

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ,  
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

# Химическая ТЕХНОЛОГИЯ



**10**  
**2019**



## Технология многослойного композиционного картона тест-лайнера с использованием сухих волокон

Н.П. Мидуков<sup>1\*</sup>, канд. техн. наук; В.С. Куров<sup>1</sup>, д-р техн. наук; А.С. Смолин<sup>1</sup>, д-р техн. наук; А.В. Власов<sup>2</sup>; Т.В. Дубровина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, 198095, Россия

<sup>2</sup>ОАО «Караваяево», Московская область, Ногинский район, 142438, Россия

\*E-mail: mnp83@mail.ru

DOI: 10.31044/1684-5811-2019-20-10-445-452

Поступила редакцию 22.11.2018

После доработки 18.03.2019

Принята к публикации 26.03.2019

Исследуемый картон является многослойным композиционным материалом, в состав которого входят вторичные полимерные волокна различной природы. Результаты исследований легли в основу научно-технического проекта, целью которого являлось опытное производство многослойного картона тест-лайнера с белым покровным слоем с использованием технологии подготовки макулатуры без воды. Полученные в работе промышленные образцы продемонстрировали возможность сокращения энергетических затрат при производстве многослойного тест-лайнера, содержащего в композиции белые волокна. Из нескольких тонн выработанной продукции были взяты образцы, которые сравнивались по белизне, шероховатости, сопротивлению продавливания и разрывной длине с существующим картоном. Анализ механических и поверхностных показателей позволил рекомендовать технологию подготовки макулатурной массы без воды с целью снижения энергии при производстве картона тест-лайнера, содержащего в композиции белые волокна.

*Ключевые слова:* композиционный материал, многослойный картон тест-лайнер, сухое диспергирование, сухие волокна, вторичные волокна.

### Введение

Традиционный способ производства картона лайнера связан с большим потреблением энергии и воды. При производительности картоноделательной машины 100 т/сут затрачивается 70 МВт·ч и 1200 м<sup>3</sup> воды. Основная часть затрат при-

ходит на массоподготовительный отдел производства. Он включает: роспуск (при содержании волокна 4%, воды 96%), первичную очистку (4%), диспергирование в турбосепараторе (4% волокна), вибросортировку, размол (4%), тонкую очистку (0,5%), подачу на сетку картоноделательной машины (0,5%). Технологическая линия получения многослойного картона тест-лайнера, содержащего в композиции белые волокна, была описана в работе [1]. Практически в каждом технологическом процессе используется насос мощностью от 50—100 кВт, в зависимости от производительности и концентрации массы. Кроме того, в потоке присутствуют бассейны для получения композиции и разбавления, в которых установлены перемешивающие устройства. Экономия энергии и воды при подготовке массы для производства многослойного картона является важной задачей на сегодняшний день.

Одним из путей сокращения расходов воды и энергии является подготовка макулатуры сухим способом при производстве бумаги и картона. Однако при этом снижаются механические характеристики картона.



В идеальной ситуации процесс производства бумаги сухим способом должен начинаться со стадии варки целлюлозы без присутствия воды. Следующими логическими шагами было бы получение однородного и изотропного полотна из этих волокон вместе со всеми остальными компонентами, необходимыми для обеспечения желаемого качества конечного продукта, с минимальным количеством воды. Много лет назад Санкт-Петербургским государственным университетом растительных полимеров был разработан так называемый способ аэродинамического формования (*ADF*). По сравнению с традиционно известной технологией *Airlaid*, технология *ADF* позволяет создавать прочную бумагу без добавления связующих. На основании проведенных в России и Германии научных исследований, результаты которых были представлены в работе [2], необходимо воспользоваться преимуществами как одного, так и другого способов для производства многослойного картона лайнера. Многослойное формование картона лайнера мокрым способом было изучено во второй половине 20 века. В начале 21 века активно используется в качестве сырья макулатура, которая создает определенные проблемы при производстве многослойного картона. На решение проблем, связанных со снижением бумагообразующих свойств многослойного тест-лайнера, направлены проекты, проводимые в Северном арктическом федеральном университете (САФУ) под руководством профессора Казакова Я.В. В его работах большое внимание уделяется механическим параметрам волокнистого материала, его деформационным характеристикам [3].

Макулатура как вид сырья, ее особенности исследовались профессором Дулькиным Д.А., являющимся также владельцем одного из крупных заводов России по производству многослойного картона тест-лайнера. В его последних работах рассматриваются современные методы

контроля качества макулатурного сырья, в том числе технологические параметры волокнистой массы [4]. Зарубежные компании, производители формующего оборудования, такие как *Voith*, *Valment*, приносят наиболее современные результаты в области многослойного формирования тест-лайнера в своих отраслевых журналах. Начиная от традиционных вакуумформеров [5], работающих с середины 20 века, заканчивая конструкциями современных формеров, позволяющих получать картон 2-, 3-, 4-слойный [6]. Компания *Metso*, вошедшая сегодня в современный европейский концерн *Valmet*, представила варианты использования многоканальных напорных ящиков для получения многослойного картона тест-лайнера [7]. Перечисленные работы ученых и инженеров не учитывают использование в технологии массоподготовки волокон, полученных сухим способом, а представленные конструкции зарубежных фирм не способны эффективно работать при изменении способа производства картона. В то же время сухой способ нашел применение в производстве особых видов бумаги: фильтрованных санитарно-гигиенических. Наиболее современные исследования в области сухого диспергирования проводятся под руководством профессора Гроссмана Х. (Германия). На его кафедре были получены зависимости, показывающие влияние сухого способа подготовки на механические параметры многослойного картона и фильтровальных видов бумаг. В целом проекты были направлены на снижение энергетических и водных затрат при производстве многослойного картона специального назначения [8, 9].

Полностью исключить воду при производстве картона не удастся, однако снизить ее до минимально допустимого расхода необходимо. Поэтому рационально часть макулатуры подготавливать сухим способом, снижая энергетические затраты при сохранении механических параметров картона.



Ранее проведенные лабораторные исследования указывали на возможность использования сухого диспергирования при производстве картона [10]. Однако действующих промышленных предприятий, использующих сухой способ подготовки волокон, не существует. Поэтому необходимо разработать принципиально новый подход использования сухого диспергирования макулатуры, при этом разработка новой технологии должна подтверждаться промышленной выработкой. Реализация этой задачи стала ключевым моментом в снижении затрат воды и энергии при производстве картона.

Для решения проблемы были поставлены следующие задачи:

— разработка технологии подготовки сухих волокон макулатуры в объеме, требующемся для проведения промышленной выработки;

— проведение промышленной выработки многослойного картона с использованием технологии сухого диспергирования макулатуры;

— анализ механических и поверхностных показателей картона и оценка качества полученных образцов многослойного картона, содержащего в композиции белые волокна.

### Материалы и методы исследований

В качестве сырья для производства картона тест-лайнера использовалась макулатура МС-5Б для нижнего слоя. Этот вид макулатуры является основным сырьем при производстве картона. Для верхнего белого слоя использовалась макулатура писчепечатных видов бумаги. Промышленная выработка проводилась на картоноделательной машине бумажной фабрики ОАО «Каравеево» (Московская область) производительностью 60 т/сут. Описание технологического потока производства двухслойного тест-лайнера на ОАО «Каравеево» представлено

в работе [1]. Подготовка сухих волокон для промышленной выработки осуществлялась с помощью роторно-вихревой мельницы.

Согласно проведенным ранее лабораторным исследованиям, результаты которых были опубликованы в работе [11], установлено, что подача сухих волокон в поток макулатурной массы целесообразна на стадии перемешивания перед размолом. Этот вывод был сделан на основе теоретических исследований в области межслоевой прочности картона и подтвержден экспериментально. Подача сухих волокон перед размолом повышает концентрацию массы на текущей стадии. При равенстве концентраций на входе в дисковые мельницы (4%) требуется подача дополнительной воды. Однако стадии роспуска, очистки, дороспуска при одинаковой производительности осуществляются при более низкой концентрации. Например, подача сухих волокон до 50% от массы покровного слоя позволит снизить концентрацию массы с 4 до 2% на стадии роспуска, дороспуска, первичной очистки, перекачивания и перемешивания в баке. Либо при сохранении концентрации в 4% снижается в два раза объемный расход массы линии подготовки на участке от подачи в гидроразбиватель до стадии размола. Снижение расхода массы уменьшает время работы гидроразбивателя, следовательно, возможно сокращение энергозатрат на роспуск, уменьшение нагрузки на турбосепаратор, три насоса (насос, перекачивающий от гидроразбивателя; насос, подающий в турбосепаратор, и насос, подающий в массный бассейн). Кроме того, подача сухих волокон снижает количество отходов после гидроразбивателя, вихревых очистителей и турбосепаратора.

На рис. 1 представлена подача волокон в бассейн перед размолом. Волокна подавались в бассейн (около 200 кг по массе абсолютно сухого волокна), затем распускались в воде до получения однородной мас-



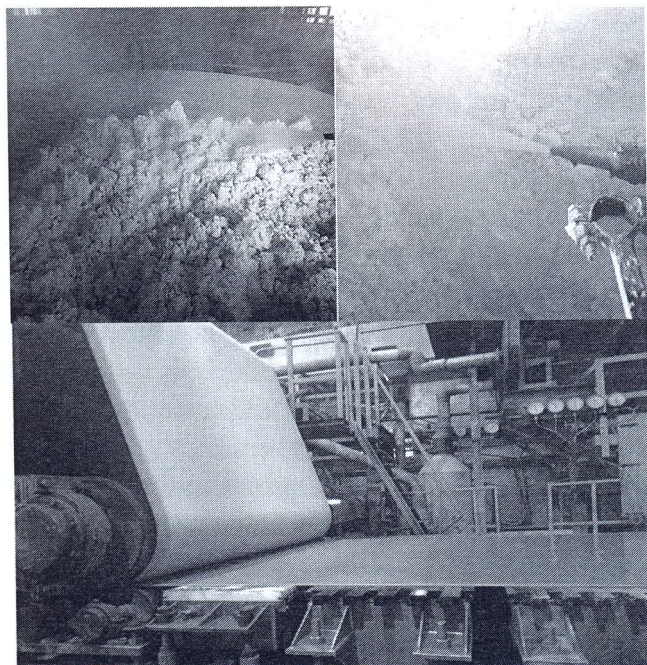


Рис. 1. Подача сухих волокон в бассейн перед размолом массы в бассейне перед размолом. Полученная суспензия перемешивалась с макулатурной массой, подготовленной обычным способом, и подавалась на верхний покровный слой двухслойного картона тест-лайнера.

Полученные промышленные образцы многослойного картона тест-лайнера сравнивались по механическим и поверхностным показателям согласно стандартным методам исследований. Определение разрывной длины, удлинения при разрыве, ТЕА- и I-индексов сопротивления разрыву осуществлялось согласно методике, представленной в ISO 1924-2 [12], сопротивление продавливанию — согласно ISO 2758 [13], белизна — ISO 2470-77 [14], толщина отливки — ГОСТ 27015—86 [15], масса квадратного метра отливки определялась согласно ГОСТу 131999—88 [16]. Шероховатость картона определялась по методу Бендтсона (ISO 8791-2) [17].

### Результаты и дискуссия

Полученные образцы двухслойного картона тест-лайнера массой квадратного метра 125—130 г тестировались в лаборатории

Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Были проверены поверхностные и механические показатели картона.

На рис. 2 представлено сравнение белизны образцов двухслойного тест-лайнера, полученных в промышленных условиях. ОАО «Каравеево» производит картон тест-лайнера из белого слоя на основе макулатуры, не содержащей печатную краску (NF\_125). Запечатанная (белая) макулатура скапливается на предприятии в течение года из отходов производства печатных видов бумаги с других предприятий. Белизна образцов картона тест-лайнера более 70% по (ISO 2470-77 [14]) позволяет получить гофрокартон с верхним белым слоем, удовлетворяющий требованиям заказчиков.

Белизна тест-лайнера с белым покровным слоем, содержащая волокна, подготовленные сухим способом, отличается незна-

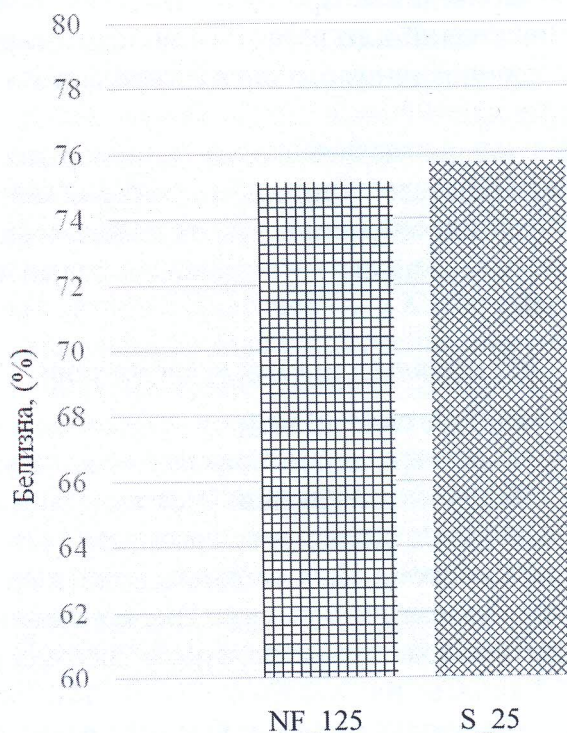


Рис. 2. Белизна полученных при производстве образцов: NF\_125 — тест-лайнер, содержащий макулатуру из отходов производства без содержания печатной краски (запечатанная макулатура); S\_25 — тест-лайнер с содержанием волокон макулатуры (около 25%), подготовленных сухим способом



чительно от картона, производимого традиционным мокрым способом. Небольшой прирост белизны, возможно, связан с более высоким содержанием наполнителя мела и высокой белизной сырья, из которого были получены сухие волокна. Технология сухого диспергирования запечатанной макулатуры из писчепечатных видов бумаги также может вызвать прирост белизны, так как мел, содержащийся в макулатуре (до 15–20%), при традиционном способе подготовки частично вымывается водой на стадиях роспуска, дороспуска, первичной очистки массы, а при сухой подготовке макулатуры содержащийся мел удерживается воздушными фильтрами.

Положительным эффектом от внедрения технологии сухого диспергирования макулатуры для белого слоя является снижение шероховатости (рис. 3), что благоприятно сказывается при нанесении текста или изображения на картон.

Улучшение поверхности образца с содержанием волокон, подготовленных сухим способом (S\_25), наблюдалось даже визуально. Образец, полученный по предложенной технологии сухого диспергирования макулатуры, имеет более равномерную поверхность. Такой эффект вызван несколькими факторами. Во-первых, при подготовке волокон сухим способом фракционный состав значительно отличается от волокон, подготовленных традиционным мокрым способом. Более мелкие волокна, полученные сухим способом, равномернее распределялись по поверхности картона. Во-вторых, технология сухого диспергирования уменьшает фибрилляцию волокон. Возможно, при сухой подготовке волокон, несмотря на дальнейший размол в мокрой среде, поверхность волокон не достаточно открыта для фибрилляции, так как снижено время взаимодействия волокон с водой. Этот фактор особенно характерен для вторичных волокон, способность ко-

торых к набуханию значительно снижена, в отличие от первичных волокон. Для вторичных волокон требуется больше времени пребывания в водной среде для появления микрофибрилл на поверхности волокна. Снижение фибрилляции волокон приводит к тому, что в макулатурной массе снижается вероятность образования флоккул, сгустков и агломератов волокон, что положительно сказывается на равномерности распределения волокон в массе.

Недостаточное время контакта волокон с водой при сухом диспергировании с дальнейшим размолем волокон в водной среде объясняет повышение пухлости картона. Образцы тест-лайнера, содержащие волокна, подготовленные сухим способом, отличались от образцов, полученных традиционным способом толщиной (см. рис. 3).

Добавление 25% волокон, подготовленных сухим способом, повысило толщину тест-лайнера примерно на 10% при практически неизменной массе квадратного метра картона в 125–130 г/м<sup>2</sup>.

Несмотря на разбавление водой и дальнейший размол в водной среде, волокна, подготовленные сухим способом, менее эластичны, поэтому при формовании картона (при одинаковых условиях прессова-

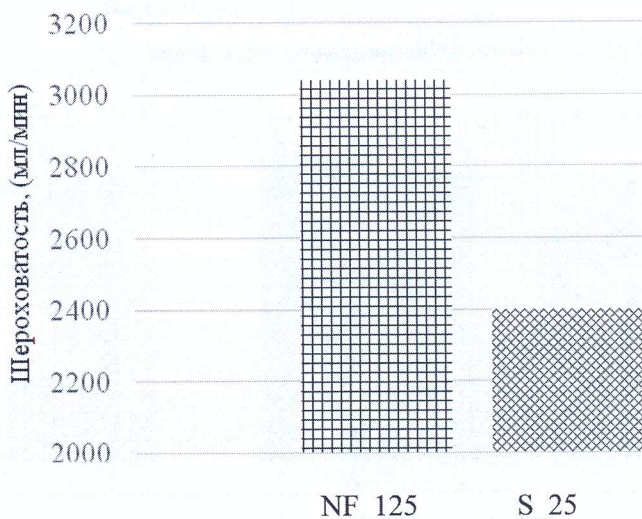


Рис. 3. Сравнение шероховатости образцов по методу Бендтсена



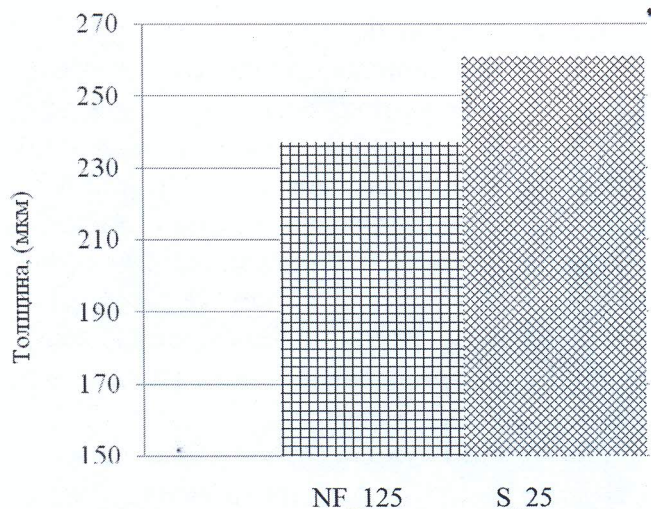


Рис. 4. Сравнение толщины образцов многослойного картона тест-лайнера

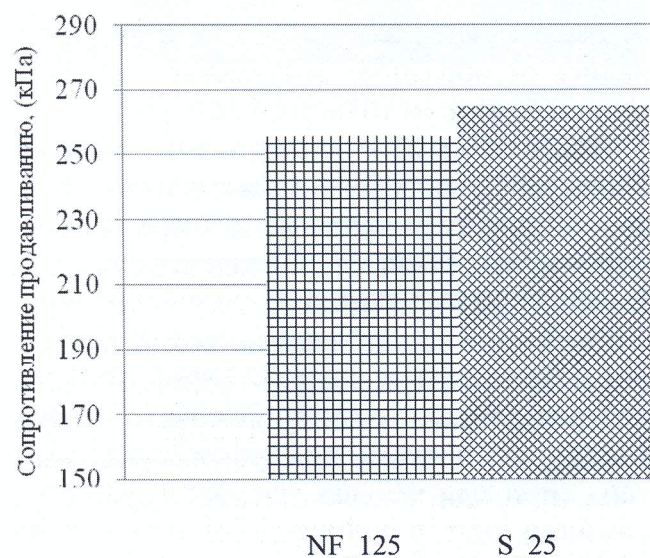


Рис. 5. Сопротивление продавливанию картона

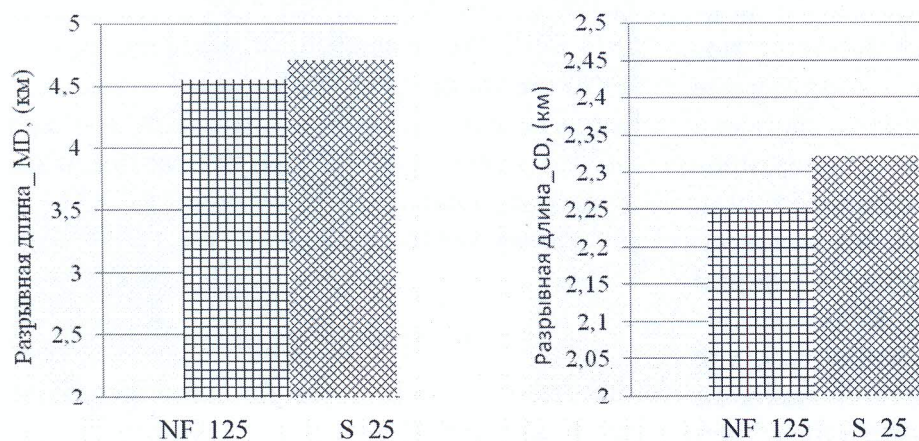


Рис. 6. Разрывная длина картона

ния и сушки) толщина заметно увеличивается даже при доле волокон, подготовленных сухим способом в 25%.

Сопротивление продавливанию образцов картона с содержанием волокон, подготовленных сухим способом, незначительно повысилось на 3% (рис. 4).

На рис. 5—9 представлены механические характеристики образцов картона при разрыве (разрывная длина (рис. 6), максимальное усилие при разрыве (рис. 7), индекс сопротивления при разрыве (рис. 8) и модуль упругости (рис. 9)), полученных традиционным мокрым способом и с частичным добавлением сухих волокон в массу. Разрыв опытно-промышленных образцов производился в машинном направлении (с пометкой MD) и в поперечном (с пометкой MC).

Из графиков рис. 5—9 видно, что механические параметры, определяющие сопротивляемость картона разрывающим усилиям, незначительно отличаются у образцов, полученных традиционным мокрым способом и комбинированным способом с добавкой волокон, подготовленных сухим способом. В отличие от образцов, получаемых в лабораторных условиях, при анализе промышленных образцов были исследованы механические характеристики в продольном и поперечном направлениях. Ввиду того что при формовании картона на пред-

приятии волокна ориентируются в продольном направлении, механические показатели опытно-промышленных образцов в поперечном направлении (MC), как правило, гораздо ниже, чем в продольном (MD) [3].

Для оценки энергетических затрат были рассмотрены стадии подготовки макулатуры начиная с подачи тран-



спортером и размола. Данные энергетических затрат на подготовку массы по базовому варианту и по варианту использования сухих волокон представлены на рис. 10.

Изменение энергетических нагрузок на транспортер, гидроразбиватель, насосы, турбосепаратор и перемешивающее устройство определялись для каждой стадии отдельно. При расчете учитывалось уменьшение времени работы аппарата, коэффициента нагрузки на электродвигатель за счет снижения производительности технологического потока до стадии размола.

### Заключение

По результатам проведенных опытно-промышленных испытаний было установлено, что технология сухой подготовки макулатуры для белого слоя картона тестлайнера может быть использована в промышленном производстве, так как не снижает механические показатели при использовании сухих волокон (25%) перед размолом в водной среде. Исходя из того что нагрузка на работу оборудования мокрого потока будет снижена на стадиях перед размолом массы (ропуск, дороспуск,

очистка, перекачивание и перемешивание макулатурной массы), был определен эко-

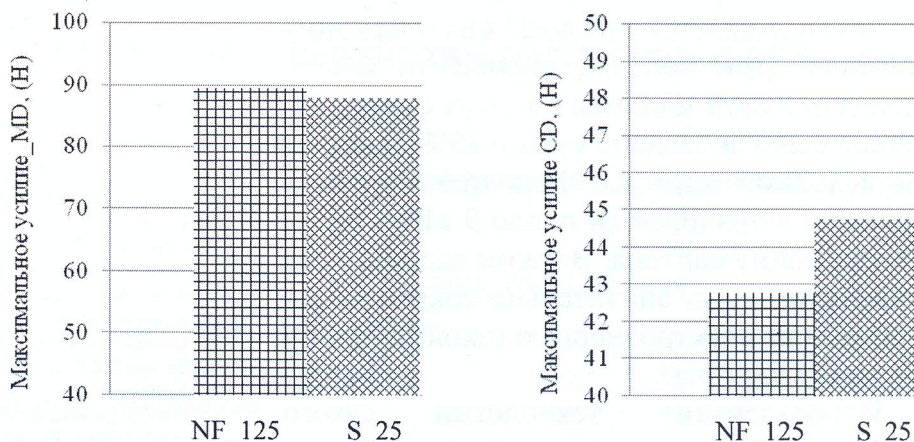


Рис. 7. Максимальное усилие при разрыве опытно-промышленных образцов

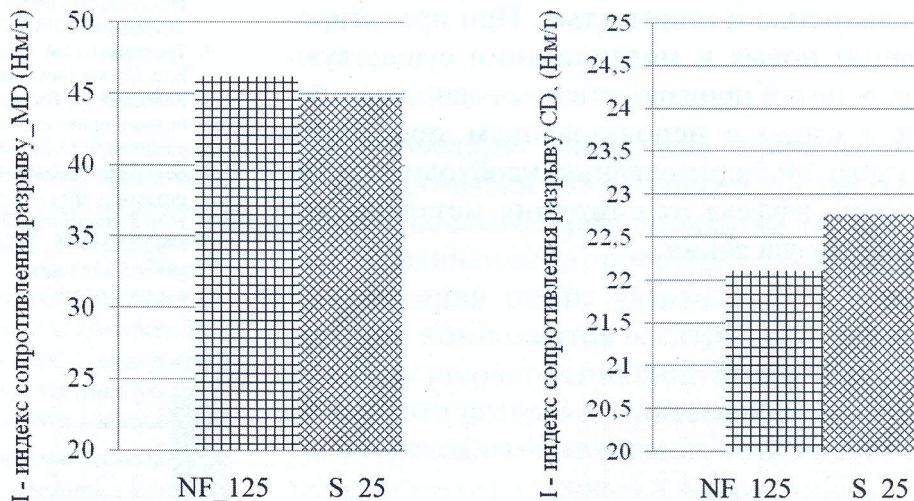


Рис. 8. I-индекс сопротивления разрыву картона

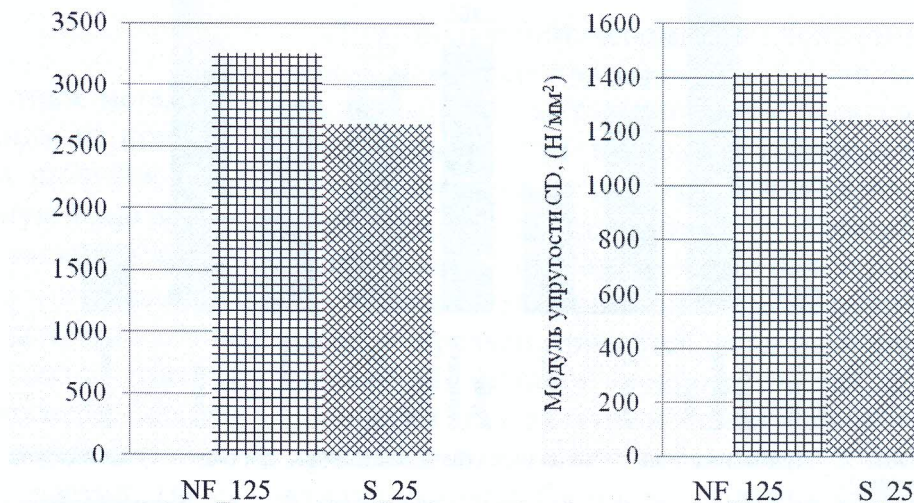


Рис. 9. Модуль упругости картона



номический эффект от снижения энергетических затрат (см. рис. 10).

Расход энергии по предлагаемой технологии сокращается с 87 до 27 кВт·ч на тонну картона. При производительности картоноделательной машины 60 т/сут сухого волокна было добавлено сухого 25% от массы двухслойного картона. На подготовку сухих волокон затрачивается около 9 кВт·ч энергии на тонну картона. В таком варианте без ущерба качеству значительно сокращаются расходы на электроэнергию (около 50 кВт·ч на тонну картона).

Использование технологии сухого диспергирования предполагает поставку оборудования с более низкой производительностью и стоимостью. При проектировании новых и модернизации существующих линий производства тест-лайнера с белым слоем с использованием технологии сухого диспергирования необходимо учитывать эффект от снижения металлоемкости оборудования.

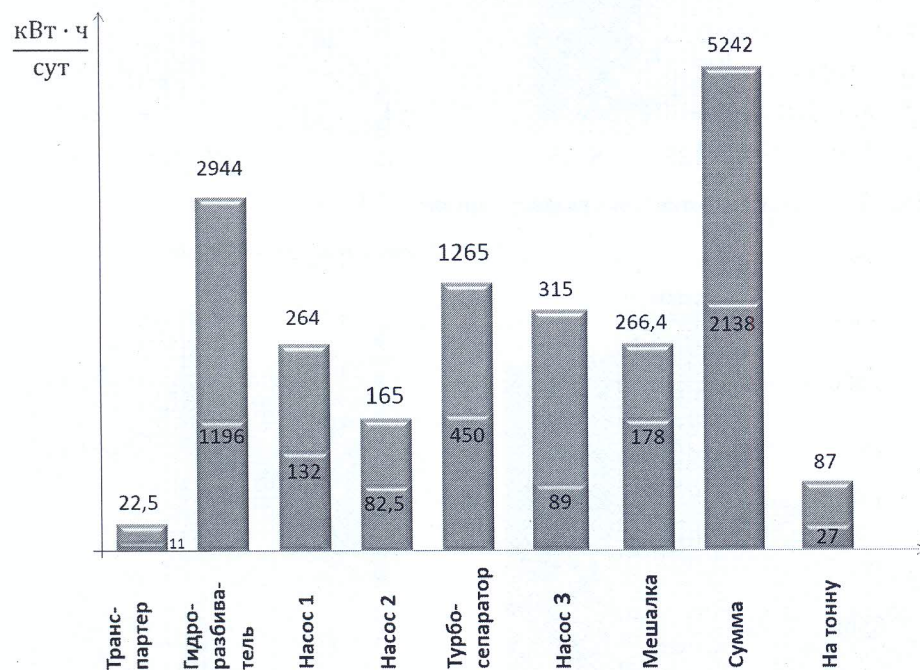


Рис. 10. Затраты энергии в сутки на подготовку макулатуры при подаче сухих волокон в массу:

■ — базовый вариант, мокрая подготовка макулатуры; ■ — при подаче волокон, подготовленных сухим способом

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мидуков Н.П., Куров В.С., Смолин А.С., Власов А.В., Дубравина Т.В. Импортзамещающая технология производства картона вайт-лайнера из 100% макулатуры // Химическая технология. 2019. Т. 20. № 1. С. 29—34.
2. Schrinner T., Gailat T., Grossmann H., Malinovskaya G. Dry and semi-dry paper and cardboard production // Professional Papermaking. 2016. N 2. P. 36—42.
3. Казаков Я.В. Неоднородность деформирования бумаги // В сб. «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов»: матер. III Междунар. науч.-техн. конф. (Архангельск, 9—11 сентября 2015 г.). Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: САФУ. 2015. С. 17—24.
4. Дернова Е.В., Дулькин Д.А. Контроль качества макулатуры — традиции и направления развития // Год экологии в России и на предприятиях ЦБП. Качество макулатурного сырья. Производство бумаги и картона для гофротары и упаковки: материалы 18 Междунар. науч.-техн. конф. (Караваево, 25—26 мая 2017 г.). Караваево. 2017. С. 63—66.
5. Конструкция вакуум-формера компании Voith (FloatLipformertypeS). URL: [http://www.voith.com/en/Produktblatt\\_FloatLip\\_en.pdf](http://www.voith.com/en/Produktblatt_FloatLip_en.pdf) (дата обращения 15.04.2017).
6. Мидуков Н.П., Куров В.С., Смолин А.С. Производство многослойного картона тест-лайнера с белым слоем. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2018. 208 с.
7. Трехканальный гидроразбиватель компании «Metso». URL: <http://www.metso.com> (дата обращения 19.04.2017).
8. Schrinner T., Gailat T., Grossmann H. Dry defibration — A waterless preparation process for difficult-to-recycle paper and board products // TAPPI Paper Con. 2015.
9. Schrinner T., Gailat T., Heinemann S., Lundberg M. Selected pulp properties after dry defibration of several paper products // PTS Pulp Symposium. 2015. PTS München.
10. Мидуков Н.П., Ефремов Д.С., Куров В.С., Смолин А.С. Сухой способ диспергирования волокон для последующего производства картона // Химия растительного сырья. 2018. № 3. С. 279—286.
11. Мидуков Н.П., Куров В.С., Смолин А.С., Михайловская А.П., Липин В.А. Межслоевая прочность картона // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2018. № 1. С. 63—67.
12. ISO 1924—2. Paper and board — Determination of tensile properties. Part 2. Constant rate of elongation method // International Organization of Standardization. — Geneva, Switzerland, 1994.
13. ISO 2758. Determination of bursting strength // International Organization of Standardization. Geneva, Switzerland, 2001.
14. ISO 2470—77. Paper and board. Measurement of diffuse blue reflectance factor (ISO brightness), Geneva, Switzerland, 1994.
15. ГОСТ 27015—86. Бумага и картон. Методы определения толщины, плотности и удельного объема. Издательство стандартов, 2002.
16. ГОСТ 13199—88. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения массы продукции площадью 1 кв. м. ИУС N 4, 1994 год.
17. ISO 8791—2. Specifies a method for the determination of the roughness of paper and board using the Bendtsen apparatus. 2013.