах [25, 37, 39, 65] представлены исследования по влиянию качества сырья на свойства технической целлюлозы, в [37] – по влиянию вариации качества производственной технологической щепы на стандартные показатели качества целлюлозы. Статистическая обработка экспериментальных данных показала, что в рамках заданного технологического регламента качество щепы оказывает большее влияние на качество целлюлозы, чем любой из основных процессов – варка, промывка, сортирование или сушка. Было установлено, что оценка качества щепы по фракционному составу не позволяет прогнозировать физико-механические показатели качества целлюлозы. Необходимо проведение оценки однородности по толщине щепы.

В работах [39, 65] по изучению влияния размеров щепы на деформативность и прочность сульфатной небеленой целлюлозы установлено, что вариация фракционного состава производственной технологической щепы по длине и толщине определяет нестабильность физических, деформационных и прочностных свойств. У параметров, характеризующих прочность, отмечена меньшая вариация, высокую вариацию имеют показатели сорности, степени делигнификации, деформативности при приложении растягивающих и изгибающих нагрузок. Из исследованных 12 характеристик качества целлюлозы в десяти случаях толщина щепы оказывает определяющее влияние. В работе [25] с использованием методов математического моделирования установлена избирательность влияния технологических факторов сульфатной варки на величины характеристик деформативности и прочности целлюлозы. Увеличение толщины щепы изменяет характер влияния факторов интенсивности процессов делигнификации, в результате чего максимальные величины характеристик деформативности и прочности достигаются при варке щепы с различной толщиной.

Фракционный состав по длине волокна технических целлюлоз оказывает сильное влияние на бумагообразующие свойства и, в конечном итоге, на различные свойства бумаги и картона. В работе [54] исследовано механическое поведение при приложении растягивающей нагрузки образцов из различных по длине волокна фракций и нефрак-

ционированной целлюлозы. Установлена особая роль в процессах деформирования фракций с самым длинным и с самым коротким волокном. В работе [12] показано перераспределение относительного содержания фракций с определенной длиной волокна в процессе сортирования технической целлюлозы.

Проведенные исследования позволили стабилизировать качество небеленой сульфатной целлюлозы при варке в аппарате «Камюр» [70] и явились основой для разработки технологии получения сульфатной небеленой целлюлозы с повышенными характеристиками деформативности [13, 32].

Гофрированный картон как средство для упаковки применяется уже более 100 лет и успешно конкурирует с другими видами тарных материалов. Современные сферы применения тары из гофрированного картона предъявляют и более строгие требования к его потребительским свойствам – большую сопротивляемость силам растяжения и сжатия, высокую жесткость, пригодность для нанесения печати высокоскоростными методами. В работах [2, 6–9, 66] представлены результаты исследований по формированию характеристик деформативности и прочности картона-лайнера в технологическом потоке производства; по зависимости качества гофрированного картона от стабильности свойств картона-лайнера и флютинга; по связи упругих характеристик компонентов гофрированного картона с его потребительскими свойствами. Установлено, что основные технологические факторы производства картона-лайнера оказывают избирательное влияние на величину характеристик деформативности или прочности. Это необходимо учитывать при разработке технологического регламента производства. Свойства покровного слоя картона-лайнера оказывают преимущественное влияние на формирование деформативности. Определены уровни величин деформативности компонентов гофрированного картона, позволяющие производить тару высшего качества.

Исследования по разработке технологии производства бумаги для офсетной печати с повышенными характеристиками деформативности представлены в работах [52, 53, 55–58, 73–75]. Бумага для печати должна обладать рядом специфических свойств. Важнейшими из них являются характеристики, определяющие качество прохождения бумаги через транспортную систему печатной машины. Во многом эта способность зависит от величины модуля упругости и жесткости при изгибе. Изучено влияние на деформативность и прочность книжно-журнальной бумаги для офсетной печати таких показателей, как свойства применяемых для производства полуфабрикатов [53, 56, 57], размол целлюлозных полуфабрикатов и механических масс [57, 74, 75], состав смесей волокнистых полуфабрикатов [55, 56] и химических добавок [52], а также некоторые параметры работы БДМ, что позволило разработать технологию производства данного вида бумаги с повышенными характеристиками деформативности [58].

Проведенные исследования обобщены в обзорах [16, 18, 23] с анализом зависимости напряжение–деформация при испытании на рас-

тяжение целлюлозно-бумажных материалов и методов измерения и влияния технологических факторов на жесткость при изгибе этих материалов, а также приведены сведения (в свете последних представлений) о вязкоупругости целлюлозно-бумажных материалов.

Важная задача материаловедения – прогнозирование заданных свойств производимой продукции. В случае целлюлозно-бумажных материалов эта задача сильно осложняется многофакторностью производства, в связи с чем и приобретает особое значение. Для реализации данной задачи в каждом конкретном случае необходимо выполнить следующее: установить вариации характеристик качества сырья или полуфабрикатов, технологических параметров производства, характеристик качества продукции; научно обосновать выбор характеристик качества сырья, полуфабрикатов, готовой продукции; выявить при помощи статистических методов технологические параметры, вариация которых в рамках заданного регламента оказывает значимое влияние на качество продукции; найти и оценить корреляцию характеристик сырья, полуфабрикатов, продукции и параметров производства; отобрать характеристики и параметры для составления уравнений регрессии; найти оптимальные уравнения. Исследования в этом направлении продолжаются, их результаты опубликованы [5, 24, 26, 27, 33, 36, 37, 49, 50, 68].

Нами получены уравнения, связывающие стандартные характеристики качества сульфатной небеленой целлюлозы с качеством сырья при заданном режиме варки [37] (средняя относительная погрешность аппроксимации для характеристик прочности составила 1,4...5,7 %).

Для прогнозирования зависимости  $\sigma - \epsilon$  при испытании образцов сульфатной небеленой целлюлозы была разработана специальная программа для ЭВМ. Она позволяет рассчитывать начальный модуль упругости, модуль упругости в зоне предразрушения, время релаксации напряжения, деформацию разрушения в зависимости от измеренных фундаментальных характеристик – средней длины волокна, пухлости, межволоконных сил связи, нулевой разрывной длины (средняя относительная погрешность аппроксимации для образцов с различными степенью делигнификации, массой 1 м<sup>2</sup> и степенью помола составила 1,7...4,1 %).

Получены эмпирические модели для прогнозирования качества картона и тары с использованием как традиционных характеристик исходных компонентов, так и характеристик деформативности [5]. Предлагаемые нами модели дают меньшую ошибку прогнозирования по сравнению с известными моделями Мак Ки (средняя относительная погрешность аппроксимации составила 1,3...3,4 %).

В настоящее время заканчивается разработка математических моделей для прогнозирования характеристик деформативности бумаги для офсетной печати.



Проведенные эксперименты и опубликованные результаты исследований позволили создать оригинальные учебные пособия для студентов специализации 26.03.01 «Химическая технология целлюлозно-бумажного производства» [17, 19].

Описание механического поведения бумаги можно осуществить с позиций теории сеток и континуальных теорий. Континуальные теории не принимают в расчет присутствие пустот, тогда как сетчатые теории не учитывают состояние, когда волокна слишком плотно соединены, чтобы вести себя как отдельные элементы сеток. Для прогнозирования механического поведения материала в соответствии с существующими теориями требуется множество геометрических параметров и характеристик, которые трудно получить.

Исследования, проведенные нами с целью расширить теоретические представления о природе деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов, представлены в работах [4, 11, 20–22, 31, 35, 48, 64, 71, 82].

Экспериментальные данные [48] свидетельствуют о том, что при статических испытаниях с приложением одноосной растягивающей нагрузки к материалам типа технической целлюлозы, бумаги или картона применима статистическая теория прочности. Для оценки качества этих материалов особое практическое значение приобретает положение статистической теории прочности – с увеличением прочности материала возрастает неоднородность, т. е. возрастает при испытании разброс значений исследуемой характеристики.

В работе [20] представлена гипотеза упругопластического деформирования в зоне сжатия при изгибе образцов целлюлозно-бумажных материалов. Установлена возможность использования треугольно-трапецидальной эпюры для расчета слоя структуры материала, в котором возникает предельное состояние. Целенаправленное технологическое воздействие с целью уменьшить толщину этого слоя позволяет увеличить жесткость при изгибе материала.

Свойства волокна оказывают основное влияние на структуру целлюлозно-бумажных материалов, а значит, и на характеристики деформативности и прочности. Ряд наших работ [4, 11, 22, 31, 35, 64, 71, 82] был посвящен влиянию химического и механического воздействия на структуру и свойства волокна технической целлюлозы, а также корреляции характеристик структуры стенки волокна с характеристиками деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов. Важной для создания гипотезы механического поведения этих материалов является работа [35], в которой предложена методика расчета «критической» длины волокна как интегральной фундаментальной характеристики структуры. С помощью данной характеристики появилась возможность прогнозировать деформативность и прочность материала.

Исследования [4, 11, 64, 71, 82] позволили установить количественную взаимосвязь между уровнями структурной организации целлюлозной матрицы и молекул воды в стенке волокна технической целлю-

лозы и ее фундаментальными, деформационными и прочностными характеристиками. Данные работы будут использованы для экспериментального обоснования гипотезы механического поведения образцов целлюлозно-бумажных материалов с использованием представлений о мультимодульности материала и развитии различных типов трещин.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Белл Дж. Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. Часть 1. Малые деформации. - М.: Наука, 1984. - 596 с. [2]. Влияние качества целлюлозных полуфабрикатов на характеристики картона / В.И. Комаров, А.В. Гурьев, Г.И. Чижов и др. // Новые достижения в технологии волокнистых полуфабрикатов: Российский науч.-техн. семинар, Коряжма, 9-10 сент. 1992 г. - М.: Изд-во НТО Минбумпрома, 1992. - С. 22-23. [3]. Влияние проклейки сульфатным лигнином на физико-механические свойства бумаги / А.Ф. Троянская, А.А. Соколова, Н.В. Барабанова, В.И. Комаров // Бум. пром-сть. - 1984. - № 11. - С. 18 - 19. [4]. Влияние структуры стенки волокна на фундаментальные, деформационные и прочностные характеристики сульфатной небеленой целлюлозы / В.И. Комаров, Я.В. Казаков, Д.А. Сухов, О.Ю. Деркачева // Лесн. журн. - 1994. - № 3. - С. 105 - 111. - (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Гурьев А.В., Комаров В.И. Связь упругих характеристик компонентов гофрированного картона с его потребительскими свойствами // Целлюлоза, бумага, картон. - 1997. - № 9 - 10. - С. 22 - 24. [6]. Гурьев А.В., Чижов Г.И., Комаров В.И. Влияние композиции и степени помола массы основного слоя на деформационные и прочностные свойства тарного картона // Лесн. журн. - 1993. - № 1. - С. 93 - 96. - (Изв. высш. учеб. заведений). [7]. Гурьев А.В., Чижов Г.И., Комаров В.И. Влияние массы  $1 \text{ м}^2$  и соотношения масс основного и покровного слоев на деформационные и прочностные свойства тарного картона // Лесн. журн. - 1993. - № 4. - С. 69 - 71. - (Изв. высш. учеб. заведений). [8]. Гурьев А.В., Чижов Г.И., Комаров В.И. Формирование характеристик деформативности и прочности картона-лайнера в технологическом потоке КДМ // Лесн. журн. - 1994. - № 1. - С. 86 - 91. - (Изв. высш. учеб. заведений). [9]. Зависимость качества гофрированного картона от стабильности свойств картона-лайнера и флютинга по ширине рулона / А.В. Гурьев, В.И. Комаров, В.П. Елькин, Г.В. Касьяненко // Лесн. журн. - 1996. - № 1 - 2. - С. 82 - 85. - (Изв. высш. учеб. заведений). [10]. Изменение древесных волокон в процессе производства термомеханической массы / Г.И. Чижов, Е.П. Елкина, С.С. Пузырев и др. // Лесн. журн. - 1988. - № 4. - С. 84 - 89. - (Изв. высш. учеб. заведений). [11]. Изменения состава и структуры основных компонентов стенки волокна хвойной древесины в процессе сульфатной варки / Д.А. Сухов, О.Ю. Деркачева, В.И. Комаров, Я.В. Казаков // Лесн. журн. - 1994. - № 3. - С. 99 - 104. - (Изв. высш. учеб. заведений). [12]. Изменение фракционного состава и средней длины волокна в процессе сортирования и очистки целлюлозы / Т.Ф. Личутина, М.Ф. Малыгина, А.Ф. Личутин и др. // Целлюлоза, бумага и картон: Реф. информация. - 1975. - № 31. - С. 9 - 10. [13]. Казаков Я.В., Комаров В.И. Влияние режима варки на деформативность и прочность сульфатной целлюлозы // Лесн. журн. - 1995. - № 4. - С. 94 - 104. - (Изв. высш. учеб. заведений). [14]. Казаков Я.В., Комаров В.И. Математическая обработка кривых зависимости напряжение-деформация, полученных при испытании целлюлозно-бумажных материалов на растяжение // Лесн. журн. - 1995. - № 4. - С. 109 - 114. - (Изв. высш. учеб. заведений). [15]. Казаков Я.В., Комаров

В.И. Программа для математической обработки кривых зависимости напряжение – деформация, полученных при испытании целлюлозно-бумажных материалов. - Архангельск, 1996. - 5 с. - (Информ. листок / Архангельский ЦНТИ; № 80 - 96. Сер. Р. 66.45.09). [16]. Комаров В.И. Анализ зависимости напряжение–деформация при испытании на растяжение целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. - 1993. - № 2 - 3. - С. 123 - 131. - (Изв. высш. учеб. заведений). [17]. Комаров В.И. Влияние технологических факторов на характеристики деформативности и прочности сульфатной небеленой целлюлозы: Учебное пособие. - Архангельск: РИО АЛТИ, 1994. - 71 с. [18]. Комаров В.И. Вязкоупругость целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. - 1997. - № 6. - С. 25 - 44. - (Изв. высш. учеб. заведений). [19]. Комаров В.И. Деформативность бумаги: Текст лекций. - Архангельск: РИО АЛТИ, 1992. - 64 с. [20]. Комаров В.И. Деформативность целлюлозно-бумажных материалов при изгибе // Лесн. журн. - 1994. - № 3. - С. 112 - 142. - (Изв. высш. учеб. заведений). [21]. Комаров В.И. J-интеграл–характеристика структуры целлюлозно-бумажных материалов // Целлюлоза, бумага, картон. - 1997. - № 5 - 6. - С. 26 - 29. [22]. Комаров В.И., Дьяков Н.А. Влияние на жесткость бумаги при изгибе жесткости исходных волокон // Химическая переработка древесины: Науч. тр. - Л.: РИО ЛТА, 1972. - № 152. - С. 39 - 43. [23]. Комаров В.И. Жесткость при изгибе целлюлозно-бумажных материалов. Анализ методов измерения и влияния технологических факторов // Лесн. журн. - 1994. - № 3. - С. 112 - 142. - (Изв. высш. учеб. заведений). [24]. Комаров В.И. Исследование корреляции упругих и прочностных свойств бумаги-основы для гофрирования // Химия и технология бумаги: Межвуз. сб. науч. тр. - Л.: РИО ЛТА, 1981. - Вып. 9. - С. 22 - 25. [25]. Комаров В.И., Казаков Я.В. Влияние качества щепы на деформативность и прочность хвойной небеленой целлюлозы // Строение, свойства и качество древесины - 96: II Межд. симпозиум, Москва-Мытищи, 21 - 24 окт. 1996 г. - М.: МГУЛ, 1997. - С. 76 - 81. [26]. Комаров В.И., Казаков Я.В. Влияние размола на корреляцию фундаментальных свойств (по Кларку) сульфатной небеленой целлюлозы с характеристиками деформативности и прочности // Актуальные проблемы функционального использования природных и энергетических ресурсов Европейского Севера: Сб. науч. тр. - Архангельск: РИО АГТУ, 1994. - С. 105 - 111. [27]. Комаров В.И., Казаков Я.В. Корреляция фундаментальных свойств технической целлюлозы с характеристиками деформативности и прочности // Новые достижения в технологии волокнистых полуфабрикатов: Российский науч.-техн. семинар, Коряжма, 9-10 сент, 1992. - М.: Изд-во НТО Минбумпрома, 1992. - С. 83. [28]. Комаров В.И., Казаков Я.В. Определение времени релаксации напряжения целлюлозно-бумажных материалов из статических кривых  $\sigma - \epsilon$  при деформировании и нагружении с постоянной скоростью // Лесн. журн. - 1993. - № 5 - 6. - С. 130 - 133. - (Изв. высш. учеб. заведений). [29]. Комаров В.И., Казаков Я.В. Программное обеспечение лабораторного комплекса для оценки механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки // Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химико-лесном комплексе: Материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 27 - 28 октября 1997 г. - Минск: РИО БелГТУ, 1997. - С. 257 - 259. [30]. Комаров В.И., Казаков Я.В. Расчет коэффициента Пуассона при испытании на растяжение целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. - 1993. - № 5 - 6. - С. 133 - 136. - (Изв. высш. учеб. заведений). [31]. Комаров В.И., Казаков Я.В., Филиппов И.Б. Зависимость весового показателя (по Иванову) от средней длины волокон сульфатной небеленой целлюлозы //

Лесн. журн. - 1992. - № 5 - С. 84 - 87. - (Изв. высш. учеб. заведений). [32]. Комаров И.В., Казаков Я.В. Сульфатная небеленая целлюлоза с повышенной деформативностью // Поморье в Баренц-регионе: Междунар. конф., Архангельск, 24 - 29 июня 1997 г. - Архангельск: Изд-во «Элпа», 1997. - С. 57. [33]. Комаров В.И., Казаков Я.В. Связь фундаментальных свойств (по Кларку) неразмолотой сульфатной небеленой целлюлозы с характеристиками деформативности и прочности // Лесн. журн. - 1993. - № 2 - 3. - С. 112 - 116. - (Изв. высш. учеб. заведений). [34]. Комаров В.И. К вопросу измерения модуля упругости бумаги // Химическая переработка древесины. - Л.: Изд-во РИО ЛТА, 1972. - Тр. № 152. - С. 62 - 66. [35]. Комаров В.И. Критическая длина волокна-фактор деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. - 1994. - № 3. - С. 79 - 83. - (Изв. высш. учеб. заведений). [36]. Комаров В.И., Ленюк Н.А. Статистические методы контроля и управления качеством на предприятиях ЦБП: Учебное пособие. - Л.: РИО ЛТА, 1987. - 76 с. [37]. Комаров В.И., Личутина Т.Ф. Влияние качества щепы на физико-механические свойства сульфатной небеленой целлюлозы // Химическая переработка древесины и ее отходов: Межвуз. сб. науч. тр. - Л.: РИО ЛТА, 1988. - С. 87 - 90. [38]. Комаров В.И., Личутина Т.Ф. Влияние продолжительности хранения сульфатной небеленой целлюлозы на ее физико-механические свойства // Химия и технология целлюлозы: Межвуз. сб. науч. тр. - Л.: РИО ЛТА, 1981. - Вып. 8. - С. 47 - 50. [39]. Комаров В.И., Личутина Т.Ф. Влияние размеров щепы на деформативность и прочность сульфатной небеленой целлюлозы // Бум. пром-сть. - 1988. - № 12. - С. 8 - 9. [40]. Комаров В.И., Личутина Т.Ф. Лабораторная оценка физико-механических свойств сульфатной небеленой целлюлозы // Лесн. журн. - 1985. - № 6. - С. 85 - 90. - (Изв. высш. учеб. заведений). [41]. Комаров В.И., Личутина Т.Ф. Лабораторный контроль физико-механических свойств сульфатной небеленой целлюлозы. - Архангельск, 1984. - [4] с. - (Информ. листок / Архангельский ЦНТИ; № 248). [42]. Комаров В.И., Личутина Т.Ф., Легкодух Н.Г. Изменение физико-механических свойств целлюлозы в производственных процессах ее получения // Химическая переработка древесины: Межвуз. сб. науч. тр. - Л.: РИО ЛТА, 1982. - С. 64 - 68. [43]. Комаров В.И., Личутина Т.Ф. Оценка качества сульфатной небеленой целлюлозы // Бум. пром-сть. - 1984. - № 8. - С. 11 - 12. [44]. Комаров В.И., Личутина Т.Ф., Пахтусова В.П. Влияние температуры целлюлозы, выгружаемой из аппарата «Камюр», на ее физико-механические свойства // Химическая переработка древесины: Межвуз. сб. науч. тр. - Л.: РИО ЛТА, 1982. - С. 61 - 64. [45]. Комаров В.И., Личутина Т.Ф. Формирование физико-механических свойств сульфатной небеленой целлюлозы в процессе производства // Бум. пром-сть. - 1985. - № 3. - С. 15 - 17. [46]. Комаров В.И. Определение реологических характеристик целлюлозно-волокнистых материалов по кривым зависимости напряжение-деформация // Актуальные проблемы комплексного использования лесных ресурсов на Европейском Севере. - Архангельск: РИО АЛТИ, 1989. - С. 128 - 130. [47]. Комаров В.И. Опыты по уточнению методики работы на приборе ЖБИ-1 // Химия и технология древесины, целлюлозы и бумаги. Раздел 3. Химия и технология бумаги: Межвуз. сб. науч. тр., - Л.: РИО ЛТИ ЦБП, 1976. - Вып. 3. - С. 7 - 9. [48]. Комаров В.И. Применение статистической теории прочности при испытании целлюлозных материалов // Бум. пром-сть. - 1987. - № 3. - С. 13 - 14. [49]. Комаров В.И. Прогнозирование качества целлюлозы // Пути повышения эффективности целлюлозно-бумажной промышленности: Всесоюз. науч.-техн. конф., Коряжма, 14-15 сент. 1988 г. - М.:



Изд-во НТО Минбумпрома, 1988. - С. 81 - 84. [50]. Комаров В.И. Прогнозирование характеристик склонности к деформации и прочности сульфатной небеленой целлюлозы // Бум. пром-сть. - 1989. - № 10. - С. 17 - 18. [51]. Комаров В.И., Прокшин Г.Ф. Использование белой сульфатной целлюлозы из опилок сибирских пород древесины в композиции бумаги для глубокой печати // Химия и технология бумаги: Межвуз. сб. науч. тр. - Л.: РИО ЛТА, 1980. - Вып. 8. - С. 104 - 108. [52]. Комаров В.И., Филиппов И.Б. Влияние компонентов бумажной массы на деформативность и прочность книжно-журнальной бумаги для офсетного способа печати // Лесн. журн. - 1998. - № 1. - С. 66. - (Изв. высш. учеб. заведений). [53]. Комаров В.И., Филиппов И.Б. Деформативность и прочность полуфабрикатов, используемых для производства бумаги для офсетной печати // Лесн. журн. - 1995. - № 4 - 5. - С. 104 - 121. - (Изв. высш. учеб. заведений). [54]. Комаров В.И., Филиппов И.Б. Деформативность и прочность различных по длине волокна фракций товарной сульфатной небеленой целлюлозы // Актуальные проблемы функционального использования природных энергетических ресурсов Европейского Севера. - Архангельск: РИО АЛТИ, 1994. - С. 111 - 115. [55]. Комаров В.И., Филиппов И.Б. Смеси волокнистых полуфабрикатов и их влияние на свойства бумажной массы // Лесн. журн. - 1997. - № 6. - С. 45 - 54. - (Изв. высш. учеб. заведений). [56]. Комаров В.И., Филиппов И.Б., Морозов С.А. Влияние состава смесей полуфабрикатов на вязкоупругие свойства бумаги // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр. - Архангельск: РИО АГТУ, 1997. - Вып. 3. - С. 40 - 47. [57]. Комаров В.И., Филиппов И.Б., Морозов С.А. Динамика изменения свойств волокнистых полуфабрикатов в процессе размола // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр. - Архангельск: РИО АГТУ, 1997. - Вып. 3. - С. 48 - 56. [58]. Комаров В.И., Филиппов И.Б. Совершенствование технологии производства офсетной бумаги с высоким содержанием механических масс // Поморье в Баренц-регионе, Архангельск 24-29 июня 1997 г. - Архангельск: Изд-во «Элпа», 1997. - С. 56 - 57. [59]. Комаров В.И., Фляте Д.М. Влияние степени ориентации волокон и разносторонности бумаги на ее жесткость при изгибе // Целлюлоза, бумага, картон: Реф. информация. - 1972. - № 18. - С. 8 - 9. [60]. Комаров В.И., Фляте Д.М. Жесткость бумаги при изгибе // Бум. пром-сть. - 1973. - № 6. - С. 3 - 4. [61]. Комаров В.И., Хабаров Ю.Г. Обработка индикаторных диаграмм, полученных испытанием образцов бумаги на растяжение, при помощи ЭВМ // Химия и технология целлюлозы: Межвуз. сб. науч. тр. - Л.: РИО ЛТА, 1979. - Вып. 6. - С. 94 - 96. [62]. Комаров В.И., Чижев Г.И., Пузырев С.С. Оптимизация композиции по волокну газетной бумаги для получения заданной величины характеристик деформативности и прочности // Бум. пром-сть. Специальное приложение, посвященное разработкам специалистов ЛТА им. Кирова. - 1990. - С. 62 - 67. [63]. Комаров В.И., Чижев Г.И., Пузырев С.С. Деформативность механической массы // Бум. пром-сть. - 1989. - № 10. - С. 14 - 15. [64]. Корреляция характеристик структуры стенки волокна и деформативности и прочности образцов сульфатной небеленой целлюлозы, изменяющихся в процессе размола / В.И. Комаров, Я.В. Казаков, Д.А. Сухов, О.Ю. Деркачева // Лесн. журн. - 1998. - № 1. - С. 57 - 66. - (Изв. высш. учеб. заведений). [65]. Личутин А.Ф., Комаров В.И. Влияние размеров щепы на стабильность физико-механических свойств сульфатной небеленой целлюлозы // Целлюлоза, бумага и картон. Отеч. произв. опыт: Экс-

пресс-информация. - М.: ВНИПИЭИлеспром, 1988. - Вып. 10. - С. 2 - 15. [66]. Методы оценки качества компонентов гофрированного картона / А.В. Гурьев, В.И. Комаров, В.П. Елькин, Г.В. Касьяненко // Целлюлоза, бумага, картон. - 1996. - № 7 - 8. - С. 16 - 18. [67]. О неразрушающем контроле качества продукции / Б.П. Ерыхов, А.Н. Наумов, М.А. Пилия и др. // Бум. пром-сть. - 1985. - № 8. - С. 23 - 24. [68]. Оценка качества в системе производства тары из гофрированного картона с помощью современных методов / А.В. Гурьев, В.И. Комаров, В.П. Елькин, Г.В. Касьяненко // Поморье в Баренц - регионе: III Международ. конф., Архангельск, 24 - 29 июня 1997 г. - Архангельск: Изд-во «Элпа», 1997. - С. 58 - 59. [69]. Перейти к однопараметровому неразрушающему контролю качества продукции / Б. П. Ерыхов, А. Н. Наумов, М. А. Пилия и др. // Бум. пром-сть. - 1987. - № 3. - С. 29 - 30. [70]. Стабилизация качества небеленой сульфатной целлюлозы в варочном аппарате «Камюр» ПО «Соломбальский ЦБК» / В.П. Пахтусова, С.В. Дедов, Т.Ф. Личутина, В.И. Комаров // Лесн. журн. - 1992. - № 1. - С. 101 - 106. - (Изв. высш. учеб. заведений). [71]. Структура и бумагообразующие свойства волокон древесной целлюлозы / Д.А. Сухов, О.Ю. Деркачева, Т.А., Авраменко и др. // Pap-For-94: Междунар. науч.-техн. конф., С.-Петербург, 10 - 12 окт. 1994 г. - С. 17 - 19. [72]. Турко Б.А., Комаров В.И. Упругопластические свойства тканей в регенерирующей кожной ране // II Всесоюзный съезд анатомов, гистологов и эмбриологов, Ленинград, 14-15 дек. 1988 г. - М.: Изд-во Минздрава РСФСР, 1988. - С. 126. [73]. Филиппов И.Б., Комаров В.И. Влияние наполнения на физико-механические свойства книжно-журнальной бумаги для офсетного способа печати // Охрана окружающей среды и рационального использования природных ресурсов: Сб. науч. тр. - Архангельск: РИО АГТУ, 1996. - Вып. 1 - С. 7 - 75. [74]. Филиппов И.Б., Комаров В.И. Влияние процесса размола на деформативность и прочность механических масс, используемых для производства книжно-журнальной бумаги для офсетного способа печати // Лесн. журн. - 1996. - № 1 - 2. - С. 82 - 85. - (Изв. высш. учеб. заведений). [75]. Филиппов И.Б., Комаров В.И. Влияние процесса размола на деформативность и прочность целлюлозных полуфабрикатов, используемых для производства книжно-журнальной бумаги для офсетного способа печати // Лесн. журн. - 1996. - № 3. - С. 96 - 113. - (Изв. высш. учеб. заведений). [76]. Фляте Д.М., Комаров В.И. Влияние некоторых факторов на жесткость при изгибе // Материалы науч.-техн. конференции ХТФ / Под ред. Ю.Н. Непенина. - Л.: РИО ЛТА, 1971. - С. 67 - 72. [77]. Хабаров Ю.Г., Комаров В.И. Оценка последовательности разрушения целлюлозных волоконистых материалов // Бум. пром-сть. - 1986. - № 6. - С. 16 - 17. [78]. Хабаров Ю.Г., Комаров В.И. Оценка последовательности разрушения целлюлозных волоконистых материалов // Проблемы комплексного использования древесного сырья: Материалы Всесоюз. конф. - Рига: ИХД АН ЛатвССР, 1984. - С. 129 - 130. [79]. Чижов Г.И., Комаров В.И. Влияние состава связующего на деформативность и прочность композита на основе каолинового волокна // Проблемы развития композиционных видов бумаги, картона и изделий из них. - Киев: УкрНИИ НТИ, 1990. - № 1. - С. 12 - 14. [80]. Casey J.P. Pulp and Paper: Chemistry and Chemical Technology. Vol. III. - New-York: A Wiley - Interscience Publication, 1989. - 1990. - P. 1447 - 1943. [81]. Markström H. The elastic properties of paper - test methods and measurement instruments - Stockholm: Lorentzen and Wettre, 1993. - 45 p. [82]. Paper making properties and structure of