

## 4. ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ. БИОТЕХНОЛОГИЯ

---

УДК 676.02.21.001.37

Т.Н. Александрова, В.К. Дубовый, И.В. Ключкин, А.В. Тверитина

### К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ БУМАЖНОЙ МАССЫ НА СЕТОЧНОМ СТОЛЕ БДМ

*Введение.* Сеточная часть бумагоделательных машин (БДМ) предназначена для формования и обезвоживания волокнистой суспензии и превращения её во влажное бумажное полотно концентрацией от 18 до 22% (в зависимости от вырабатываемой продукции). В сеточной части из массы удаляется 96–98% воды, из которых 80% – в регистровой части, 14–16% – на отсасывающих ящиках, 2% – на гауч-вале. В прессовой и сушильной частях удаляется по 1–1,5% влаги. Это объясняется тем, что удаление воды путем фильтрации – наименее энергозатратный процесс. Обезвоживание в сеточной части в 60–70 раз дешевле, чем в прессовой, что, в свою очередь, в 10–12 раз дешевле, чем в сушильной [Иванов, 2006; ИТС 1-2015, 2015; Фляте, 1988]. Кроме того, качество бумаги напрямую зависит от формования полотна на сеточном столе. На сеточном столе БДМ происходят начальные процессы формования и обезвоживания бумажного полотна, такие как фильтрация воды сквозь сетку с формированием слоя осевших волокон [Куров и др., 2006]. Таким образом, эффективность процесса формования предопределяется характером изменения концентрации массы и высоты слоя суспензии вдоль сеточного стола.

Сегодня целлюлозно-бумажная промышленность сталкивается с проблемами одновременного эффективного использования капиталоемких активов и экологичности при использовании ресурсов и коммунальных услуг, а также в отношении обращения с отходами. Однако производственные линии недостаточно гибки, чтобы соответствовать сегодняшним требованиям, из-за сложной динамики и жестких производственных условий. Преимущество применения методов моделирования в производственных процессах

целлюлозно-бумажной промышленности способствует лучшему пониманию механизма процессов и их управления [Blanco и др., 2009].

Сеточную часть можно считать одной из самых сложных для моделирования из-за сочетания гидродинамики и коллоидной химии. Контроль в мокрой части – это многопараметрический процесс, направленный на снижение колебания качества листа и сохранение его на заданном уровне при длительных перерывах в работе, при смене параметров производства и после изменения расхода. Важной задачей для моделирования процессов обезвоживания в регистровой части сеточных частей является прогнозирование свойств бумаги на основе данных о технологических параметрах процесса и конструктивных особенностях обезвоживающих элементов.

Вопросы моделирования процессов формирования и обезвоживания бумажного полотна рассматривали в ряде работ отечественных и зарубежных ученых [Реунов, 2018; Куцубина, Санников, 2010; Рогов 2003; Ushakov и др., 2021; Klemona, Tuganen, 2001]. На данный момент актуальным является вопрос программного моделирования процессов и производств, так как это позволяет уйти от физического эксперимента. Сложный характер материалов является одной из самых больших проблем и самым большим препятствием для любого электронного описания процесса производства бумаги. Во многом это связано с трудностью применения инструментов управления в реальном времени для процессов, которые включают значительные задержки по времени, и высокой степенью взаимодействия между различными производственными процессами.

Вопросы сквозного последовательно расчета процессов на сеточной части освещены недостаточно и требуют дополнительных исследований.

Исходя из актуальности вопроса, основной целью исследования стали разработка алгоритма моделирования процесса обезвоживания на сеточном столе БДМ и его программная реализация для обоснования эффективных конструктивных параметров обезвоживающих элементов.

Для реализации поставленной цели поставлен и решен ряд задач: уточнение и обоснование теоретических предпосылок расчета процессов обезвоживания бумажного полотна; обоснование алгоритма расчета и его программная реализация; моделирование процесса применительно к реальному процессу обезвоживания для офсетной бумаги; выработка рекомендаций по оптимизации конструктивных параметров обезвоживающих элементов на основе данных моделирования.

#### *Методика исследования.*

Принципиальная схема сеточной части БДМ показана на рис. 1.

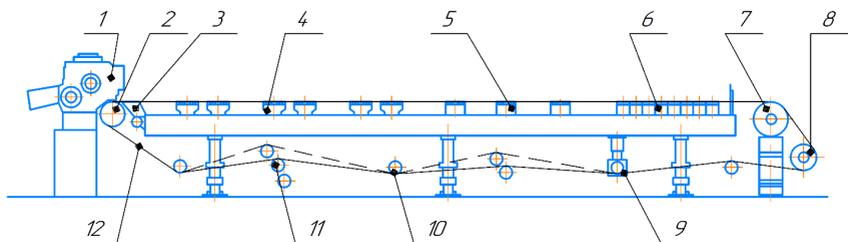


Рис. 1. Сеточная часть:

1 – напорный ящик; 2 – грудной вал; 3 – формующий ящик; 4 – ящик гидропланок; 5 – мокрый отсасывающий ящик; 6 – отсасывающий ящик; 7 – отсасывающий вал; 8 – ведущий вал; 9 – сеткоправка; 10 – сетководущий вал; 11 – сетконатяжка; 12 – сетка

Fig. 1. Wet end part:

1 – pressure box; 2 – breast roll; 3 – forming box; 4 – hydrofoil box; 5 – wet suction box; 6 – register roll; 7 – suction box; 8 – suction roll; 9 – driving shaft; 10 – wire rod; 11 – wire shaft; 12 – wire stretcher; 13 – wire

В настоящее время основными обезвоживающими элементами в сеточной части являются гидропланки, типичная конструкция которых показана на рис. 2, где  $X_k$  и  $X_f$  горизонтальные координаты [Александров, Александрова, 2015]:

Сетка опирается на плоскую переднюю часть гидропланки шириной 12,5 мм, скос передней кромки к сетке составляет  $30^\circ$ . Угол наклона остальной поверхности может варьироваться в пределах  $1-5^\circ$ . Конструкция гидропланки должна исключать ее прогиб и вибрацию. Для создания легкого импульса, заменяющего тряску и улучшающего формирование бумажного полотна, переднюю кромку гидропланки слегка закругляют. Кроме стационарных гидропланок применяют также гидропланки аналогичной формы, но с регулируемым углом наклона ее поверхности по отношению к сетке [Иванов, 2006; Александров, Александрова, 2015].

Основой для общего уравнения определения скорости фильтрации является закон Дарси, который имеет вид [Кокушин, 1987, 2000]:

$$V_\phi(t) = \frac{d(h(t))}{dt} = K_\phi \frac{\Delta H(t)}{\Delta l(t)}, \quad (1)$$

где  $V_\phi$  – скорость фильтрации, м/с;  $t$  – время, с;  $h$  – толщина слоя профильтрованной под сетку воды, м;  $K_\phi$  – коэффициент фильтрации, м/с;  $\Delta H$  – напор, м;  $\Delta l$  – толщина осевшего на сетке слоя волокон, м.

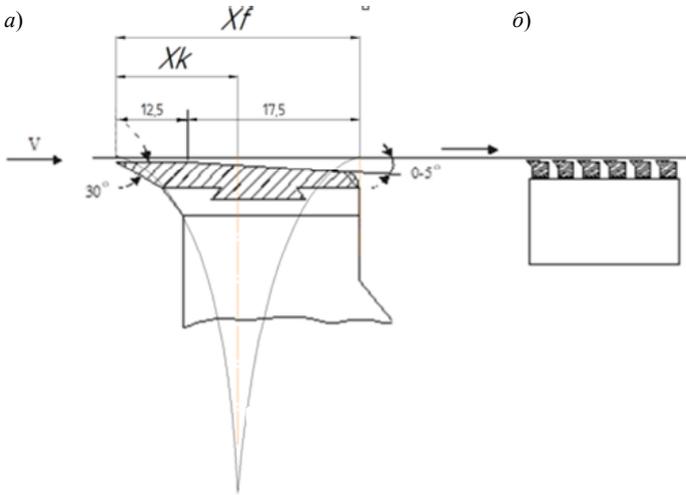


Рис. 2. Гидропланки:

*a* – одинарная гидропланка; *б* – пакет гидропланок

Fig. 2. Hydrofoils:

*a* – single hydrofoil; *b* – hydrofoil packag

При процессе фильтрации массы через слой осевших волокон и сетку потеря напора описывается уравнением

$$\Delta H = \mu V_{\phi} a_{в} + \rho V_{\phi}^2 b_{и}, \quad (2)$$

где  $\mu$  – вязкость воды, Па·с;  $V_{\phi}$  – скорость фильтрации, м/с;  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $a_{в}$ ,  $b_{и}$  – вязкостной и инерционный коэффициенты сопротивления обезвоживанию.

Расчет обезвоживания на открытых участках сетки производится по формулам

$$H(x) = h_n, \quad (3)$$

$$f(x) = \rho(x) g h_n, \quad (4)$$

где  $H$  – напор на участке, м;  $x$  – координата вдоль оси сетки, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $h_n$  – сопротивление слоя бумажной массы на сетке, м;  $f(x)$  – функция изменения вакуума в зависимости от горизонтальной координаты,  $x$ .

При расчете гидропланки учитывается, что поток воды, попавшей на нее разделяется на два: нисходящий и восходящий, последний может оказывать давление на сетку и проходить через нее.

Гидравлический напор на гидропланке вычисляется по формуле:

$$H = \frac{V_{\phi}^2 \cdot \sin \beta \cdot h_p (1 - \cos \beta)}{8gX_k}, \quad (5)$$

где  $X_k$  – расстояние от передней кромки гидропланки в горизонтальной плоскости до максимума фильтрационного напора восходящего потока, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $h_p$  – высота подсеточного слоя суспензии, м;  $\beta$  – угол передней кромки гидропланки, град.

Скорость фильтрации можно представить в виде:

$$V_{\phi} \cdot \sin \beta = \sqrt{2g(H - h_p - h_c)}, \quad (6)$$

где  $h_n$  – сопротивление слоя бумажной массы на сетке, м;  $h_i$  – гидродинамическое сопротивление сетки, м.

$$h_c = \zeta V_{\phi}^2, \quad (7)$$

где  $\zeta$  – коэффициент сопротивления сетки.

Так как слой осевших волокон размывается в набегающем клине, то фильтрация на сетке в сбегавшем водяном клине начинается с новым осаждением волокон из бумажной массы концентрацией  $C_0$  и переменным фильтрационным напором, который можно выразить следующей функцией:

$$H = f(x). \quad (8)$$

В первом приближении начальную часть сбегавшего водяного клина можно рассматривать как поршневой насос. При этом скорость фильтрации воды в сбегавший водяной клин равна скорости увеличения расстояния между сеткой и наклонной поверхностью гидропланки [Александров, Александрова, 2015]:

$$V_{\phi} = V \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (9)$$

где  $V$  – скорость сетки, м/с;  $\gamma$  – угол наклона гидропланки, град.

Поэтому высота слоя удаленной воды равна высоте слоя сбегавшего водяного клина:

$$\Delta h = y = X \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad (10)$$

Процесс обезвоживания описывается уравнением баланса массы –

$$h_0 = h_n + \Delta h \quad (11)$$

и баланса волокна –

$$h_0 C_0 = (h_n - \Delta l) C_0 + \Delta l C + \Delta h C_R, \quad (12)$$

где  $\Delta l$  – прирост фильтрующего слоя, м;  $h_0, h_n$  – высота надсеточного слоя до и после обезвоживания соответственно, м;  $C_0$  – концентрация массы в надсеточном слое, %;  $C$  – концентрация слоя осевших волокон, %;  $C_R$  – концентрация регистровых вод, %.

После подстановки (10) в (11) получается:

$$\Delta l = \Delta h \frac{C_0 - C_R}{C - C_0}. \quad (13)$$

Подставим (9) в (12), а затем в уравнение Дарси (считая, что  $l_0 = 0$ ):

$$V_\phi = \frac{kH(C - C_0)}{X \cdot \text{tg } \gamma(C_0 - C_R)}, \quad (14)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации, м/с.

Исходя из вышеизложенного, скорость фильтрации можно выразить следующим образом:

$$V_\phi = \frac{d(\Delta h)}{dt} = \frac{Vd(\Delta h)}{dX}, \quad (15)$$

где  $\Delta h$  – высота слоя бумажной массы, м.

Отсюда:

$$\begin{aligned} \Delta h = & \int_0^{X_k} \frac{1}{V_\phi} \sqrt{\left( \frac{V_\phi^2 \cdot \sin \beta}{2g} \sin \frac{\pi X}{2X_k} - h_n - \zeta \cdot V_\phi^2 \cdot \sin^2 \beta \right)} dX + \\ & + \int_{X_k}^{2X_k} \frac{1}{V_\phi} \sqrt{\left( \frac{V_\phi^2 \cdot \sin \beta}{2g} \left( 1 - \cos \frac{\pi X + 2\pi X_k}{2X_k} \right) - h_n - \zeta \cdot V_\phi^2 \cdot \sin^2 \beta \right)} dX. \end{aligned} \quad (16)$$

Расчет процесса обезвоживания ведется последовательно на расчетных участках обезвоживания в зависимости от сил, действующих в пределах расчетного участка. Выходные данные предыдущего участка являются исходными данными для последующего участка обезвоживания бумажного полотна.

*Результаты исследования.* Алгоритм реализован программно. Скриншот программы с исходными данными для моделирования приведен на рис. 3.

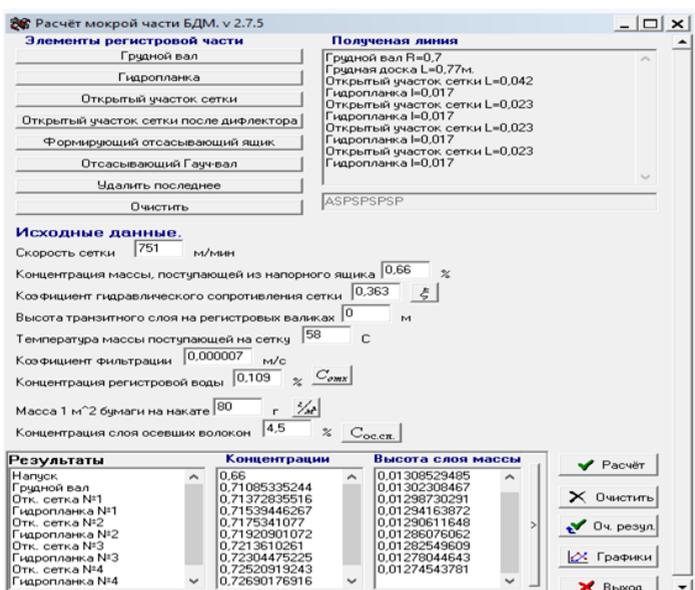


Рис. 3. Программа для расчета обезвоживания в сеточной части БДМ  
 Fig. 3. Program for calculation of dewatering in wet end of the paper machine

С использование программы был произведен расчет обезвоживания бумажного полотна в начале сеточного стола на действующей БДМ одного из отечественных предприятий для производства офсетной бумаги.

Некоторые исходные данные представлены в табл. 1. Исследовался участок, включающий девять зон обезвоживания, расчетные участки показаны на рис. 4.

Таблица 1

**Исходные данные**

**Input data**

Параметры	Значение	Единица измерения
Скорость сетки	751	м/с
Концентрация в напорном ящике	0,66	%
Концентрация подсеточной воды	0,109	%
Вес на накате	80	г/м <sup>2</sup>
Температура массы, поступающей на сетку	58	С <sup>o</sup>
Коэффициент фильтрации	0,000007	м/с

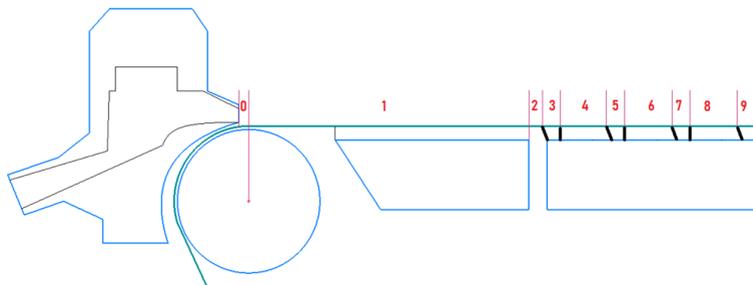


Рис. 4. Схема для расчета обезвоживания в начале сеточного стола:  
 0 – зона напуска; 1 – зона грудной вал + грудная доска; 2 – открытый участок сетки; 3, 5, 7, 9 – зона обезвоживания на гидропланке; 4, 6, 8 – открытые участки сетки внутри пакета гидропланок

Fig. 4. Schematic for the calculation of dewatering at the beginning of the wet end: 0 – zone of the intake; 1 – zone of the breast roll + breast board; 2 – open section of the wire mesh; 3, 5, 7, 9 – dewatering zone on the hydrofoil; 4, 6, 8 – open sections of the mesh inside the hydrofoil package

Результаты программного расчета приведены в табл. 2, 3. На рис. 5, 6 приведены данные расчета сухости бумажного полотна вдоль сеточного стола на различных участках сетки при изменении угла наклона гидропланок.

Таблица 2

### Изменение концентрации массы в зависимости от угла наклона гидропланки

#### Variation of the mass concentration depending on the angle of the hydrofoil

Участок обезвоживания	Концентрация массы, %, при угле наклона гидропланок, градус				
	1	2	3	4	5
0	0,66000	0,66000	0,66000	0,66000	0,66000
1	0,71085	0,71085	0,71085	0,71085	0,71090
2	0,71373	0,71298	0,71298	0,71298	0,71300
3	0,71539	0,71381	0,74735	0,73837	0,73310
4	0,71753	0,71594	0,74959	0,74059	0,73530
5	0,71921	0,71678	0,78567	0,76694	0,75600
6	0,72136	0,71892	0,78804	0,76925	0,75830
7	0,72304	0,71976	0,82587	0,79658	0,77970
8	0,72521	0,72191	0,82836	0,79898	0,78200
9	0,7269	0,72275	0,86798	0,82731	0,80400

Таблица 3

**Изменение высоты слоя массы в зависимости от угла наклона  
гидропланки**

**Changing the height of the mass layer depending on the angle of inclination  
of the hydrofoil**

Участок обезвоживания	Высота слоя массы, м, при угле наклона, град				
	1	2	3	4	5
0	0,01429	0,01429	0,01429	0,01429	0,01429
1	0,01309	0,01309	0,01309	0,01309	0,01309
2	0,01302	0,01304	0,01304	0,01304	0,01304
3	0,01299	0,01302	0,01234	0,01251	0,01262
4	0,01294	0,01298	0,01229	0,01247	0,01257
5	0,01291	0,01296	0,01164	0,01197	0,01217
6	0,01286	0,01291	0,0116	0,01193	0,01213
7	0,01283	0,01289	0,01099	0,01145	0,01174
8	0,01278	0,01285	0,01095	0,01141	0,01170
9	0,01275	0,01283	0,01038	0,01096	0,01133

Анализ данных, приведенных на рис. 5, показывает резко экстремальный характер зависимости, и с увеличением угла наклона гидропланки до 3° включительно происходит увеличение концентрации массы, при дальнейшем увеличении угла наклона происходит снижение показателя. Данная тенденция прослеживается на всем исследуемом диапазоне процесса обезвоживания. Таким образом, при изменении угла наклона гидропланки от 1° (действующая схема) до 3° сухость бумажного полотна можно повысить на 0,21% на исследуемом участке.

*Выводы.* Таким образом, используя предложенный алгоритм и специально разработанную программу, позволяющую учитывать конструктивные особенности гидропланок, произведен расчет обезвоживания в начале сеточного стола на действующей БДМ одного из отечественных предприятий для производства офсетной бумаги.

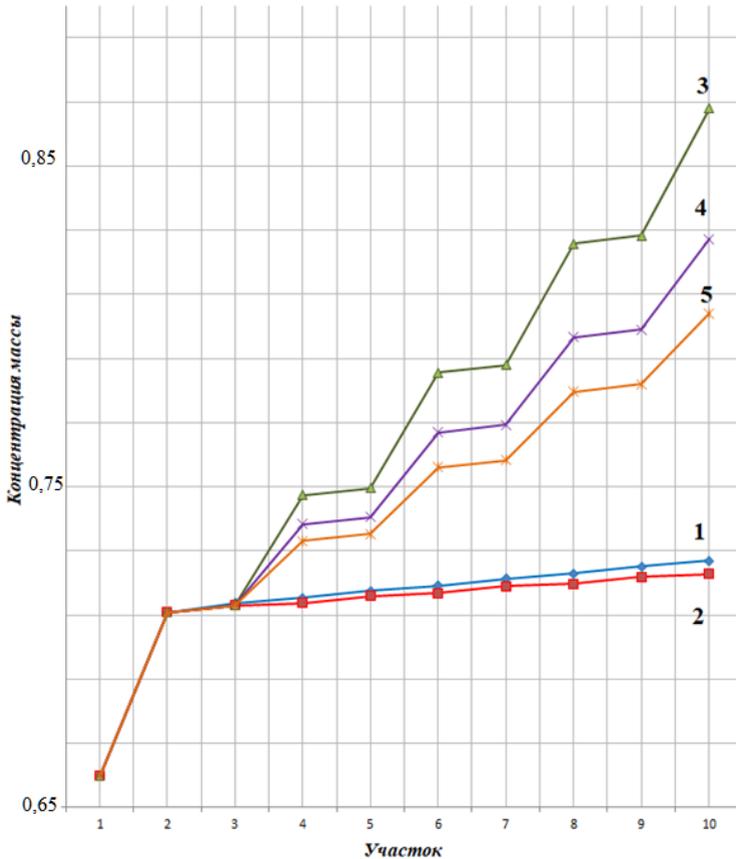


Рис. 5. Изменение концентрации массы вдоль сеточного стола (Номер кривой соответствует углу наклона гидропланки)

Fig. 5. Variation of the mass concentration along the wire table (The number of the curve corresponds to the angle of inclination of the hydrofoil)

На основании проведенных исследований и результатов моделирования разработаны научно обоснованные рекомендации по совершенствованию компоновки обезвоживающих элементов и угла наклона гидропланок. Изменение рабочего угла наклона гидропланок на исследуемом участке повышает эффективность обезвоживания в регистровой части на 0.21% (на исследуемом участке), что позволит повысить сухость бумажного полотна на выходе из зоны и достичь большей энергоэффективности без существенных капиталовложений в модернизацию.

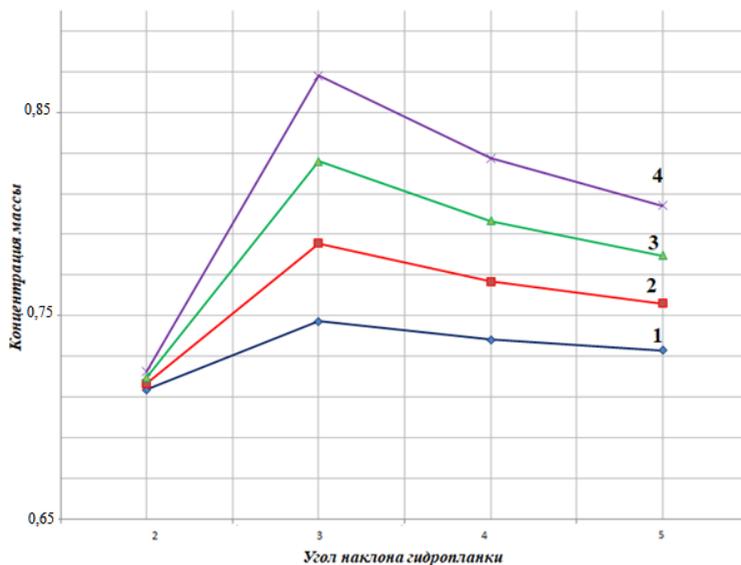


Рис. 6. Влияние угла наклона гидропланки на концентрацию массы  
1 – гидропланка 1 (уч. 3); 2 – гидропланка 2 (уч. 5); 3 – гидропланка 4 (уч. 7);  
4 – гидропланка 4 (уч. 9)

Fig. 6. Influence of hydroplane slope angle on mass concentration  
1 – hydrofoil 1 (site 3); 2 – hydrofoil 2 (site 5); 3 – hydrofoil 4 (site 7); 4 – hydrofoil 4 (site 9)

### Библиографический список

Александров А.В., Александрова Т.Н. Реология и гидродинамика процессов отлива и формования бумаги. Ч. II. Гидродинамика процессов формования бумаги: учеб. пособие. СПб.: СПбГТУРП, 2015. 133 с.

ИТС 1-2015 Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона: информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200128661>»

Иванов С.Н. Технология бумаги. 3-е изд. М.: Школа бумаги, 2006. 696 с.

Кокушин Н.Н. Теория и расчет процессов отлива бумажного полотна: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1987. 209 с.

Кокушин Н.Н. Фильтрационная характеристика бумажной массы при снижающемся напоре // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. / СПбГТУРП. СПб., 2000. С. 68–73.

Куров В.С., Кокушин Н.Н. Теория и конструкция машин и оборудование отрасли. Бумажно- и картоноделательные машины: учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 588 с.

Кудубина Н.В., Санников А.А. Моделирование рассеивания энергии колебаний в машиностроительных конструкциях ЦБП // Лесной журнал. 2010. № 3. С. 110–114.

Ревунов М.С., Салмов Е.Н. Моделирование поверхности потока бумажной массы на сетке бумагоделательной машины // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2020. № 1 (31). С. 43–50

Ревунов М.С. Совершенствование систем стабилизации параметров потока бумажной массы с использованием кросскорреляционного алгоритма // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2018. № 4 (26). С. 24–31

Рогов А.А. Моделирование функционирования восстанавливаемых систем (бумагоделательная машина) // Лесной журнал. 2003. № 6. С. 117–124

Фляте Д.М. Технология бумаги: учебник для вузов. М.: Лесн пром-сть, 1988. 440 с.

Blanco A., Dahlquist E., Kappen J., Manninen J., Negro C., Ritala R. Use of modeling and simulation in the pulp and paper industry // Mathematical and Computer Modeling of Dynamical Systems. 2009. 15:5. P. 409–423, DOI: 10.1080/13873950903375387

Ushakov E., Aleksandrova T., Romashev A. Neural network modeling methods in the analysis of the processing plant's indicators // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, 1259 AISC. P. 36–45. DOI: 10.1007/978-3-030-57453-6\_4.

Klemona K., Turunen I. State of modelling and simulation in the Finish process industry, Universities and Research Centres, TEKES, Technology Review 107/2001, Helsinki, 2001.

Hauge T.A., Slora R., Lie B. Application and roll-out of infinite horizon MPC employing a non-linear mechanistic model to paper machines // J. Process Control 15, No. 2 (2005). P. 201–213.

## References

Aleksandrov A.V. Reologiya i gidrodinamika processov otliva i formovaniya bumagi. Chast' II. Hidrodinamika processov formovaniya bumagi : ucheb. posobie. SPb.: SPbGTURP, 2015. 133 p. (In Russ.)

ITS 1-2015 Proizvodstvo tsellyulozy, drevesnoy massy, bumagi, kartona: informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200128661>» (In Russ.)

Ivanov S.N. Tekhnologiya bumagi. 3-e izd. M.: Shkola bumagi, 2006. 696 p. (In Russ.)

Kokushin N.N. Teoriya i raschet processov otliva bumazhnogo polotna: avtoref. dis. dokt. texn. nauk. L., 1987. 209 p. (In Russ.)

Kokushin N.N. Fil'tracionnaya xarakteristika bumazhnoj massy` pri snizhayushhemsya napore. Mashiny` i apparaty` cellyulozno-bumazhnogo proizvodstva: mezhvuz. sb. nauch. tr. / SPbGTURP. SPb., 2000, pp. 68–73. (In Russ.)

Kurov V.S., Kokushin N.N. Teoriya i konstrukciya mashin i obo-rudovanie otrasli. Bumago- i kartonodelatel'ny'e mashiny`: ucheb. posobie. SPb.: Izd-vo Politekn, un-ta, 2006. 588 p. (In Russ.)

*Kuczubina N.V., Sannikov A.A.* Modelirovanie rasseivaniya e`nergii kolebanij v mashinostroitel`ny`x konstrukciyax CzBP. *Lesnoj zhurnal*, 2010, no. 3, pp. 110–114. (In Russ.)

*Revunov M.S., Salmov E.N.* Modelirovanie poverxnosti potoka bumazhnoj massy` na setke bumagodelatel`noj mashiny. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol*, 2020, no. 1 (31), pp. 43–50. (In Russ.)

*Revunov M.S.* Sovershenstvovanie sistem stabilizacii parametrov potoka bumazhnoj massy` s ispol`zovaniem krosskorrelyacionnogo algoritma. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol.*, 2018, no. 4 (26), pp. 24–31. (In Russ.)

*Rogov A.A.* Modelirovanie funkcionirovaniya vosstanavlivaemy`x sistem (bumagodelatel`naya mashina). *Lesnoj zhurnal*, 2003, no. 6, pp. 117–124. (In Russ.)

*Flyate D.M.* Tekhnologiya bumagi. Uchebnik dlya VUZov. M.: Lesn prom-st`, 1988. 440 p. (In Russ.)

*Blanco A., Dahlquist E., Kappen J., Manninen J., Negro C., Ritala R.* Use of modelling and simulation in the pulp and paper industry. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, , 2009, 15:5, pp. 409–423. DOI: 10.1080/13873950903375387

*Ushakov E., Aleksandrova T., Romashev A.* Neural network modeling methods in the analysis of the processing plant's indicators. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, 1259 AISC, pp. 36–45 DOI: 10.1007/978-3-030-57453-6\_4. (In Russ.)

*Thomas D.N., Judd S.J., Fawcett N.* Flocculation modeling. *Water Res*, 33, no. 7 (1999), pp. 1579–1592.

*Klemona K., Turunen I.* State of modelling and simulation in the Finish process industry, Universities and Research Centres, *TEKES, Technology Review* 107/2001, Helsinki, 2001.

*Hauge T.A., Slora R., Lie B.* Application and roll-out of infinite horizon MPC employing a non-linear mechanistic model to paper machines. *J. Process Control* 15, no. 2 (2005), pp. 201–213.

*Материал поступил в редакцию 12.01.2022*

---

**Александрова Т.Н., Дубовый В.К., Ключкин И.В., Тверитина А.В.** К вопросу о моделировании процессов обезвоживания бумажной массы на сеточном столе бумагоделательных машин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 240. С. 234–249. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.240.234-249

Качество бумаги зависит от эффективности процессов обезвоживания формования полотна на сеточном столе бумагоделательных машин (БДМ). На сеточном столе БДМ происходят начальные процессы формования и обезвоживания бумажного полотна, такие как фильтрация воды сквозь сетку с формированием слоя

осевших волокон. Эффективность процесса формования предопределяется характером изменения концентрации массы и высоты слоя суспензии вдоль сеточного стола. На данный момент актуальным является вопрос программного моделирования процессов и производств, так как это позволяет уйти от физического эксперимента. Исходя из актуальности вопроса, основной целью исследования являлась разработка алгоритма моделирования процесса обезвоживания на сеточном столе БДМ и его программная реализация для обоснования эффективных конструктивных параметров обезвоживающих элементов. Для реализации поставленной цели поставлены и решены ряд задач: уточнение и обоснование теоретических предпосылок расчета процессов обезвоживания; обоснование алгоритма расчета и его программная реализация; моделирование процесса применительно к реальному процессу обезвоживания для офсетной бумаги; выработка рекомендаций по оптимизации конструктивных параметров обезвоживающих элементов на основе данных моделирования. С использованием разработанного алгоритма и специально разработанной программы, позволяющей проводить расчет обезвоживания в зависимости от конструктивных особенностей (в том числе) обезвоживающих, произведен расчет обезвоживания в начале сеточного стола на БДМ №11 (г. Сыктывкар) для производства офсетной бумаги. На основании проведенных исследований и результатов моделирования разработаны научно обоснованные рекомендации по совершенствованию компоновки обезвоживающих элементов и угла наклона гидропланок. Изменение рабочего угла наклона гидропланок на исследуемом участке повышает эффективность обезвоживания в регистровой части на 4,6%, что позволит повысить сухость бумажного полотна на выходе из зоны и достичь большей энергоэффективности без существенных капиталовложений в модернизацию.

Ключевые слова: обезвоживание бумажной массы; моделирование; гидропланка, офсетная бумага.

**Alexandrova T.N., Dubovy V.K., Klushkin I.V., Tveritina A.V.** On the modeling of paper pulp dewatering and forming processes in the wet end of the paper machine. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnickeskoj Akademii*, 2022, iss. 240, pp. 234–249 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.240.234–249

The quality of paper depends on the efficiency of the dewatering forming processes of paper machines (PMs). Initial forming and dewatering processes, such as filtering water through the fabric to form a settling fiber layer, are performed on the PM fabric table. The efficiency of the forming process is predetermined by the character of changes in the mass concentration and height of the suspension layer along the forming table. At the moment, the issue of program simulation of processes and productions is relevant, because it allows you to get away from the physical experiment. Proceeding from the topicality of the question, the main purpose of the

research was to develop an algorithm for modeling the process of dewatering on the PM forming table and its software implementation to justify effective design parameters of dewatering elements. To realize the goal set and solved a number of tasks: specification and substantiation of theoretical principles of calculation of the processes of dewatering; substantiation of the algorithm of calculation and its software realization; simulation of the process as applied to the real process of dewatering for offset paper and the development of recommendations for optimization of constructive parameters of dewatering elements on the basis of the data of simulation; using the developed algorithm and the specially developed program making it possible to carry out calculation of dewatering elements for offset paper. On the basis of the researches made and the results of modeling the scientifically substantiated recommendations for improving the layout of dewatering elements and the angle of hydrofoils slope are developed. Changing the working angle of inclination of hydrofoils at the investigated section increases efficiency of dewatering in the register part by 4.6%, which will allow increasing dryness of paper web at the outlet of the zone and achieving greater energy efficiency without significant investments into modernization.

**Keywords:** dehydration of paper mass; modeling; hydrofoil, offset paper.

---

**АЛЕКСАНДРОВА Т.Н.** – профессор кафедры машин автоматизированных систем Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, доктор технических наук. <https://orcid.org/0000-0002-3069-0001>  
198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: [tanya.aleksandrova2022@mail.ru](mailto:tanya.aleksandrova2022@mail.ru)

**ALEXANDROVA T.N.** – DSc (Technical), Professor of Automated Systems Machine Department, St.Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, <https://orcid.org/0000-0002-3069-0001>  
198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg, Russia. E-mail: [tanya.aleksandrova2022@mail.ru](mailto:tanya.aleksandrova2022@mail.ru)

**ДУБОВЫЙ В.К.** – профессор кафедры технологии бумаги и картона Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, доктор технических наук. <https://orcid.org/0000-0002-2903-3872>  
198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: [dubovy2004@mail.ru](mailto:dubovy2004@mail.ru)

**DUBOVY V.K.** – DSc (Technical), Professor Department of Paper and Board Technology, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, <https://orcid.org/0000-0002-2903-3872>  
1980954. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: [dubovy2004@mail.ru](mailto:dubovy2004@mail.ru)

**КЛЮШКИН И.В.** – старший преподаватель кафедры основ конструирования машин Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. <https://orcid.org/0000-0003-0704-7701>

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: klushkin09@mail.ru

**KLUSHKIN I.V.** – Senior lecturer of the Department of Machine Design Fundamentals, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. <https://orcid.org/0000-0003-0704-7701>

198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg, Russia. E-mail: klushkin09@mail.ru

**ТВЕРИТИНА А.В.** – магистр кафедры машин автоматизированных систем Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. <https://orcid.org/0000-0003-0915-1625>

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: tanya.aleksandrova2022@mail.ru

**TVERITINA A.V.** – Master Student of Automated Systems Machine Department, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. <https://orcid.org/0000-0003-0915-1625>

198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg, Russia. E-mail: ta2901@mail.ru