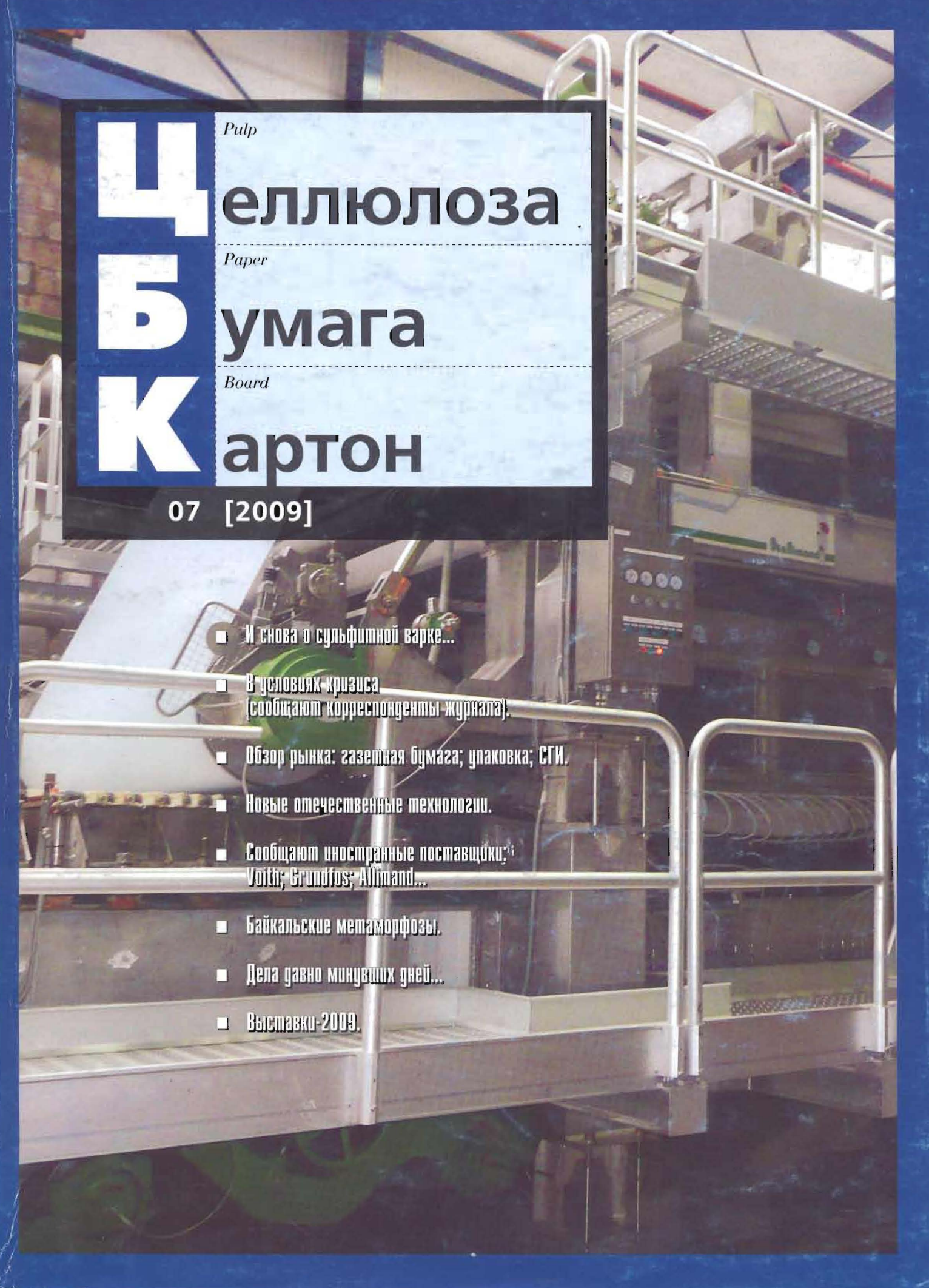




Ц

Pulp

еллюлоза

Б

Paper

умага

К

Board

артон

07 [2009]

- И снова о сульфитной варке...
- В условиях кризиса
(сообщают корреспонденты журнала).
- Обзор рынка: газетная бумага; упаковка; СГИ.
- Новые отечественные технологии.
- Сообщают иностранные поставщики:
Voith; Grundfos; Allmand...
- Байкальские метаморфозы.
- Дела давно минувших дней...
- Выставки-2009.

УДК 676.026.212 ББК 35.77

Математическая модель обезвоживания бумажной массы на гидропланках

П. В. Кауров, Н. Н. Кокушин,
СПб ГТУРП

При проектировании и модернизации, а также совершенствовании технологических режимов сеточных частей бумаго — и картоноделательных машин расчет обезвоживания бумажной массы позволяет проводить проверку обезвоживающей способности различных вариантов компоновки и технологического режима сеточных частей, что способствует уменьшению сроков разработки и сокращению объема трудоемких экспериментальных исследований.

Ввиду этого разработка математической модели обезвоживания бумажной массы на гидропланках, построенной на базе достаточно строгого учета физики процессов обезвоживания, является актуальной задачей.

Разработку расчета обезвоживания бумажной массы на гидропланках можно найти в ряде работ, например [2, 8, 9, 11]. Имеющиеся математические модели построены на основе таких исходных допущений, при которых результаты решения не имеют достаточной сходимости с экспериментальными данными по обезвоживанию на гидропланках в общем случае.

Наиболее адекватный подход к рассматриваемой задаче представлен в [6], где приведена математическая модель отлива бумажной массы на гид-

ропланках, учитывающая фильтрацию воды через формирующийся на сетке осадок, течение подсеточной воды в клине и прогиб сетки. Решение предложенной в [6] системы уравнений с использованием в расчетах завышенных значений жесткости сетки (с целью пренебрежения ее прогибом) дало сходимость с экспериментальными данными по вакууму в клине, полученными в ЦНИИБуммаше для углов наклона гидропланок $\alpha \geq 3..40$. Это показывает, что данная математическая модель может служить основой для дальнейшей разработки расчета обезвоживания бумажной массы на гидропланках с учетом плоского изгиба сетки. Следует указать, что на бумагоделательных машинах чаще используются гидропланки с углами наклона $\alpha \geq 30$; в работе [6] сходимости с экспериментальными

данными при таких углах наклона гидропланок получено не было.

С целью адекватного описания отлива бумажной массы на гидропланках при любых углах наклона была проведена доработка предложенной в [6] математической модели до возможности проведения расчетов обезвоживания с учетом прогиба сетки [4, 5]. Для этого в системе уравнений, приведенной в [6], добавлено полученное в [7] выражение для нагрузки от центробежной силы инерции слоя массы, а также, в соответствии с [12], учтено снижение величины натяжения сетки из-за ее трения на обезвоживающих элементах и валах.

Таким образом, доработанная математическая модель обезвоживания бумажной массы на гидропланках имеет вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d^2 p(x)}{dx^2} &= \frac{12\mu}{h^3(x)} \left(-V_\Phi(x) + \frac{V_c}{2} \frac{dh(x)}{dx} - \frac{h^2(x)}{4\mu} \frac{dh(x)}{dx} \frac{dp(x)}{dx} \right); \\ V_\Phi(x) &= \frac{K \cdot (c_o - c'_{oo}) \left(-\frac{p(x)}{\gamma} + h_o - h_2(x) + \frac{q(x)}{\gamma} \right)}{(c'_{oo} - c_m) \cdot h_2(x)}; \\ h_2(x) &= \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot (c_o - c'_{oo})}{(c'_{oo} - c_m) \cdot V_c} \cdot \left[\int_0^x \left(\frac{-p(x)}{\gamma} + h_o + \frac{q(x)}{\gamma} \right) dx + A \right]}; \\ h(x) &= a + b \cdot x + z(x); \quad b = \operatorname{tg}(\alpha); \\ \frac{d^4 z(x)}{dx^4} - n^2 \cdot \frac{d^2 z(x)}{dx^2} &= m \cdot [\gamma \cdot [h_o - h_2(x)] - p(x) + q(x)]; \\ q(x) &= -\rho \cdot h_o \cdot V_c^2 \cdot \frac{d^2 z(x)}{dx^2}; \quad n^2 = \frac{T}{EJ}; \\ T &= 2 \cdot T_o \cdot \frac{e^{\sum f \cdot \beta}}{e^{\sum f \cdot \beta} + 1} - \sum R \cdot f; \quad m = \frac{1}{EJ}; \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где $p(x)$ — вакуум в клине гидропланки; $V_{\phi}(x)$ — скорость фильтрации; $h(x)$ — зазор между сеткой и гидропланкой; $h_2(x)$ — толщина профильтрованного слоя; $z(x)$ — прогиб сетки; μ — вязкость подсеточной воды; $q(x)$ — нагрузка на сетку от центробежной силы инерции слоя массы; V_c — скорость сетки; γ — удельный вес бумажной массы; h_0 — толщина слоя бумажной массы на сетке в начале гидропланки; K — коэффициент фильтрации; c'_{∞} — концентрация обезвоживаемой бумажной массы; c_0 — концентрация осевшего слоя; c_m — концентрация подсеточной воды; A — гидравлическое сопротивление сетки; a — величина зазора между сеткой и гидропланкой в начале клина; α — угол наклона планки; T — натяжение сетки; T_0 — предварительное натяжение сетки; EJ — жесткость сетки; R — равнодействующая сил, прижимающих сетку к поверхности обезвоживающих элементов; f — коэффициент трения сетки по поверхности контактирующего с ней элемента; β — угол охвата сеткой приводного вала; ρ — плотность бумажной массы; x — координата, отсчитываемая по длине наклонного участка гидропланки.

При решении системы (1) совместно с уравнением для прогиба сетки между гидропланками граничные условия для функции прогиба используются в виде:

$$\begin{cases} z(0) = 0; & z(L) = 0; \\ z''(0) = 0; & z''(L) = 0; \end{cases} \quad (2)$$

где L — расстояние от начала наклонного участка гидропланки до следующей опоры сетки.

Граничные условия для функции вакуума приняты в виде:

$$p(0) = p(l) = 0, \quad (3)$$

где l — длина наклонного участка гидропланки.

Использование таких граничных условий обусловлено результатами

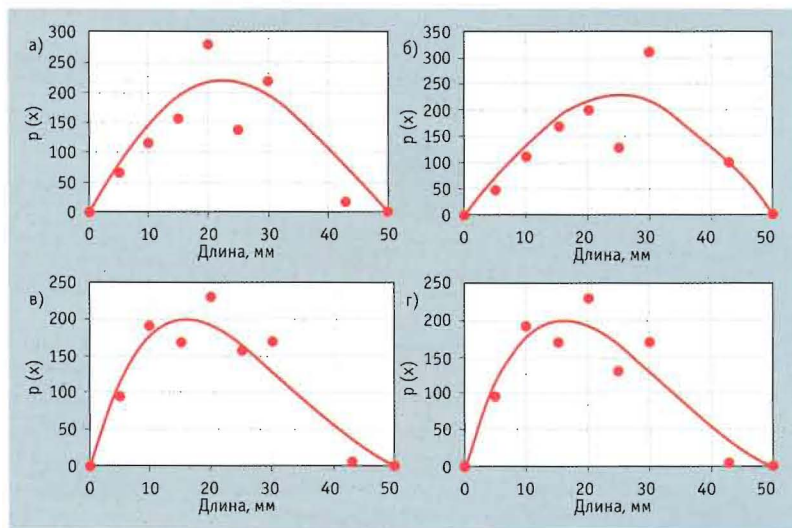


Рис. 1. Распределение вакуума в клине гидропланки при различных режимах: а) 2°, 400 м/мин; б) 2°, 500 м/мин; в) 3°, 400 м/мин; г) 3°, 500 м/мин; (● — эксперимент; — — расчет; $p(x)$ — вакуум, мм вод. ст.)

экспериментальных исследований в ЦНИИБуммаше [6] по обезвоживанию бумажной массы на гидропланках с длиной наклонного участка 50 мм при использовании бронзовой сетки № 24, в ходе которых было выявлено отсутствие ее налегания на начало наклонного участка гидропланки. Это позволяет считать, что начало возникновения вакуума при использовании достаточно жестких сеток совпадает с началом наклонного участка гидропланки.

На рис. 1 в качестве примера приведены некоторые результаты расчетов, выполненных с учетом прогиба сетки и данные экспериментальных исследований на полупромышленной установке ЦНИИБуммаша, полученные для различных скоростей сетки, углов наклона гидропланки и с использованием бронзовой сетки № 24. В расчетах использовалась действительная величина жесткости сетки.

В целом среднее отклонение в одном опыте расчета от данных эксперимента по вакууму не превысило 12,5 %, следовательно, доработанную матема-

тическую модель (1) можно считать пригодной для расчета обезвоживания бумажной массы на гидропланках с учетом прогиба сетки при отсутствии налегания используемой сетки на начало наклонного участка гидропланки, то есть при использовании достаточно жестких сеток.

В зависимости от назначения формирующие сетки имеют различные характеристики: число, диаметр и материал нитей и структуру их переплетения, которые влияют на величину жесткости сетки [3]. Так, по структуре переплетения в настоящее время синтетические формирующие сетки представлены от традиционных однослойных до сложных многослойных и структурно связанных сеток. При эксплуатации синтетических однослойных сеток, вследствие их меньшей жесткости возможно сокращение активной длины гидропланок из — за частичного налегания сетки на планку [1, 12].

Для сопоставления величин жесткости бронзовой сетки № 24 и, например, современной синтетической структурно — связанной сетки № 22

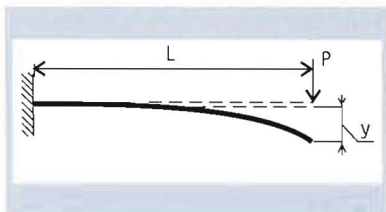


Рис. 2. Расчетная схема для определения прогибов сетки (L — длина сетки, P — сила на конце пролета, y — прогиб края сетки)

были проведены экспериментальные исследования их изгибных деформаций по схеме, изображенной на **рис. 2**.

Величина жесткости здесь определяется, согласно [10], по формуле:

$$EJ = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot y} \quad (4)$$

Результаты зависимости получаемых относительных прогибов от изменения приложенной силы приведены на **рис. 3**.

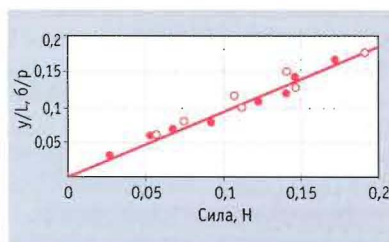


Рис. 3. Зависимость между приложенной силой и относительным прогибом y/L края сетки при ее консольном вывешивании (— расчет; ● — бронзовая сетка № 24; ○ — синтетическая сетка № 22)

Можно сделать вывод о том, что жесткость современной синтетической структурно — связанной сетки примерно соответствует значению жесткости бронзовой сетки.

Это дает возможность считать, что условия ранее проведенных в ЦНИИ-Буммаше экспериментальных исследований обезвоживания на гидро-

планках с использованием бронзовой сеткой № 24 примерно соответствуют условиям, имеющим место при эксплуатации современных синтетических структурно — связанных и многослойных сеток.

Выводы

1. Представлена математическая модель обезвоживания бумажной массы на гидропланках, учитывающая фильтрацию воды через формирующийся на сетке осадок, течение подсеточной воды в клине, прогибы и жесткость сетки, силы инерции слоя бумажной массы и переменность натяжения сетки при ее эксплуатации.

2. Результаты решения математической модели показывают хорошую сходимость с данными экспериментальных исследований по распределению вакуума в клине гидропланки при отсутствии налегания используемой формирующей сетки на начало наклонного участка гидропланки, то есть при достаточно жестких сетках, например, многослойных и структурно связанных.

Список литературы.

1. **Абрамович А. Д.** Опыт применения синтетических сеток и гидропланок // Бумажная промышленность. — 1975. — № 7. — С. 23 — 25.
2. **Ильинский А. М.** Моделирование условий обезвоживания бумажной массы на сеточной части бумагоделательной машины: Автореф. дисс. канд. техн. наук / А. М. Ильинский — Ленинград, 1981. — 20 с.
3. **Кауров П. В.** Исследование изгибных деформаций сеток бумагоделательных машин / П. В. Кауров, Н. Н. Кокушин // Машины и аппараты целлюлозно — бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. — СПб.: СПбГТУРП, 2007. — С. 10 — 13.
4. **Кауров П. В.** Расчет обезвоживания бумажной массы на гид-

ропланках с учетом прогиба сетки / П. В. Кауров, Н. Н. Кокушин // Машины и аппараты целлюлозно — бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. — СПб.: СПбГТУРП, 2007. — С. 6 — 9.

5. **Кауров П. В.** Экспериментально — теоретическое исследование распределения вакуума в клине гидропланки / П. В. Кауров, Н. Н. Кокушин // Машины и аппараты целлюлозно — бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. — СПб.: СПбГТУРП, 2008. — С. 25 — 28.

6. **Кокушин Н. Н.** Обезвоживание бумажной массы на гидропланках [Текст] / Н. Н. Кокушин // Машины, конструирование, расчеты и оборудование ЦБП: межвуз. сб. науч. тр. — Л.: ЛТА, 1978. — С. 57 — 62.

7. **Кокушин Н. Н.** Рациональное профилирование гидропланок / Н. Н. Кокушин // Машины, конструирование, расчеты и оборудование ЦБП: межвуз. сб. науч. тр. — Л.: ЛТА, 1979. — С. 87 — 89.

8. **Кокушин Н. Н.** Теория и расчет процессов отлива бумажного полотна: Автореф. дис. докт. техн. наук. — Ленинград, 1987. — 32 с.

9. **Кугушев И. Д.** Исследование движения жидкости в зазоре между сеткой и регистровым валиком или гидропланкой / И. Д. Кугушев, Н. И. Дружинин, А. Е. Слуцкий // Машины и аппараты целлюлозно — бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. — Л.: ЛТА, 1974. — С. 3 — 12.

10. **Тимошенко С. П.** Механика материалов / С. П. Тимошенко, Д. Гере. — М.: Мир, 1976. — 672 с.

11. **Шорохов В. В.** Теоретическое и экспериментальное исследование распределения вакуума в зазоре гидропланки // Состояние и перспективы развития технологии и оборудования ЦБП: материалы научно — технической конференции — Л.: ЛТИ ЦБП, 1982. — С. 139.

12. **Шухман Ф. Г.** Сетки бумагоделательных машин. — М.: Лесная промышленность, 1988. — 208 с.