

**ОАО по производству и переработке бумаги «Каравеево»
ОАО «Управляющая компания Объединенные Бумажные Фабрики»**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ПРОИЗВОДСТВА
БУМАГИ, КАРТОНА, ГОФРОКАРТОНА
ИЗ МАКУЛАТУРНОГО СЫРЬЯ**

**11-я Международная научно-техническая конференция
20 мая – 21 мая 2010 г.**

Научные труды

**КАРАВАЕВО
2010**

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОЛУЧЕНИЮ И ОТБЕЛКЕ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ ИЗ ГАЗЕТНОЙ МАКУЛАТУРЫ

Хакимова Ф.Х., Акулов Б.В., Хакимов Р.Х., Носкова О.А.

Пермский государственный технический университет

E-mail: tcpb@pstu.ru

Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды – одно из основных направлений развития лесного комплекса. Наиболее существенным способом повышения комплексности использования древесного сырья является рост потребления макулатуры в качестве вторичного волокна в производстве бумаги и картона. Этому же способствуют ужесточения экологических требований, в частности, полной утилизации твердых отходов ЦБП.

Бумага и картон – сложные полимерные композиции, требования к качеству которых весьма разнообразны в зависимости от целевого назначения. Соответственно, предъявляются определенные жесткие требования и к волокнистым полуфабрикатам для их производства, в том числе к вторичному волокну – макулатурной массе (ММ).

Из различных способов вторичной подготовки вторичного волокна к переработке в ЦБП получило применение облагораживание, несмотря на сложность процесса. В мировой практике облагороженная ММ в значительных количествах используется при выработке бумаги для печати и письма (в том числе газетной бумаги), санитарно-гигиенических видов бумаги, многослойного картона.

Процесс облагораживания макулатуры состоит из стадий роспуска на волокна и удаления типографской краски из волокнистой суспензии, для чего используется гидроксид натрия и пероксид водорода, для стабилизации которого применяется силикат натрия. Щелочные химикаты разрушают и омыляют связующие вещества типографской краски, которая теряет свою вяжущую способность, и в результате создают предпосылки для эффективного перевода краски в волокнистую суспензию. Удаление краски из суспензии осуществляется способом флотации с применением флотореагента, например, олеиновой, пальмитиновой, стеариновой и других жирных кислот, ОП-7, ОП-10, сульфатного мыла и др. По результатам предварительных исследований принята стеариновая кислота.

Условия химической обработки, разработанные нами ранее [1]: концентрация массы – 5 %; температура - 40°C; расход химикатов, % к абсолютно-сухому волокну, составил: NaOH – 1,75; NaSiO₃ – 3,0; H₂O₂ – 2,25; расход стеариновой кислоты (флотореагента) – 1,0 %. После такой обработки проводили выдерживание массы в течение двух часов с последующей флотацией. Условия стадии флотации: температура 50°C, продолжительность 10 мин.

Однако облагороженная ММ, получаемая из газетной макулатуры, имеет низкую белизну и для повторного использования в композиции газетной бумаги требуется ее

отбелка. Поскольку в композиции газетной бумаги основная часть компонентов – механическая масса с высоким содержанием лигнина, то отбелку газетной ММ следует проводить с сохранением лигнина, т.е. обесцвечиванием лигнина и других окрашивающих компонентов без их растворения.

В данной работе приведены результаты исследований отбелки облагороженной массы из газетной макулатуры пероксидом водорода в щелочной среде с сохранением лигнина.

Показатели качества полученной облагороженной ММ: степень помола 60°ШР, белизна 60,2%, разрывная длина 4800 м, обезвоживаемость 64 с. Выход облагороженной ММ 85%.

Следует учитывать, что отбелка ММ – процесс наукоемкий и дорогостоящий, однако она необходима для улучшения бумагообразующих свойств ММ и, в первую очередь, белизны. Наиболее эффективна отбелка ММ, из которой удалена типографская краска, т.е. облагороженной ММ.

Для разработки оптимальных условий для отбелки ММ пероксидом водорода был поставлен эксперимент по трехфакторному плану Бокса ($m=3$). В ходе эксперимента было изучено влияние на белизну, выход и разрывную длину ММ трех факторов: температуры и продолжительности отбелки, расхода пероксида водорода на отбелку. Постоянными факторами отбелки были: концентрация массы 10%; рН=10-10,5; расход химикатов, % от абсолютного сухого волокна: NaOH – 0,5, NaSiO₃ – 2,0, трилона Б – 0,1.

Исходные данные для планирования эксперимента приведены в табл. 1.

В таблице 2 приведены план и результаты реализации плана эксперимента.

Таблица 1. Исходные данные для планирования эксперимента по отбелке облагороженной ММ

| Характеристика плана | Переменные факторы | | |
|----------------------|---------------------------|----------------------------------|---|
| | Температура, °С (x_1) | Продолжительность, мин (x_2) | Расход H ₂ O ₂ , % к а.с. волокну (x_3) |
| Основной уровень | 70 | 90 | 1,25 |
| Шаг варьирования | 10 | 30 | 0,75 |
| Верхний уровень | 80 | 120 | 2,00 |
| Нижний уровень | 60 | 60 | 0,50 |

Таблица 2. Результаты реализации плана эксперимента по отбелке облагороженной ММ

| № опы-та | Кодированные значения переменных | | | Переменные факторы | | | Показатели белой ММ | | |
|----------|----------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|---|--|-------------------------------|---|--|
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | Темпе-ратура, °С (x ₁) | Продол-жительность, мин (x ₂) | Расход H ₂ O ₂ , % к а.с. в. (x ₃) | Белиз-на, % (y ₁) | Выход, %, от исх.во-локна (y ₂) | Разрыв-ная длина, м (y ₃) (100г/м ²) |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 80 | 120 | 2,00 | 62,5 | 97,3 | 3900 |
| 2 | -1 | 1 | 1 | 60 | 120 | 2,00 | 62,7 | 98,9 | 4420 |
| 3 | 1 | -1 | 1 | 80 | 60 | 2,00 | 61,9 | 98,2 | 4160 |
| 4 | -1 | -1 | 1 | 60 | 60 | 2,00 | 61,4 | 99,3 | 4620 |
| 5 | 1 | 1 | -1 | 80 | 120 | 0,50 | 58,4 | 98,3 | 4300 |
| 6 | -1 | 1 | -1 | 60 | 120 | 0,50 | 60,8 | 99,2 | 4600 |
| 7 | 1 | -1 | -1 | 80 | 60 | 0,50 | 59,0 | 98,8 | 4500 |
| 8 | -1 | -1 | -1 | 60 | 60 | 0,50 | 60,4 | 99,5 | 4700 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 80 | 90 | 1,25 | 61,9 | 97,7 | 4050 |
| 10 | -1 | 0 | 0 | 60 | 90 | 1,25 | 62,5 | 98,7 | 4600 |
| 11 | 0 | 1 | 0 | 70 | 120 | 1,25 | 63,6 | 98,2 | 4200 |
| 12 | 0 | -1 | 0 | 70 | 60 | 1,25 | 62,0 | 98,5 | 4380 |
| 13 | 0 | 0 | 1 | 70 | 90 | 2,00 | 63,6 | 97,7 | 4120 |
| 14 | 0 | 0 | -1 | 70 | 90 | 0,50 | 61,0 | 98,3 | 4400 |

Анализ результатов эксперимента выполняли с помощью программы STATGRAPHICS, V 5.01 [2].

Анализ результатов по белизне ММ.

Чтобы определить значимость эффектов, обращаемся к карте Парето и рабочему окну Anova.

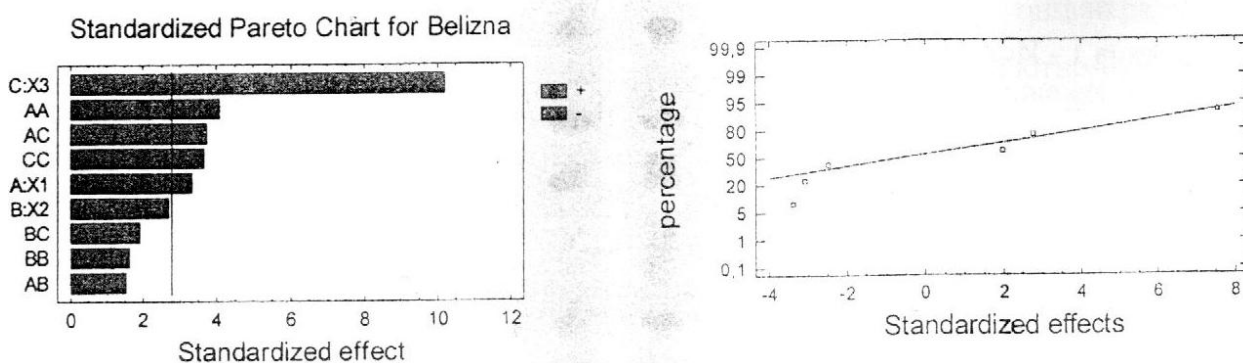


Рис.1. Карта Парето для выходного параметра «белизна»

Из графика следует, что статистически незначимыми оказались эффекты ВС, ВВ и АВ. В дальнейшем расчете их можно исключить, после чего получили уравнение регрессии для показателя белизны:

$$\text{Белизна } y_1 = 63,05 - 0,41 \cdot X_1 + 0,33 \cdot X_2 + 1,25 \cdot X_3 - 1,1 \cdot X_1^2 + 0,5125 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,0 \cdot X_3^2$$

График диагностики отклонения ошибок прогноза значений выходного параметра от нормального распределения (рис. 2) показал, что расположение точек близко к прямой, что говорит о близости распределения к нормальному.

Из уравнения регрессии следует, что наибольшее влияние на величину белизны ММ оказывает расход пероксида водорода.

Анализ результатов экспериментов по выходу беленой ММ.

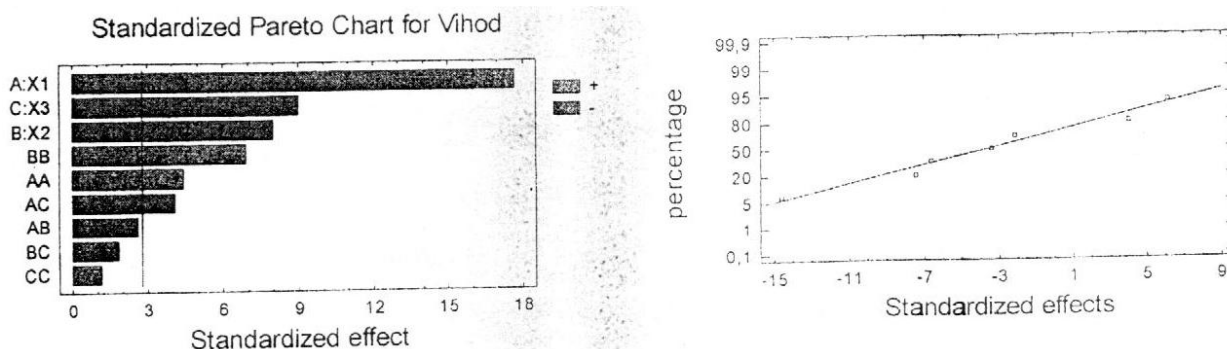


Рис.3. Карта Парето для выходного параметра «выход»

Рис. 4. График диагностики отклонения ошибок прогноза значений выходного параметра от нормального распределения

В данном случае статистически незначимыми оказались эффекты ВС и СС. Уравнение регрессии для показателя выход ММ:

$$\text{Выход ММ } y_2 = 97,9577 - 0,53 \cdot X_1 - 0,24 \cdot X_2 - 0,27 \cdot X_3 + 0,284615 \cdot X_1^2 - 0,0875 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,1375 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,434615 \cdot X_2^2$$

Из карты Парето и уравнения регрессии следует, что наибольшее влияние на величину выхода беленой ММ оказывает температура процесса.

Анализ результатов экспериментов по выходному параметру «разрывная длина».

Standardized Pareto Chart for Razrivnaya dlina

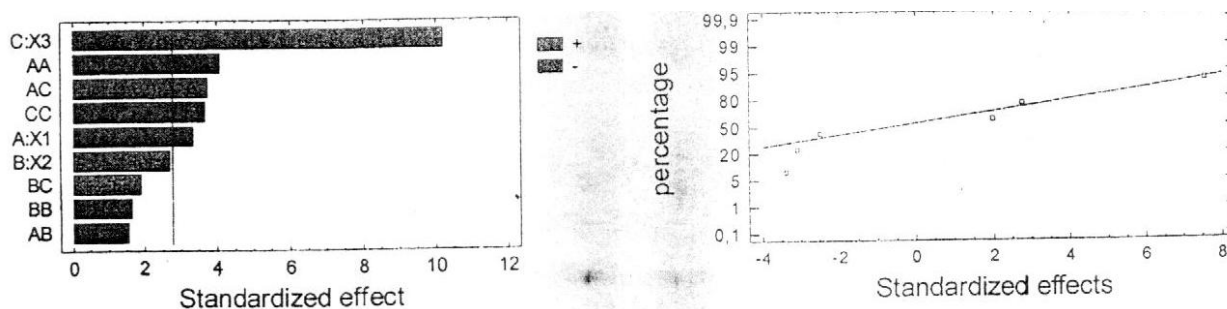


Рис.5. Карта Парето для выходного параметра «разрывная длина»

Рис. 6. График диагностики отклонения ошибок прогноза значений выходного параметра от нормального распределения

В данном случае статистически незначимы эффекты BB, BC, AB и CC. Уравнение регрессии для показателя «разрывная длина»:

$$\text{Разрывная длина } y_3 = 4275,0 - 203,0 \cdot X_1 - 94,0 \cdot X_2 - 128,0 \cdot X_3 + 110,0 \cdot X_1^2 - 60,0 \cdot X_1 \cdot X_3$$

На этот показатель наибольшее влияние оказывает температура процесса.

Задача оптимизации состояла в максимизации выходного параметра «белизна» при ограничении других параметров: выход ММ – не менее 97%, разрывная длина – не менее 4000 м. Оптимизация с помощью программы STATGRAPHICS дала следующие оптимальные условия отбели ММ.

Таблица 3 – Результаты оптимизации условий отбели ММ

| Условия отбели | В кодированных переменных | В натуральных значениях |
|---|---------------------------|-------------------------|
| Температура, °С | 0,275384 | 67 |
| Продолжительность, мин | 0,376363 | 101 |
| Расход H ₂ O ₂ , от % от а.с. волокна | 0,454628 | 1,6 |

Полученные решением задачи оптимизации ожидаемые результаты и экспериментальные показатели белой ММ приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные и экспериментальные показатели белой ММ

| Наименование показателя | Ожидаемые результаты | Показатели, полученные отбелкой по оптимальным условиям |
|------------------------------------|----------------------|---|
| Белизна, % | 63,5 | 64,2 |
| Выход, % от исх. облагороженной ММ | 98,0 | 98,0 |
| Разрывная длина, м | 4253 | 4280 |

Результаты, полученные по оптимальному режиму отделки, соответствуют расчетным, что указывает на адекватность математического описания данного процесса.

Другим направлением работы кафедры по переработке макулатуры является попытка упростить технологическую схему подготовки макулатурной массы. Для этой цели использовалось нетрадиционное оборудование – диспергатор, не используемый в настоящее время в этом производстве.

На рисунке 7 представлена схема предлагаемой установки для диспергирования макулатуры.

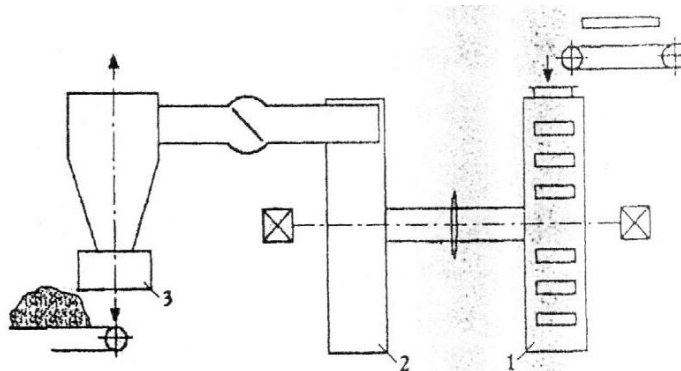


Рис. 7. Схема устройства для роспуска волокнистых материалов (диспергатора). 1 – диспергатор, 2 – вентилятор, 3 – циклон.

Диспергатор – компактный аппарат, в котором происходит процесс измельчения. Вращающийся ротор с радиальными лопатками производит роспуск макулатуры. Отбор готового продукта осуществляется из центра аппарата под действием вакуума, подключаемого к каналу отбора измельченной макулатуры. При определенном соотношении скоростей вращения ротора и продува воздуха осуществляется сепарация готового продукта, при этом крупные частицы не будут выноситься из аппарата, т.к. обладают большей инерцией, чем мелкие.

В аппарате поток воздуха регулируется таким образом, что из аппарата выносятся только единичные волокна. Куски макулатуры и пучки волокон циркулируют в аппарате до тех пор, пока не будут распущены до отдельных волокон. Все более тяжелые примеси (камни, куски пленок, жгутики из скотча) оседают в пространстве между корпусом аппарата и кожухом и должны периодически удаляться. Такие особенности аппарата позволяют значительно упростить технологическую схему подготовки макулатурной массы и сделать ее более экономной.

Для получения облагороженной макулатурной массы полусухого роспуска был принят, на основании ранее проведенных исследований, следующий порядок операций:

- полусухой роспуск макулатуры (по результатам предварительных исследований более благоприятные условия роспуска в диспергаторе создаются при влажности 40%);
- химическая обработка макулатурной массы щелочными химикатами и флотореагентом (стеариновой кислотой);

- выдержка массы для завершения химических реакций отделения частиц краски от волокон;
- флотация типографской краски.

Для получения облагороженной ММ мокрого роспуска был принят, на основании ранее проведенных исследований, следующий порядок операций:

- роспуск макулатуры в гидроразбивателе с применением щелочных химикатов и флотореагентов (в нашем случае стеариновой кислотой);
- выдержка массы для завершения химических реакций отделения частиц краски от волокон;
- флотация типографской краски.

Щелочную химическую обработку макулатурной массы полусухого роспуска проводили по ранее разработанным с помощью математического планирования эксперимента условиям для макулатурной массы традиционного мокрого роспуска.

Для полученных образцов ММ был определен ряд показателей, значения которых приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнительные показатели макулатурной массы (после флотации)

| Показатели | Макулатурная масса | | |
|---------------------------------------|--------------------|----------------------|-----------|
| | исходная | распушенная способом | |
| | | мокрым | Полусухим |
| Степень помола, °ШР | 61 | 60 | 59 |
| Фракционный состав, % | | | |
| I фракция | 45,2 | 50,8 | 46,2 |
| II фракция | 5,2 | 7,4 | 6,2 |
| III фракция | 5,0 | 6,6 | 5,0 |
| IV фракция | 44,6 | 35,2 | 42,6 |
| Потери волокна при облагораживании, % | - | 14,7 | 7,5 |

Примечание: исходная макулатурная масса была получена путем предварительного замачивания незапечатанных кромок газет в воде и роспуска без использования химикатов.

Анализ данных сравниваемых образцов макулатурной массы показывает, что по фракционному составу макулатурная масса полусухого роспуска близка к исходной массе. Макулатурная масса мокрого роспуска отличается более высоким содержанием первой и меньшим содержанием четвертой фракций, что, возможно, связано с повышенными потерями мелкого волокна с пеной при облагораживании массы мокрого роспуска по сравнению с массой полусухого роспуска. Показатели механической прочности сравниваемых образцов макулатурной массы различаются незначительно.

Для более полной характеристики сравниваемых образцов облагороженной ММ (полусухого и мокрого роспуска) было определено распределение волокон по длине на

приборе FS-200 американской фирмы «Kajaani». Метод определения фракционного состава и длины волокна на анализаторе FS-200 основан на лазерном сканировании водной волокнистой суспензии с высокой степенью разбавления, т.е. определяется длина каждого волокна. Распределение волокон по длине сравниваемых образцов ММ представлено на рисунке 8.

Для удобства анализа полученных гистограмм принято условное разделение макулатурной массы на фракции А и В. Фракция А – короткие макулатурные волокна длиной от 0,4 до 2,4 мм, фракция В – волокна длиной более 2,4 мм.

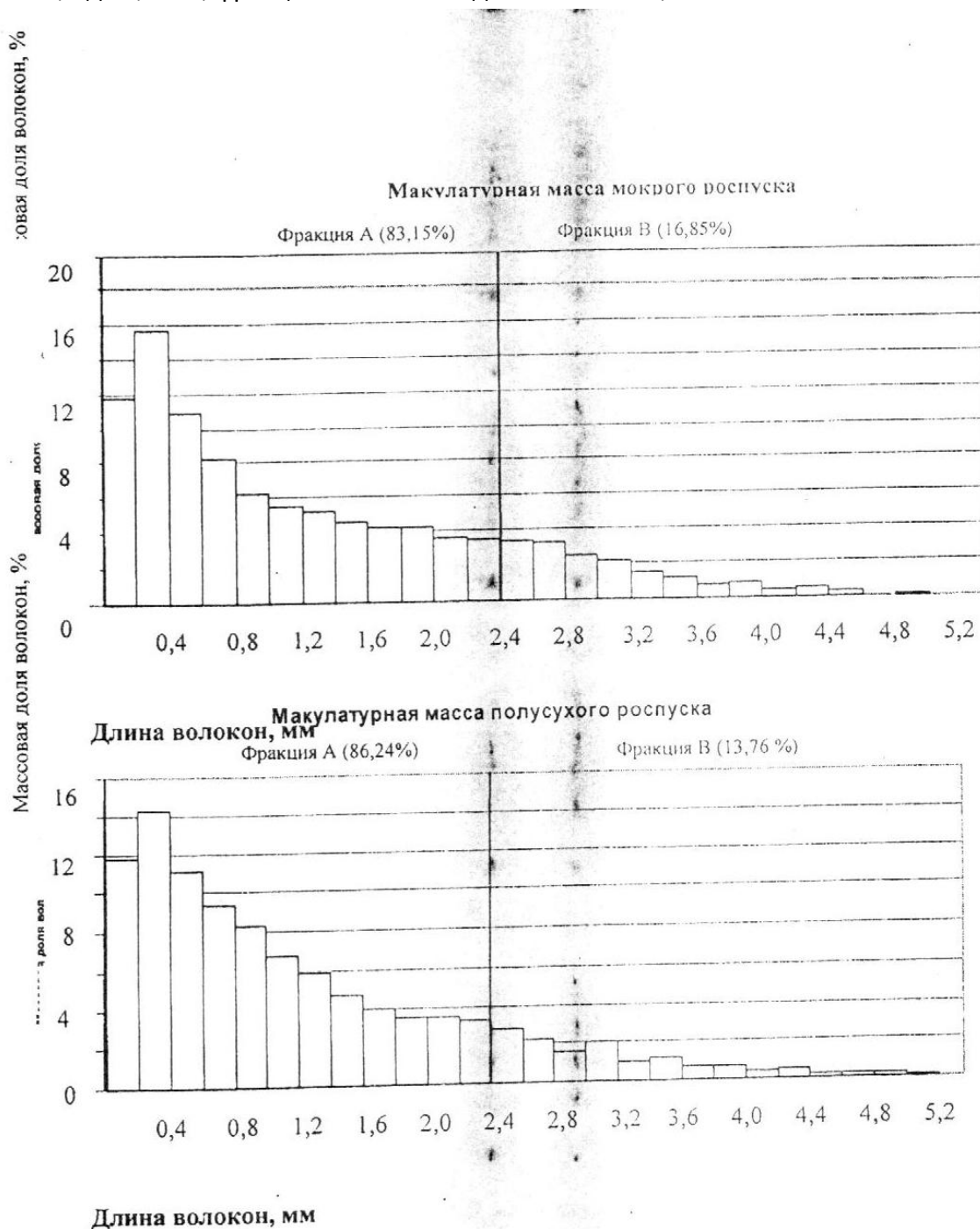


Рис.8. Распределение волокон по длине у образцов макулатуры

Сравнивая гистограммы, можно отметить, что макулатурная масса полусухого роспуска имеет более высокую долю фракции А по сравнению с облагороженной макулатурной массой мокрого роспуска (86% и 83% соответственно), что подтверждают данные по фракционному составу макулатурной массы, приведенные в таблице 5.

Анализ представленных гистограмм (рисунок 8) позволяет предположить, что в процессе облагораживания макулатурной массы происходит как интенсивное химическое воздействие на макулатурное волокно (в основном на мелкое волокно), так и удаление мелкого волокна вместе с частицами краски во время флотации.

По разработанным условиям (таблица 3) была проведена отбелка облагороженной ММ полусухого роспуска. Результаты отбелки аналогично полученным отбелкой ММ мокрого роспуска (таблица 4): белизна 63,1%, выход 97% от исходной облагороженной макулатурной массы, разрывная длина 4150 м (отливки массой 100 г/м²).

Таким образом, разработаны условия отбелки облагороженной ММ из газетной макулатуры, оптимизация которых выполнена с помощью программы STATGRAPHICS.

В ходе исследований установлено, что традиционный мокрый роспуск макулатуры может быть заменен полусухим роспуском в диспергаторе – оборудовании, которое в настоящее время при подготовке макулатуры не используется. Установлено, что облагороженная макулатурная масса полусухого роспуска отличается от массы мокрого роспуска меньшими потерями при облагораживании, рациональным фракционным составом, оптимальным распределением волокон по длине при одинаковых показателях механической прочности. Использование в производстве переработки макулатуры диспергатора позволит упростить технологическую схему при сохранении качества облагороженной массы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Акулов Б.В., Ковтун Т.Н. Исследование стадии полусухого роспуска в процессе облагораживания газетной макулатуры. Деп.в ВИНТИ 28.06.02, №1215-132002. РЖ ВИНТИ «Химия». – 2005.-№21.
2. Пен Р.З. Планирование эксперимента в STATGRAPHICS. – Красноярск: СибГТУ-Кларетианум, 2003.-246 с.