

УДК 676.056.5 + 676.252

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-159-168

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШИЛЬНОЙ ЧАСТИ МАШИН ДЛЯ ВЫРАБОТКИ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ВИДОВ БУМАГИ

*Д.А. Прохоров, инженер технического сервиса Voith Paper, аспирант;*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5206-4119>*

*А.С. Смолин, д-р техн. наук, проф.*

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095;

e-mail: daniel.prokhorov@gmail.com, gturp.tbik@mail.ru

Цель исследования – совершенствование методики оценки эффективности работы колпаков скоростной сушки при производстве санитарно-гигиенических видов бумаги. С ее помощью установлены сухость бумажного полотна, давление воздуха в мокрой и сухой частях скоростных конвективных сушителей, а также температура воздуха, выбиваемого из колпаков скоростной сушки. В основе методики лежит измерение этих показателей в процессе эксплуатации действующего оборудования с дальнейшей регулировкой отдельных узлов системы. При проведении эксперимента осуществлялась термографическая съемка. Установлено, что выдувание горячего воздуха на лицевой стороне колпака и подсосывание холодного на приводной стороне приводит к неравномерному профилю влажности по ширине бумажного полотна, измеренному на накате бумагоделательной машины, снижению энергетической эффективности и производительности агрегата. Индикатором эффективности может служить, например, температура выбиваемого воздуха, которая на исследуемой машине существенно отличается от нормы и составляет 175 °С. Доказана целесообразность регулярного контроля параметров воздуха при изменении технологических режимов производства. Обоснована актуальность применения каскадной системы с возможностью прямого перепуска горячего воздуха из сухой части колпака в мокрую, а также опционального регулирования влажности отработанного воздуха путем добавления или уменьшения части отработанного воздуха из сухой части. Подтверждено прямое влияние регулировки влажности отработанного в сушильной части воздуха на сокращение затрат энергоносителя, а также добавочного воздуха на величину инфильтрации и воздушный баланс системы. Комплекс мероприятий, реализуемых в рамках этой методики, позволяет добиться экономии энергоресурсов на действующих производствах. Возможный потенциал экономии газа для исследуемой машины составил 62 м<sup>3</sup>/ч, или 17 % от действующего потребления, электроэнергии на привод вентиляторов – 6,8 кВт·ч, или 4 % от актуального потребления.

*Для цитирования:* Прохоров Д.А., Смолин А.С. Оценка эффективности сушильной части машин для выработки санитарно-гигиенических видов бумаги // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 2. С. 159–168. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-159-168

*Ключевые слова:* бумагоделательная машина, санитарно-гигиенические виды бумаги, тисью, сушильная часть, колпаки скоростной сушки, потребление энергоносителя, поперечный профиль влажности, производительность машины.

### Введение

Производство санитарно-гигиенических видов бумаги (тисью) наравне с упаковкой является динамично развивающимся сегментом на рынке бумажной

продукции. Согласно статистике и экспертным исследованиям [13, 16], мировой уровень потребления тисью с 2008 по 2018 г. вырос на 34 % и в настоящее время составляет порядка 38 млн т в год. Общемировой уровень использования санитарно-гигиенических изделий находится на отметке примерно 5 кг на человека в год.

Сокращение энергетического потребления путем инвестиций в передовые технологии и практики способствует повышению конкурентоспособности российских целлюлозно-бумажных предприятий на внутреннем и внешнем рынках. Затраты на энергию при производстве тисью-продукции стоят на втором месте после затрат на сырье – 14,5 % [13, 14, 18]. Одно из возможных направлений снижения себестоимости продукции – оптимизация энергопотребления при сушке санитарно-гигиенических видов бумаг.

Самая энергоемкая часть бумагоделательной машины (БДМ) – сушильная [4, 10, 19], поэтому для интенсификации испарения влаги в процессе сушки бумажного полотна и удаления образовавшихся водяных паров применяются колпаки скоростной сушки. Главные требования, предъявляемые к таким установкам: высокая интенсивность испарения влаги, получение продукции с необходимыми качественными показателями, минимальные расходы тепловой и электрической энергии, а также эргономика в процессе эксплуатации.

В основе снижения расхода теплоты и повышения производительности машин лежит изучение закономерностей и особенностей сушки пористых волокнистых материалов, процессов кипения и испарения влаги в коллоидных капиллярно-пористых волокнистых материалах, форм связи влаги с материалом, механизмов переноса теплоты и влаги на каждой стадии сушильного процесса, кинетики сушки пористого волокнистого материала [2, 3, 6].

Тепломассообмен при обдуве бумаги, находящейся на Янки-цилиндре, протекает с высокой интенсивностью в связи с тем, что высушивается тонкая бумага, не нарушается контакт полотна с поверхностью цилиндра, применяются высокие температуры сушильного агента (в установках новых конструкций – до 800 °С) и скорость истечения струй воздуха (до 150 м/с).

Использование высокотемпературного сушильного агента на одноцилиндровых машинах, так как на них вырабатывается бумага из массы садкого помола, которая не подвергается усадочным процессам, и большие удельные влагосъемы не оказывают существенного влияния на физико-механические показатели готовой продукции [1, 14, 20, 22].

Цель исследования – выявление потенциала оптимизации и эффективности работы сушильной части (колпака скоростной сушки тисью-машины) с достижением требуемой скорости при выработке тисью-продукции.

#### *Объекты и методы исследования*

На одной из обследованных и недавно введенных в эксплуатацию тисью-машин столкнулись с проблемой пониженной эффективности сушильной части и, как следствие, с ограничением рабочей скорости агрегата. Данная машина, согласно проектной документации, имеет производительность 100 т/сут и вырабатывает многослойную продукцию санитарно-гигиенического назначения: туалетную бумагу, бумажные полотенца и некоторые другие виды тисью с диапазоном базовой плотности от 16,0 до 20,0 г/м<sup>2</sup>. Этот показатель (при ско-

рости 2100 м/мин) был достигнут только при выработке туалетной бумаги с массой 16,2 г/м<sup>2</sup>. Для сравнения: при выработке бумажных полотенец массой 18,8 г/м<sup>2</sup> максимальная скорость составила 2040 м/мин.

Для того, чтобы высушить бумажное полотно на одном цилиндре, процесс сушки необходимо значительно ускорить. Решение данной задачи достигается за счет установки колпаков скоростной сушки [1, 5, 8, 17].

Сушильная часть БДМ представляет собой комбинацию из Янки-цилиндра, обогреваемого паром, и колпака скоростной сушки, обогреваемого природным газом. Рабочие характеристики сушильного процесса приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Показатели процесса сушки на Тиссю-машине в рабочем режиме

Показатель	Значение
Масса 1 м <sup>2</sup> , г/м <sup>2</sup>	17,8
Влажность на накате, %	6,5
Ширина полотна, мм	2512
Скорость наката, м/мин	1637
Температура мокрой части колпака скоростной сушки, °С	455
Температура сухой части колпака скоростной сушки, °С	455
Диаметр Янки-цилиндра, мм	4877
Давление пара, подаваемого на цилиндр, бар	6,3
Расход газа на нагрев воздуха, поступающего в колпак скоростной сушки, м <sup>3</sup> /ч	376,2
Расход пара, поступающего на Янки-цилиндр, т/ч	4,65

Колпак состоит из мокрой и сухой частей и имеет 6 зон регулирования профиля влажности по ширине полотна в мокрой части, а также 2 зоны (по краям) – в сухой части. Функцию регулирования выполняют заслонки, степень открытия которых автоматически поддерживается актуаторами с пульта панели управления технологическим процессом [9, 21].

При оптимизации и эксплуатации колпаков скоростной сушки с газовым обогревом следует уделять внимание поддержанию соотношения топливо–воздух и температуры горячего воздуха, а также установлению кратности рециркуляции.

Согласно методике расчета колпаков скоростной сушки [7, 11, 12], расход теоретически необходимого количества воздуха для горения газообразного топлива рассчитывается по следующей формуле:

$$V^0 = 0,0476 (0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum_1^n \left( m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2), \quad (1)$$

где CO, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, O<sub>2</sub> – содержание в газообразном топливе оксида углерода, водорода, сероводорода, углеводородов и кислорода, %.

Расход газообразного топлива для достижения необходимой температуры сушильного агента определяется из уравнения теплового баланса камеры смешения [15, 17]:

$$B = \frac{C_r (L_c t_c - L_p t_p)}{(Q_H^c + \alpha_{к.сг} L_B^c c_B t_B) \eta_{к.см}}, \quad (2)$$

где  $C_r$  – средняя теплоемкость продуктов сгорания, кДж/(кг·К);  $L_c$ ,  $L_p$ ,  $L_B^c$  – массовый расход сушильного агента, рециркуляционного воздуха и теоретически необходимого количества воздуха для горения соответственно, кг/ч;  $t_c$ ,  $t_p$ ,  $t_B$  – температура сушильного агента, рециркуляционного и дутьевого воздуха соответственно, °С;  $Q_H^c$  – теплота сгорания топлива, кДж/нм<sup>3</sup>;  $\alpha_{к.сг}$  – коэффициент избытка воздуха в камере сгорания;  $\eta_{к.см}$  – КПД камеры смешения.

Неравномерный профиль влажности по ширине бумажного полотна (рис. 1) был зафиксирован сканером на накате во время обследования Тиссю-машины в рабочем режиме.

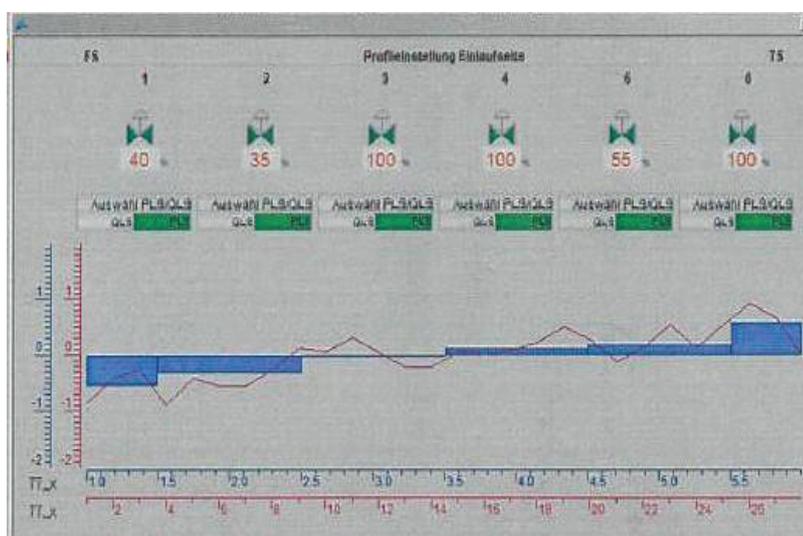


Рис. 1. Рабочие характеристики сушильного процесса и профиль влажности при производстве бумажных полотенец массой 17,8 г/м<sup>2</sup>

Fig. 1. Working characteristics of the drying process and the moisture profile during the production of paper towels with basis weight 17.8 g/m<sup>2</sup>

При этом минимальный процент открытия первых актуаторов (лицевая сторона) приводит к пересушенным краям с лицевой стороны, в то время как максимальный процент открытия последних актуаторов дает переувлажненную с приводной стороны бумагу.

Термографические снимки, сделанные на накате, также позволяют говорить о неравномерности профиля влажности. Разность температур между лицевой и приводной сторонами бумажного полотна – примерно 7 °С.

В соответствии с поставленными задачами и разработанной методикой оценки эффективности работы сушильной части машин для выработки санитарно-гигиенических видов бумаг был проведен комплекс измерений, позволяющий оценить актуальное состояние машины и эффективность сушильного процесса.

Для определения сухости бумажного полотна после прессовой части осуществлены замеры с приводной и лицевой сторон БДМ (рис. 2).

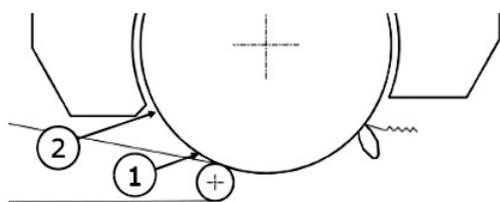


Рис. 2. Схема участка проведения замеров сухости полотна бумаги на входе в сушильную часть: 1 – лицевая сторона; 2 – приводная сторона

Fig. 2. Scheme of the area of dryness measurement of a paper web on entering the drying section: 1 – front side; 2 – drive side

Для оценки равномерности сухости бумажного полотна с приводной и лицевой сторон были отобраны 2 образца и определена их сухость. Для этого пустые колбы перед экспериментом выдерживали до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре  $(105 \pm 3)$  °С. Далее на расстоянии примерно 50 см от края с приводной и лицевой сторон отбирали пробы и помещали их в колбы. Для предотвращения потерь влаги сразу после отбора колбы моментально закрывали и взвешивали. После чего обе колбы помещали на 24 ч в сушильный шкаф с температурой  $(105 \pm 3)$  °С до достижения постоянной массы.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Проведенные измерения показали, что после прессов бумага поступает в сушильную часть с одинаковой сухостью с лицевой и приводной сторон, равной 43,3 % (табл. 2).

Таблица 2

#### Давление воздуха в сухой части колпака скоростной сушки

Позиция	Давление воздуха, мбар			Степень открытия клапана, %
	в сухой части колпака	в машинном зале	$\Delta P$	
	–	–	0,21	–
1	24,66	24,49	0,17	35
2	26,45	26,25	0,20	100
3	26,95	26,78	0,17	100
4	24,49	24,36	0,13	90

Примечание.  $\Delta P$  – разность давлений выдуваемого из колпака горячего воздуха и воздуха, подсасываемого из машинного зала.

Таким образом, на итоговый профиль влажности бумажного полотна на накате влияет только сушильная часть. Причиной инфильтрации и подсосов холодного воздуха, вызывающей снижение эффективности работы воздушного сушиителя, являются изогнутые направляющие пластины в нижней части мокрого колпака.

Также отмечен увеличенный зазор между цилиндром и направляющей пластиной, который вместо требуемых 8...10 мм [14, 21] составлял 7...10 см. Искривления и деформации зазора могут являться следствием термического расширения колпака, вызванного неправильной и неравномерной работой клапанов регулирования подачи горячего воздуха по зонам воздушного сушиителя.

Для определения состояния колпака скоростной сушки и оценки распределения потоков воздуха было измерено давление воздуха в мокрой и сухой частях колпака. Погрешность проводимых измерений составила  $\pm 0,01$  мбар.

Чтобы проанализировать изменение давления воздуха, была предпринята попытка отрегулировать открытие заслонок от 5 до 100 %. Установлено, что на лицевую сторону подается слишком много воздуха, на приводную – слишком мало.

На диаграмме, приведенной на рис. 3, хорошо видно, что клапан (актуатор) № 1 с открытием в 5 % имеет большее давление воздуха, чем другие клапаны, например с открытием в 50 %. Это говорит о том, что поперечное распределение потоков воздуха мокрой части воздушного сушителя происходит неравномерно. Сухая часть имеет регулирование только подачи воздуха на края.

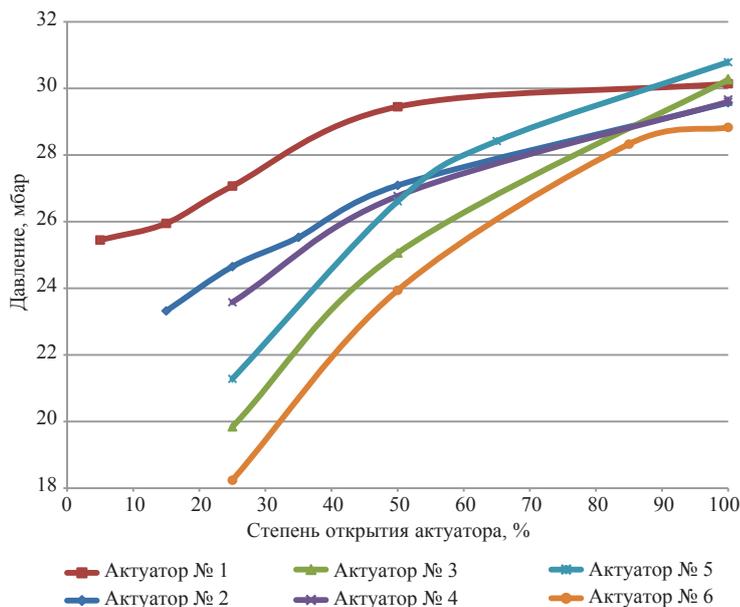


Рис. 3. Зависимость изменения давления воздуха в мокрой части колпака скоростной сушки от степени открытия актуаторов № 1–6

Fig. 3. The dependence of the change in air pressure in the wet end of a Yankee hood on the rate of opening of actuators no. 1–6

Приведенные ниже данные, для наглядности изображенные в виде диаграммы (рис. 4), свидетельствуют, что при открытии актуаторов на 100 % давление на всех клапанах примерно одинаковое ( $\Delta P = 1,10$  мбар), на 50 % – разное (5,51 мбар), на 25 % – разное по всей ширине мокрой части колпака давление (8,83 мбар).

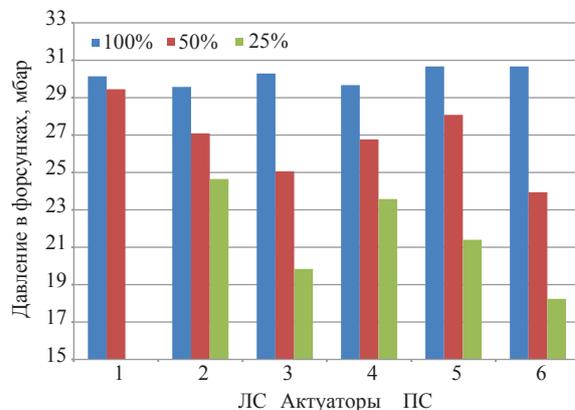


Рис. 4. Зависимость изменения давления воздуха в форсунках при изменении степени открытия актуаторов мокрой части колпака скоростной сушки от 25 до 100 % (ЛС – лицевая сторона; ПС – приводная сторона)

Fig. 4. The dependence of the change in air pressure in nozzles on the change in the rate of opening of actuators of the wet end of a Yankee hood from 25 to 100 % (ЛС – front side; ПС – drive side)

Обнаружено, что скорость воздуха при открытии клапана № 1 на 100 % ниже, чем при закрытии клапана № 6 на 50 %.

Для определения соотношения подсасываемого и выбиваемого из колпака воздуха во время работы оборудования проведены замеры температуры воздуха в 3 точках с лицевой и приводной сторон на всем протяжении колпака сушильной части: нижняя, центр, верхняя (табл. 3).

Таблица 3

#### Температуры выбиваемого воздуха

Позиция	Температура воздуха, °С	
	Мокрая часть	Сухая часть
<i>Нижняя точка</i>		
1 ЛС	83,2	32,5
2 ЛС	108,0	48,2
3 ЛС	137,8	35,2
4 ЛС	175,4	31,2
1 ПС	33,3	53,9
2 ПС	32,0	50,5
3 ПС	32,5	48,4
4 ПС	42,4	48,8
<i>Центр</i>		
1 ЛС	49,6	115,2
1 ПС	63,1	49,2
<i>Верхняя точка</i>		
1 ЛС	55,5	50,9
1 ПС	260,0	143,3

Повышенные значения температуры выбиваемого из колпака воздуха является индикатором потерь тепла. В соответствии с общемировой практикой энергоэффективного функционирования колпаков скоростной сушки [14] эта температура должна быть не более 150 °С.

Таким образом, на лицевой стороне колпака происходит выдувание горячего воздуха, а на приводной – подсасывание холодного. Температура воздуха на входе бумажного полотна в колпак скоростной сушки с лицевой стороны (до 140 °С) выше, чем с приводной стороны (30..40 °С). Инfiltrация особенно заметна с приводной стороны, а эксfiltrация – с лицевой стороны на мокрой части воздушного сушителя. Следовательно, подтверждено прямое влияние регулирования колпаков скоростной сушки на показатели энергетической эффективности процесса сушки.

#### Выводы

1. В сушильную часть бумажное полотно поступает с равномерной по ширине сухостью (43,3 %), что подтверждает решающее влияние сушильной части на его итоговый профиль влажности.

2. Оптимизация и перераспределение потоков воздуха, исключая эффекты инfiltrации холодного и эксfiltrации горячего воздуха, способствуют выравниванию профиля влажности бумажного полотна, что снижает расход газа и электропотребление вентиляторов, подающих свежий воздух.

3. Проведенные расчеты показывают, что для обеспечения производства 100 т бумаги в сутки в сравнении с действующим потреблением газа требуется меньше на 62 м<sup>3</sup>/ч (17 %), а электроэнергии на привод вентиляторов – на 6,8 кВт·ч (4 %).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бельский А.П., Лотвинов М.Д. Вентиляция бумагоделательных машин. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 216 с. [Bel'skiy A.P., Lotvinov M.D. *Ventilation of Paper Machines*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 216 p.].

2. Бойков Л.М. Совершенствование процессов контактно-конвективной сушки картона и бумаги: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2001. 422 с. [Boikov L.M. *Improving the Processes of Contact-Convective Drying of Cardboard and Paper*: Dr. Eng. Sci. Diss. Saint Petersburg, 2001. 422 p.].

3. Бойков Л.М. Повышение эффективности сушки путем модернизации паро-конденсатных систем бумагоделательных, картоноделательных машин и гофроагрегатов. СПб.: СПбГТУРП, 2014. 511 с. [Boikov L.M. *Improving the Drying Efficiency of Paper and Board Machines, and Corrugators*. Saint Petersburg, SPbSTUPP Publ., 2015. 534 p.].

4. Бойков Л.М., Прохоров Д.А., Ионин Е.Н. Модернизация систем вентиляции на предприятиях ЦБП // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2015. № 10. С. 60–64. [Boikov L.M., Prokhorov D.A., Ionin E.N. Upgrade of Ventilation Systems at the Pulp and Paper Mills. *Tsellyulosa. Bumaga, Karton* [Pulp. Paper. Board], 2015, no. 10, pp. 60–64].

5. Лакомкин В.Ю., Бельский А.П. Теплообменное оборудование предприятий (сушильные установки). СПб.: СПбГТУРП, 2006. 100 с. [Lakomkin V.Yu., Bel'skiy A.P. *Heat and Mass Exchangers of Mills (Drying Systems)*. Saint Petersburg, SPbSTUPP Publ., 2006. 100 p.].

6. Свидетельство № 2016615260 Российская Федерация. Программа расчета кинетики сушки кровельного картона в периоде прогрева: № 2016612521/69: заявл. 22.03.2016, опубл. 19.05.2016, Реестр программ для ЭВМ / Д.А. Прохоров. [Prokhorov D.A. *Program for Calculating the Drying Kinetics of the Roofing Paperboard in Warm-up Phase*. Certificate RF, no. 2016615260, 2016].

7. Свидетельство № 2017615668 Российская Федерация. Программа расчета рекуперативных воздухоподогревателей № 2017612493: заявл. 24.03.2017, опубл. 19.05.2017, Реестр программ для ЭВМ / Д.А. Прохоров, Е.Н. Ионин, Т.А. Антоненко, В.Н. Белоусов. [Prokhorov D.A., Ionin E.N., Antonenko T.A., Belousov V.N. *Program for Calculating Recuperative Airheaters*. Certificate RF, no. 2017615668, 2017].

8. Смолин А.С., Пяткова И.А. Перспективные направления развития тисью продукции // Технология и оборудование в производстве санитарно-гигиенических материалов. СПб.: МНПК, 2010. С. 20–22. [Smolin A.S., Pyatkova I.A. Promising Directions for Tissue Production Development. *Technology and Equipment in the Production of Tissue Materials*. Saint Petersburg, MNPК Publ., 2010, pp. 20–22].

9. Berardi R., Scherb T. Tissue Goes High-Speed. *Twogether*, 2012, no. 33, pp. 30–31.

10. Blechschmidt J. *Taschenbuch der Papiertechnik*. München, Carl Hanser Verlag, 2013. 650 S.

11. Boykov L.M., Prokhorov D.A., Ionin E.N., Lukianov S.A. Modernization of Steam and Condensate Systems of Drying Plants of Paper and Cardboard-Making Machines. *Materials of the 102nd International Scientific-Practical Conference "The Technical Progress of Humanity in the Context of the Continued Expansion of the Material Needs of Society"*. London, 2015, pp. 77–84.

12. Engelking P.D. *Thermodynamik*. Friedrichshafen, Germany, 2016. 134 p.

13. *Fisher Tissue Databank 2018*. Fisher International, 2019. 78 p.
14. Fleschhut E. *Development of a Technical Design Tool for Tissue Machines*. Bachelor Thesis. Ravensburg, 2018. 72 p.
15. Greenleaf C. *Where Will the Tissue Market Be in 2025?* Fisher International, Inc., 2017. Available at: [https://www.fisher.com/images/features/insights/Fisher\\_Analysis\\_Tissue\\_by\\_2025.pdf](https://www.fisher.com/images/features/insights/Fisher_Analysis_Tissue_by_2025.pdf) (accessed 15.07.19).
16. Kilby E. *CEPI Annual Statistics 2016*. 2017. 95 p.
17. Miller T., Kramer C., Fisher A. *Bandwidth Study on Energy Use and Potential Energy Saving Opportunities in U.S. Pulp and Paper Manufacturing*. U.S. Department of Energy, 2015. 94 p.
18. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. Ed. by D.W. Green, R.H. Perry. New York, McGraw-Hill, 2008. 2700 p.
19. Poling B.E., Prausnitz J.M., O'Connell J.P. *The Estimation of Physical Properties*. Ch. 1. *Properties of Gases and Liquids*. New York, McGraw-Hill, 2001. 721 p.
20. Sarli A. *Energy Optimization Package for Yankee Hoods*. Ravensburg, Voith Paper Air Systems, 2012. 4 p.
21. *Transport Phenomena and Drying of Solids and Particulate Materials*. Ed. by J.M.P.Q. Deleao, A.G. Barbosa de Lima. Basel, Switzerland, Springer, 2014. 204 p. DOI: [10.1007/978-3-319-04054-7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-04054-7)
22. Vogt M., Blum O., Hutter A., Jung H., Meyer B. *Branchenleitfaden für die Papierindustrie*. Duisburg, Arbeitsgemeinschaft Branchenenergiekonzept Papier, 2008. 180 p.

## PERFORMANCE ASSESSMENT OF THE DRYING SECTION OF MACHINES FOR THE PRODUCTION OF TISSUE PAPER GRADES

**D.A. Prokhorov**, Postgraduate Student; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5206-4119>

**A.S. Smolin**, Doctor of Engineering, Prof.

Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, ul. Ivana Chernykh, 4, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: [daniel.prokhorov@gmail.com](mailto:daniel.prokhorov@gmail.com), [gturp.tbik@mail.ru](mailto:gturp.tbik@mail.ru)

The paper presents the method for assessment the performance of high-speed Yankee hoods in the production of tissue paper grades and the results of its use in working machine. The following parameters are found applying this method: paper web dryness, air pressure in the wet and dry ends of high-speed convective dryers and temperature of the air spilled out of the hoods. The methodology is based on the measurement of these characteristics during the operation of working equipment with further adjustment of the separate system units. Thermal imaging was carried out during the experiment. It has been found that blowing hot air on the front side of the hood and sucking in the cold air on the drive side leads to uneven moisture profile (measured on the paper machine roll) across the paper web width, a decrease in energy efficiency and the machine capacity. Performance indicator may be, for instance, the spilled air temperature, which on the studied machine is significantly different from the standard value and is 175 °C. The rationality of regular monitoring of air characteristics when changing processing modes is proved. The relevance of the cascade system is substantiated, where not only a direct cascade from the dry end to the wet end is possible, but also there is an opportunity to adjust the humidity of exhaust air by addition/reduction of part of it to/from the dry end. The direct effect of adjusting the humidity of exhaust air in the drying section on reduction of energy costs, as well as the effect of make-up air on the amount of infiltration and the air balance of the system are confirmed. A set

of measures implemented within the framework of this methodology makes it possible to achieve energy saving in existing industries. The prospective saving potential of gas is 62 m<sup>3</sup>/h or 17 % of the current consumption and actual electricity consumption is 6.8 kWh or 4 % for the studied machine.

**For citation:** Prokhorov D.A., Smolin A.S. Performance Assessment of the Drying Section of Machines for the Production of Tissue Paper Grades. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 2, pp. 159–168. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-159-168

**Keywords:** paper machine, tissue paper grades, tissue, drying section, Yankee hood, energy consumption, cross-direction moisture profile, machine productivity.

Поступила 15.07.19 / Received on July 15, 2019

---

---