



**Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна**

Совершенствование технологии очистки офисной макулатуры от тонера

Мидукова Мария Александровна

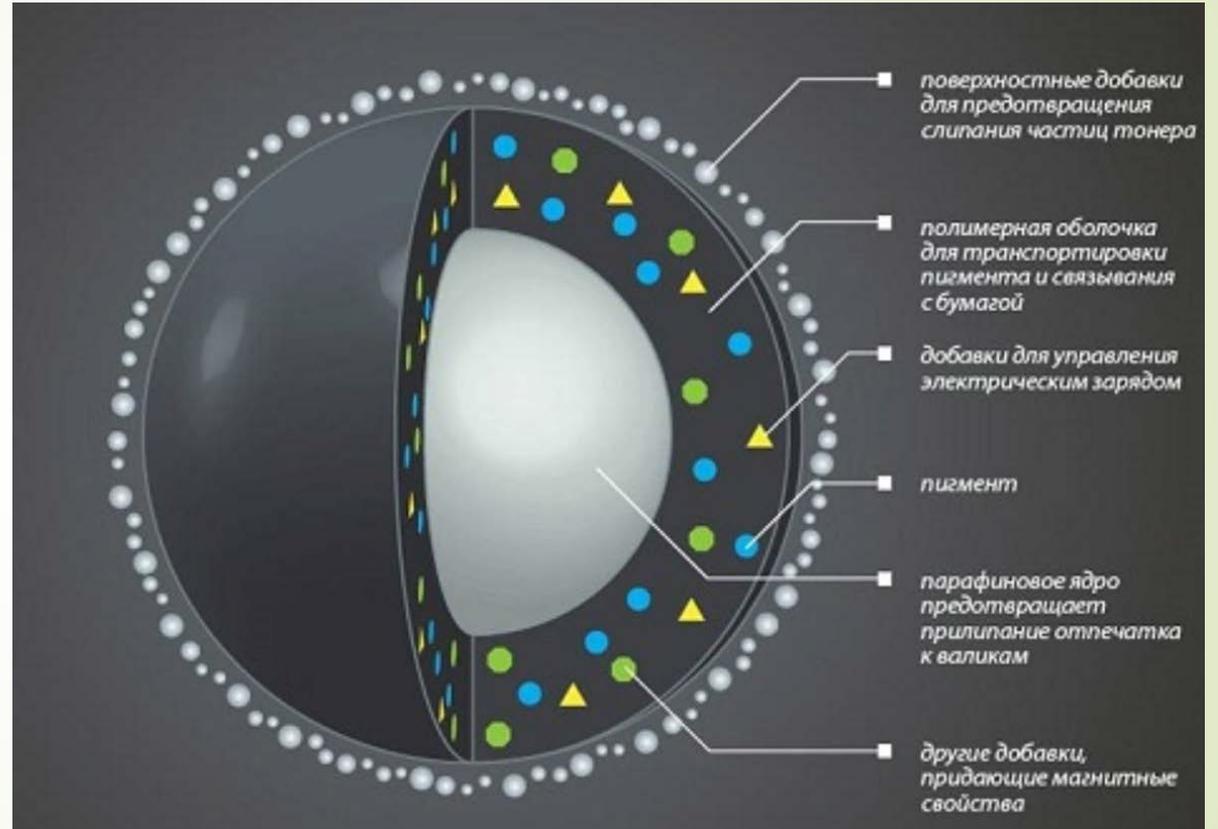
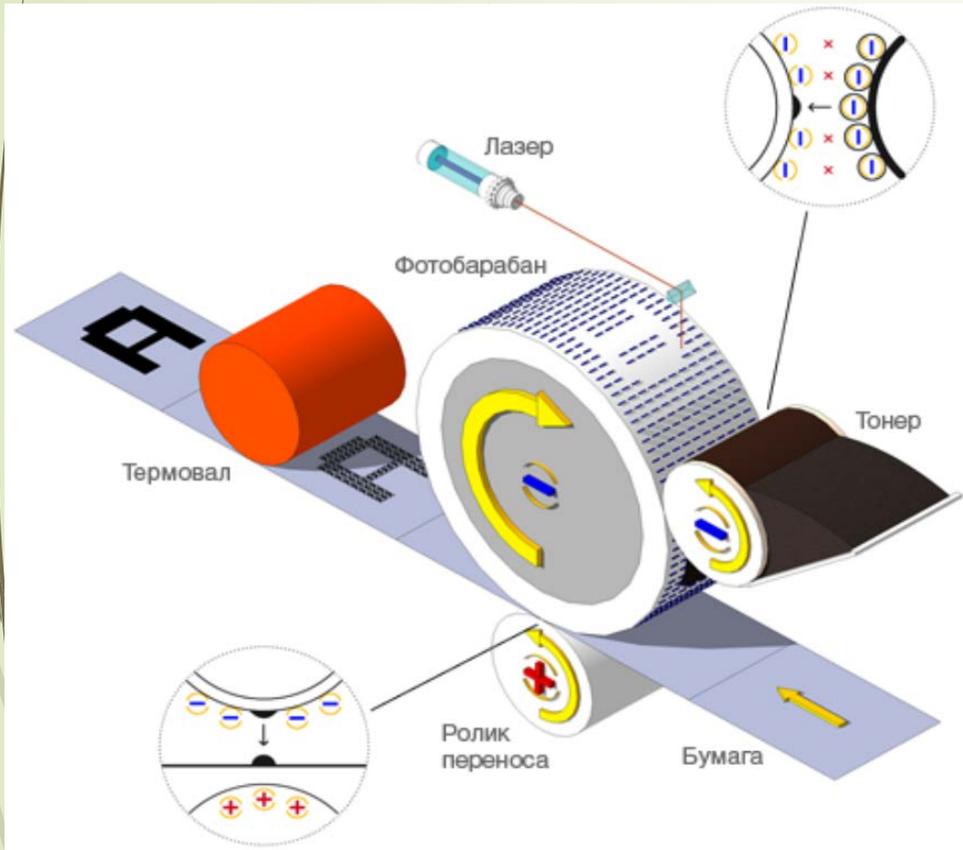


Актуальность темы

- ▶ Вопрос переработки и очистки офисной макулатуры от тонера является актуальным вследствие ряда причин :
- ▶ - энергоэффективность (использование вторичного сырья, снижение себестоимости)
- ▶ - экологическая безопасность (проблема сбережения лесов)
- ▶ - ресурсосбережение
- ▶ - очищенная от тонера макулатура, становится дорогим сырьём для производства бумаги.

Технология нанесения тонера на лазерном принтере

Структура тонера и состав частицы тонера



Сравнение нанесения краски на водной основе и тонера

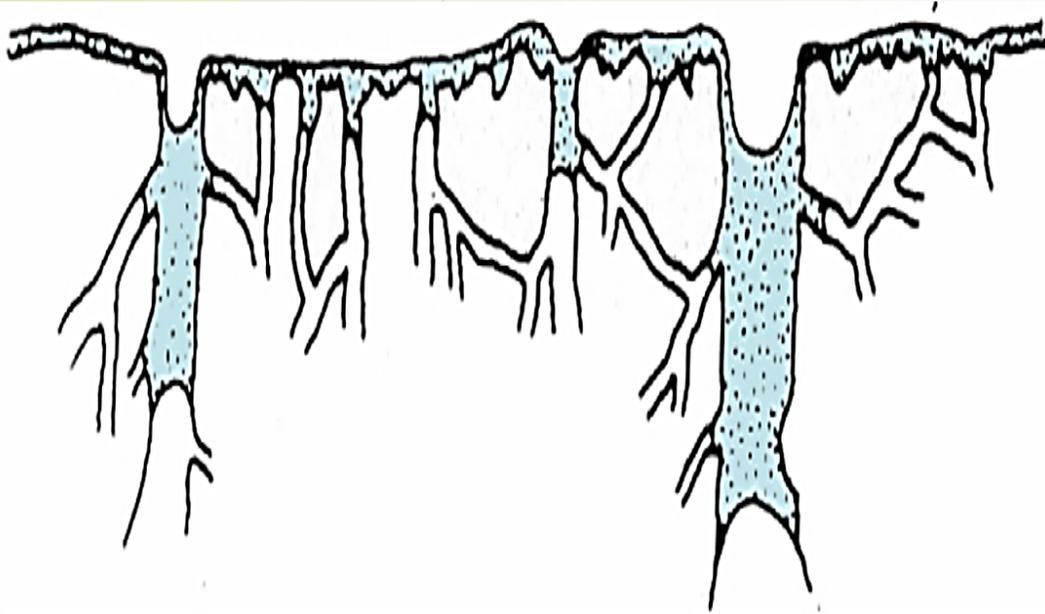


Рис 1.

Чернила на водной основе

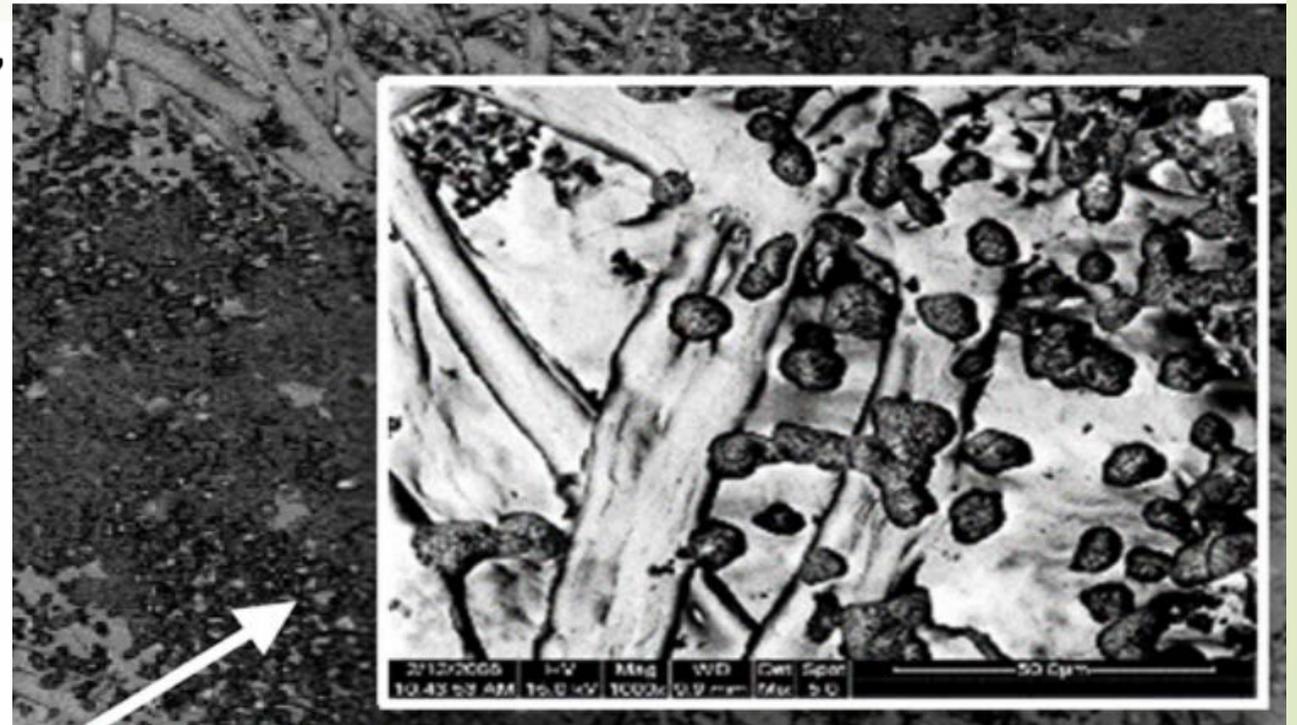


Рис 2.

Тонер нанесенный при температуре до 220 °С

Цель и задачи

- ▶ **Целью** данной работы является совершенствование процесса очистки офисной макулатуры от тонера методом флотации.
- ▶ Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:
- ▶ 1. Исследовать влияние сухого диспергирования макулатуры перед флотацией на морфологические свойства вторичных волокон;
- ▶ 2. Исследовать влияние сухого диспергирования макулатуры из офисной бумаги, запечатанной тонером на качество макулатурной массы (волокнистой суспензии) после очистки методом флотации на оптические и механические свойства бумаги.
- ▶ 3. Исследовать применение отечественных ферментов в технологии флотационной очистки макулатуры и их влияние на свойства макулатурной массы.
- ▶ 4. Разработать цифровой метод оценки уровня запечатанности макулатуры и прогнозирования оптических свойств.

Предлагаемый вариант очистки офисной макулатуры от тонера и печатной краски



Образцы бумаги, полученные из офисной макулатурной массы:

мокрый роспуск с флотацией

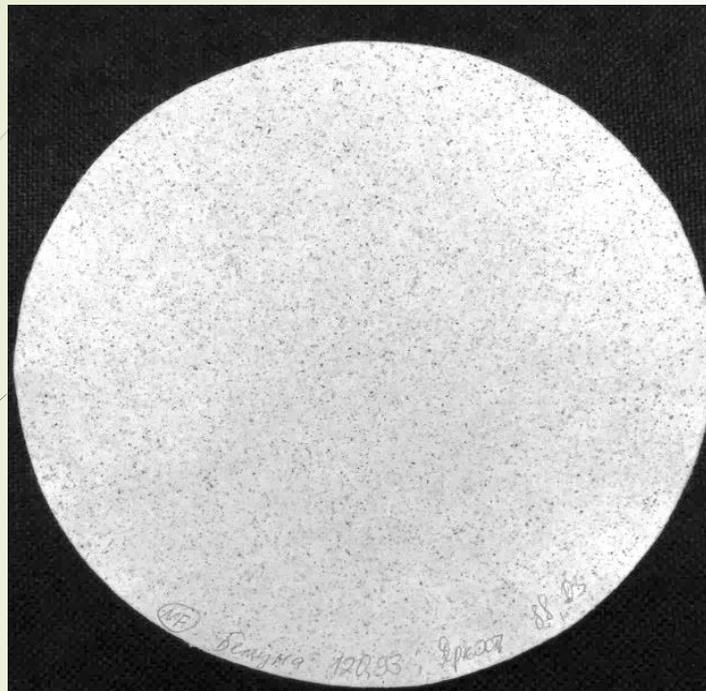


Рис.1

сухое диспергирование с флотацией

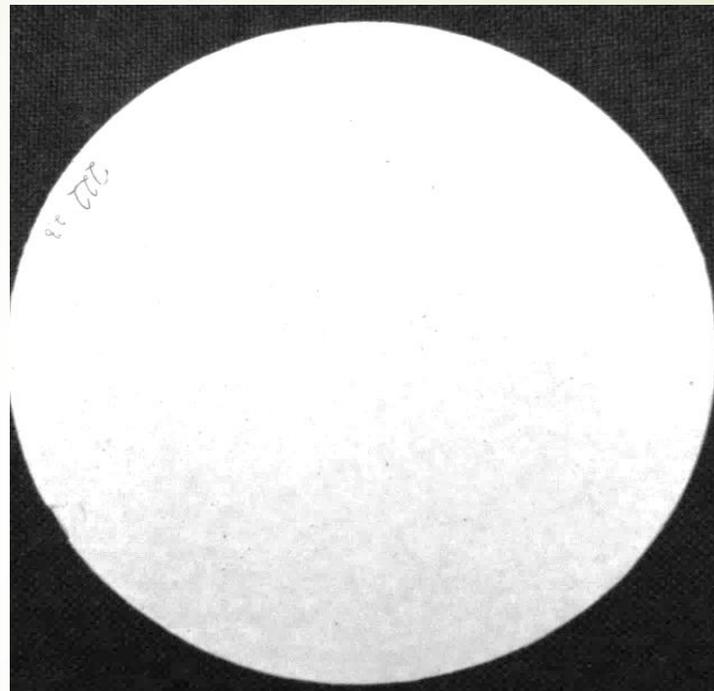
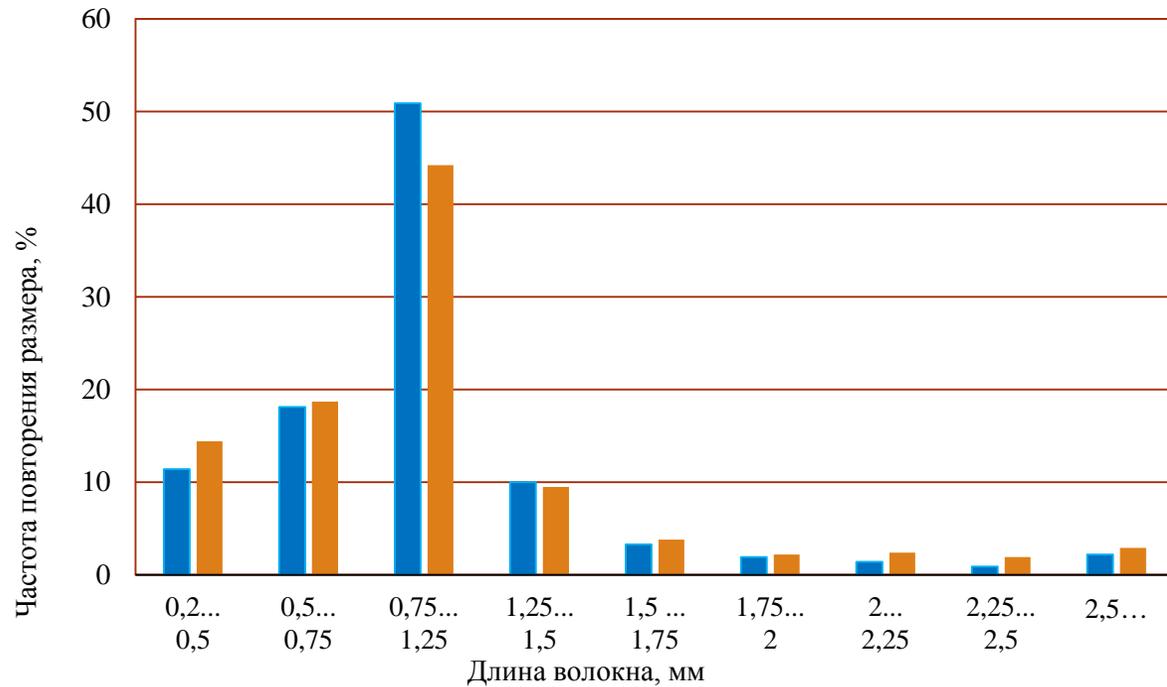
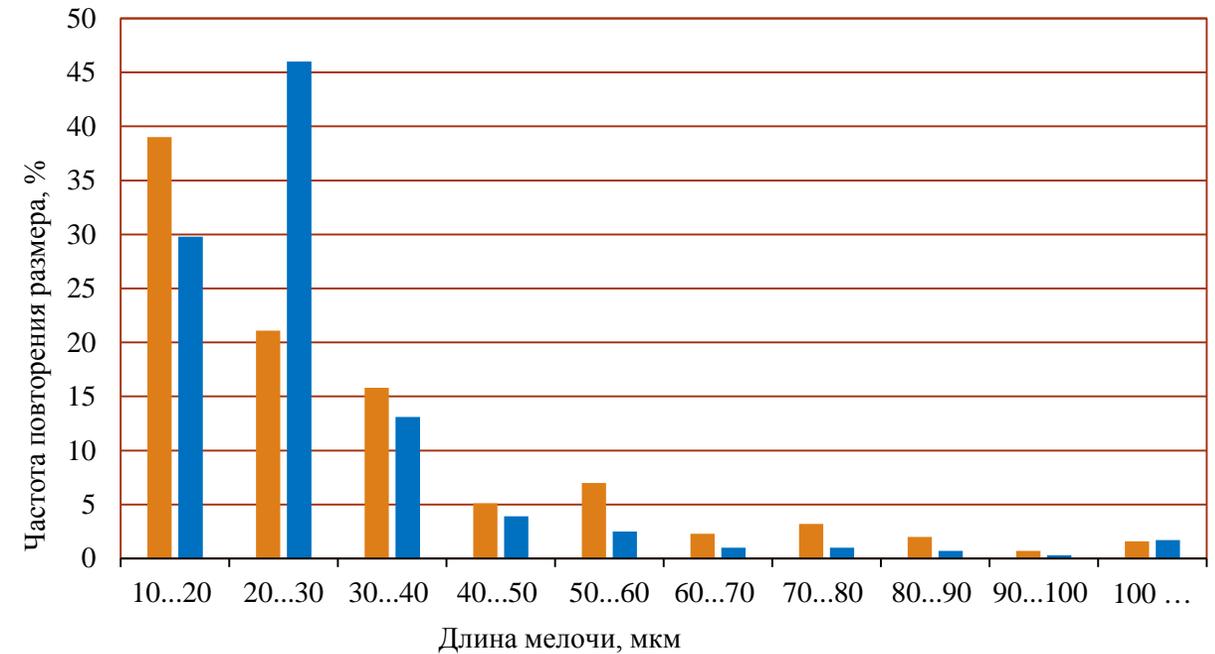


Рис.2

Сравнение морфологических показателей волокна после мокрого роспуска и сухого диспергирования



Средняя длина волокна : ■ после мокрого роспуска;
■ после сухого диспергирования офисной макулатуры



Длина мелочи: ■ после мокрого роспуска;
■ после сухого диспергирования офисной макулатуры

Параметр	Способ роспуска офисной макулатуры	
	мокрый	сухой
Ширина, мкм	24,0	24,3
Грубость, мг/м	0,2	0,2
Угол изгиба, °	134,0	133,0
Изогнутые волокна, %	26,0	43,3
Скрученность, %	7,3	10,7
Поврежденные концы, %	31,0	38,0

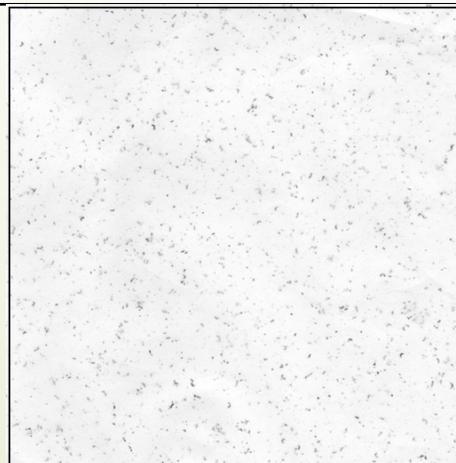
Результаты исследования физико-механических показателей образцов

п/п	Показатели	Мокрый роспуск с флотацией	Сухое диспергирование с флотацией	Изменение показателя, %
1	Масса 1м ² , г	80±2	80±2	В пределах погрешности измерений
2	Толщина, мкм	150±5	150±5	
3	Разрывная длина, км	3,30	3,17	-3,4
4	Разрушающее усилие, Н	45,50	40,0	-14,4
5	Сопротивление продавливанию, кПа	194,0	166,8	-15,2

Влияние сухого диспергирования макулатуры на оптические свойства бумаги

Результаты исследования оптических свойств образцов бумаги

Показатели	Мокрый роспуск с флотацией	Сухое диспергирование с флотацией	Изменение показателя, %
Белизна (CIE), %	99	95	-4
Яркость (ISO), %	86	75	-13
Флуоресценция, %	10	9	-10
Непрозрачность, %	94	96	+2
Вкрапления тонера, %	4,2	0,34	- 92





Ферментативная обработка офисной макулатуры

Преимущества использования ферментов:

- - мягкие условия работы: фермент не создает химически агрессивных растворов и испарений;
- - оптимизация энергопотребления, снижение расходов на ресурсы;
- - полная биоразлагаемость на этапе утилизации;
- - замена некоторых токсичных химикатов в технологических процессах;
- - разрушение части загрязнений сточных и оборотных вод до низкомолекулярных и легко разлагаемых продуктов.

Результаты исследования физико-механических свойств образцов при ферментативной обработке

п/п	Показатели	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
1	Масса 1м2, г	80±2	80±2	80±2	80±2
2	Толщина, мкм	150±5	150±5	150±5	150±5
3	Разрывная длина, км	2,9	3,2	2,1	2,4
4	Разрушающее усилие, Н	36	39	28	30
5	Сопротивление продавливанию, кПа	152	167	100	115

Вариант 1 - сухое диспергирование - обработка α -амилазой с добавлением силиката натрия, перекиси водорода, гидроксида натрия и олеиновой кислоты - с последующей флотацией;

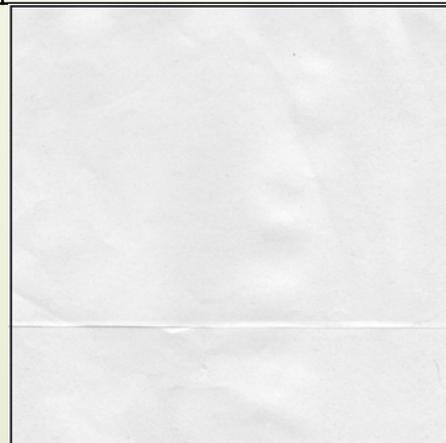
Вариант 2 – сухое диспергирование - обработка целлюлазой с добавлением силиката натрия, перекиси водорода, гидроксида натрия и олеиновой кислоты - с последующей флотацией

Вариант 3 – сухое диспергирование – обработка α -амилазой - без флотации

Вариант 4 – сухое диспергирование – обработка целлюлазой- без флотации

Влияние ферментативной обработки на оптические свойства бумаги

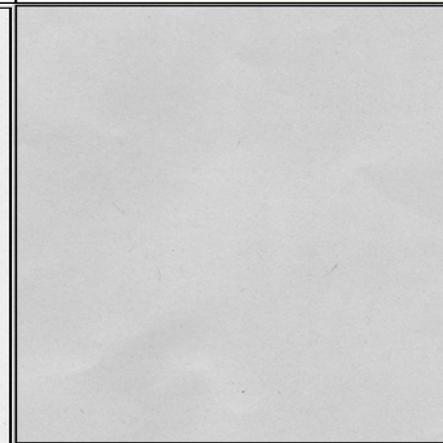
Показатели	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Белизна (CIE), %	98	95	85,9	87
Яркость (ISO), %	76	75	63,9	66
Флуоресценция, %	9,5	8,9	6,7	7
Непрозрачность, %	96	96	99,4	99
Вкрапления тонера, %	0,23	0,3	0,2	0,27



Вариант 1



Вариант 2



Вариант 3

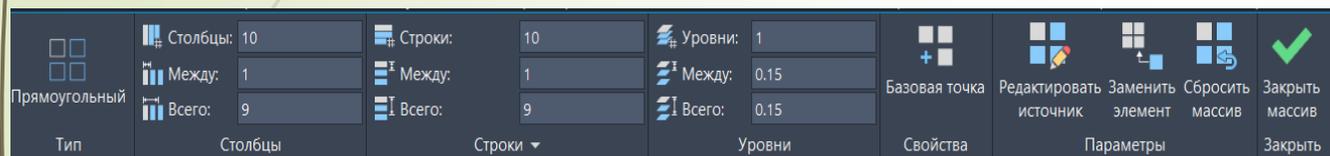


Вариант 4

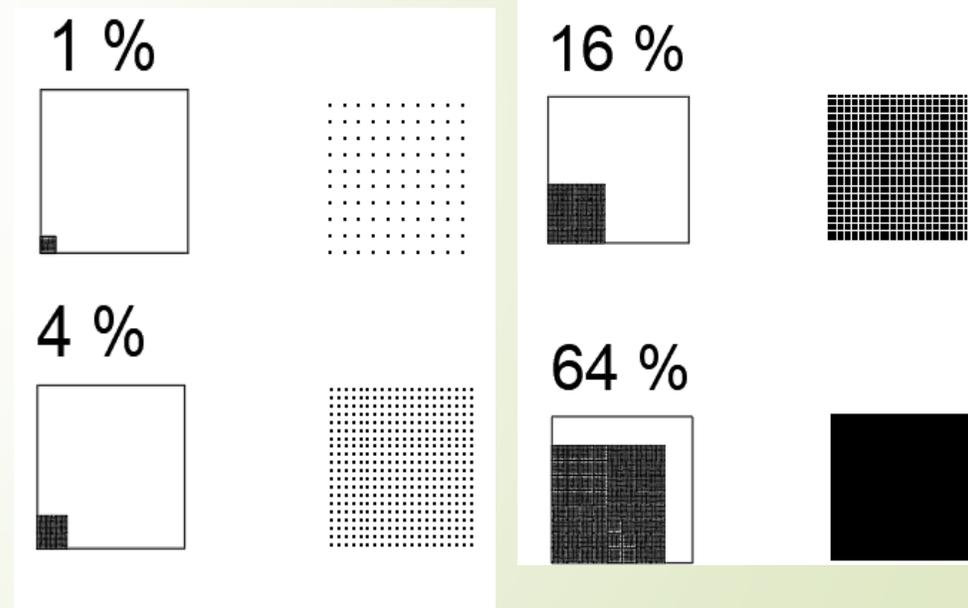
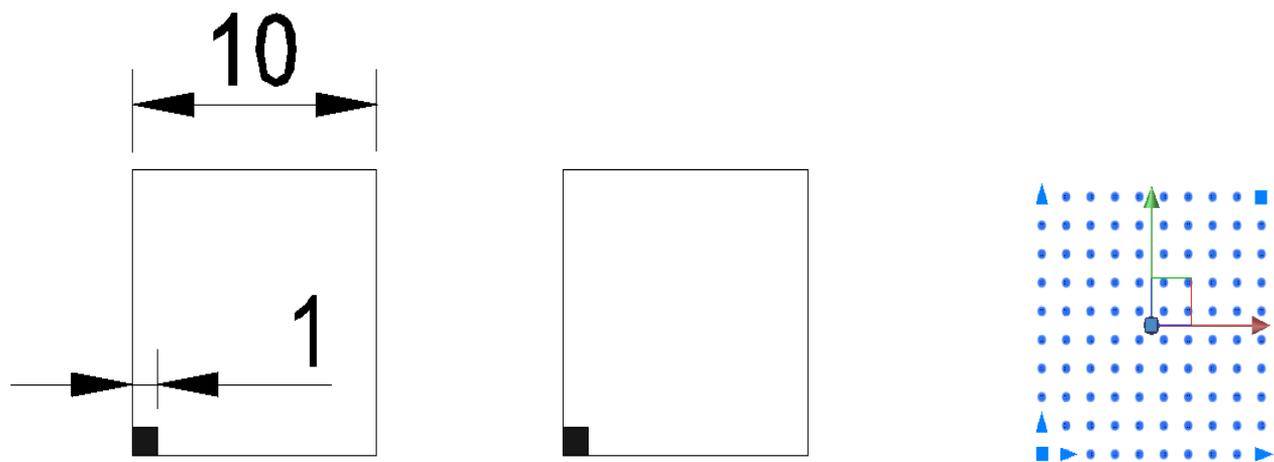
Цифровая модель оценки эффективности флотации макулатуры

Идеальная модель: Распределим вкрапления тонера площадью в 1 мм^2 в исследуемой области в 10 мм^2 на 100 частиц площадью в $0,01 \text{ мм}^2$

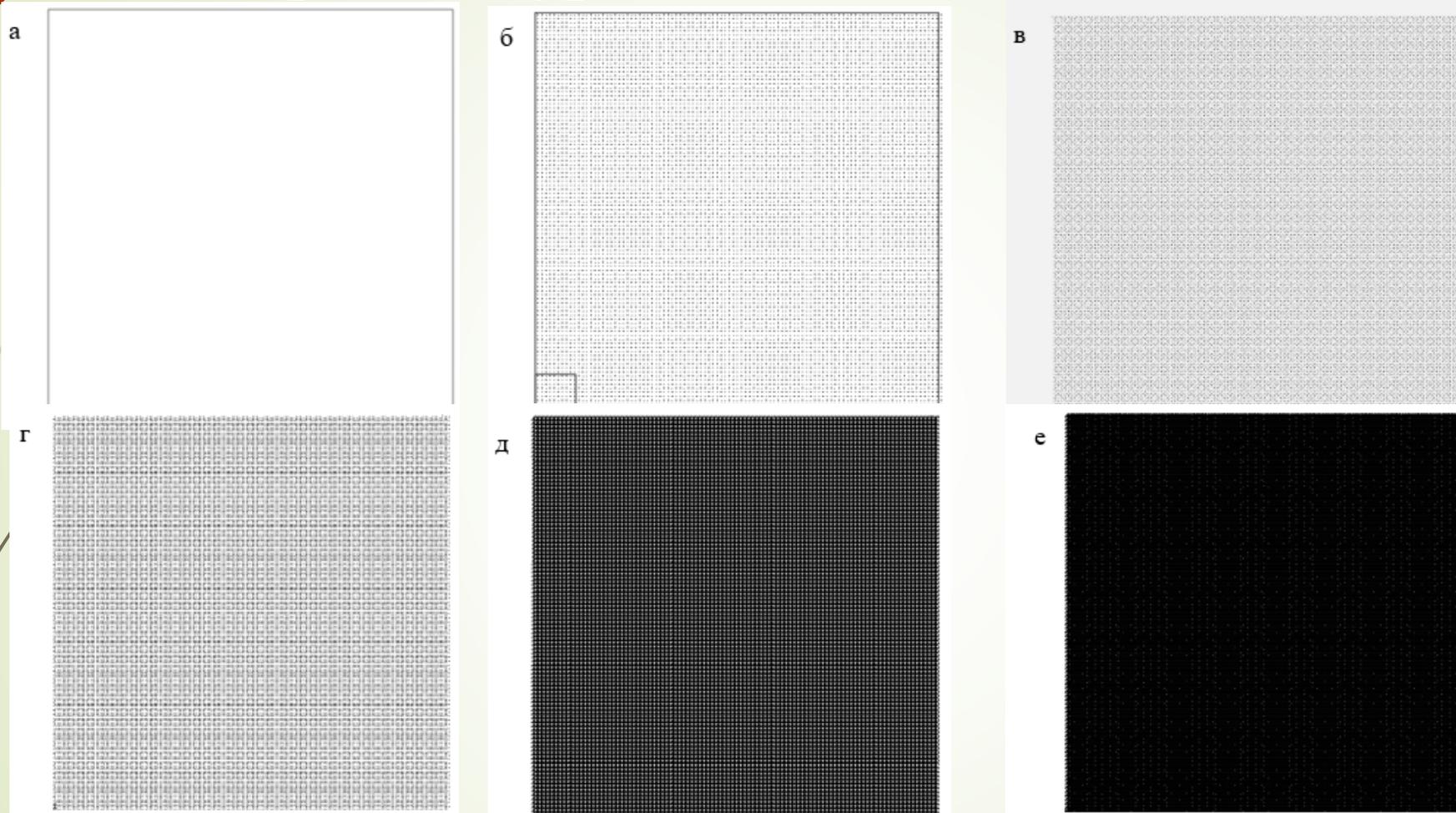
Результат: при равномерном распределении тонера частицами $0,01 \text{ мм}^2$ белизна снижается пропорционально увеличению вкраплений тонера



—[[Сверху]] [Реалистичный]



Образцы идеализированного распределения вкраплений тонера с разным уровнем запечатанности



а - уровень запечатанности 0 % (яркость ISO – 101,24 %, белизна CIE – 136,13 %, флуоресценция – 13,46, яркость ISO C/2 – 94,12 %, непрозрачность – 93,85 %);

б - уровнем запечатанности 2 % (яркость ISO – 85,4 %, белизна CIE – 121,7 %, флуоресценция – 10,9, яркость ISO C/2 – 79,5 %, непрозрачность – 94,6 %);

в - уровень запечатанности 4 % (яркость ISO – 78,17 %, белизна CIE – 114,9 %, флуоресценция – 10,09, яркость ISO C/2 – 72,72 %, непрозрачность – 94,56 %);

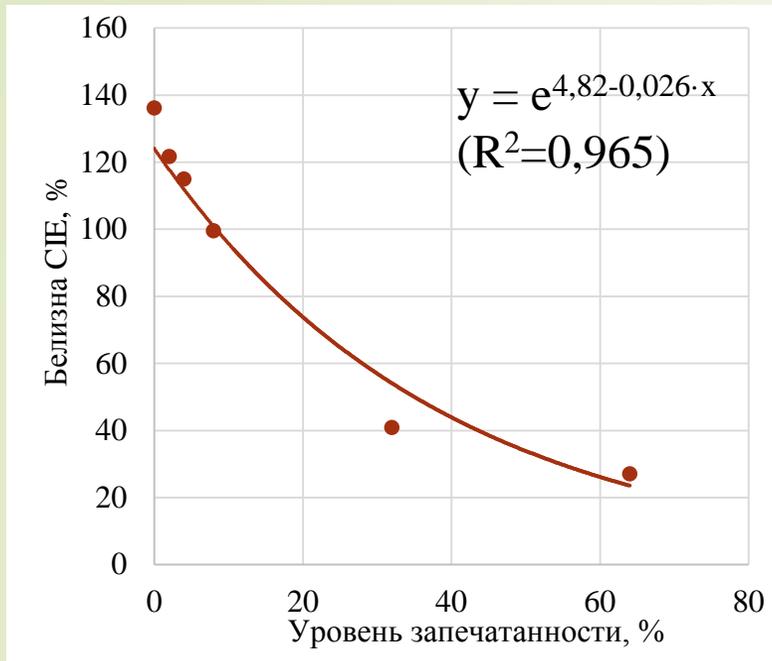
г - уровень запечатанности 8 % (яркость ISO – 61,69 %, белизна CIE – 99,56 %, флуоресценция – 7,63, яркость ISO C/2 – 57,54 %, непрозрачность – 95,58 %);

д - уровень запечатанности 32 % (яркость ISO – 12,63 %, белизна CIE – 40,89 %, флуоресценция – 1,08, яркость ISO C/2 – 12,03 %, непрозрачность – 98,57 %);

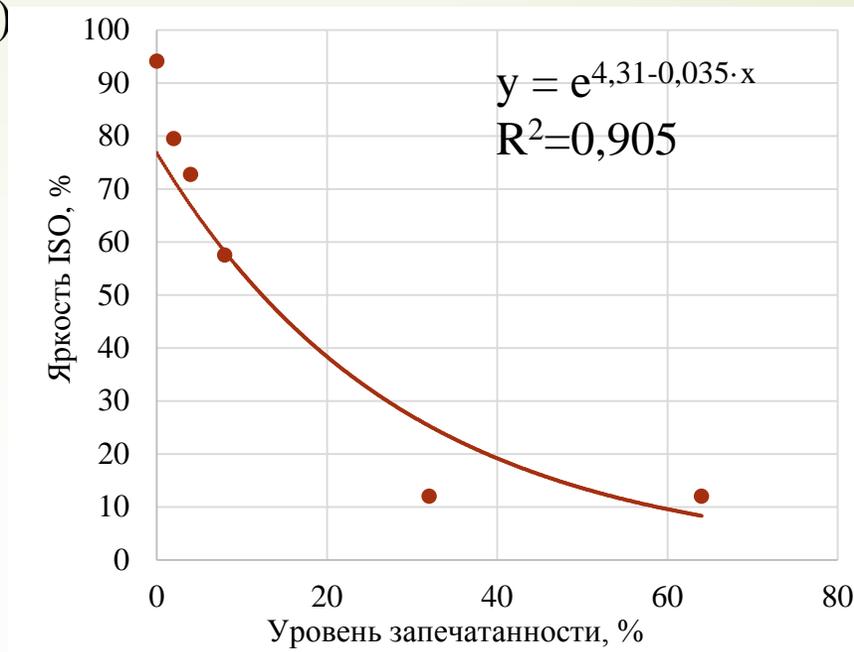
е - уровень запечатанности 64 % (яркость ISO – 7,28 %; белизна CIE – 27,06 %; флуоресценция – 0,44; яркость ISO C/2 – 12,03 %; непрозрачность – 99,96 %)

Цифровая модель оценки эффективности флотации макулатуры

а)

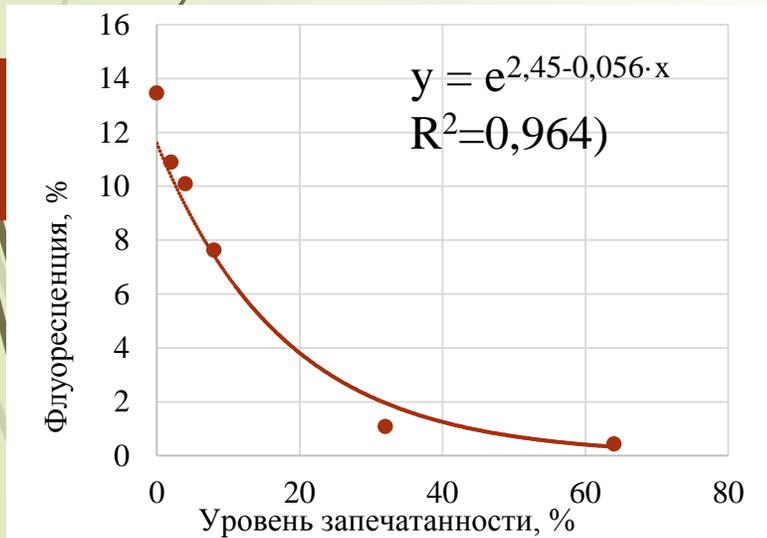


б)

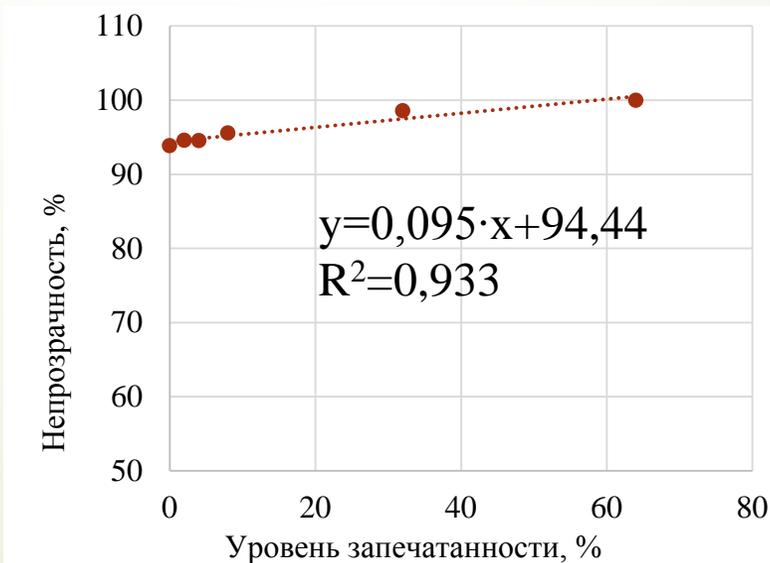


Зависимость белизны (а), яркости (б), флуоресценции (в) и непрозрачности (г) от уровня запечатанности при идеальном, при равномерном распределении вкраплений тонера на бумаге Svetocopy Classic

в)



г)



Оценка эффективности флотации по оптическим показателям и уровню запечатанности тонером

Технологии очистки тонера от макулатуры	Показатели эффективности очистки тонера от макулатуры, %								
	По вкраплениям тонера			По белизне (CIE)			По яркости		
	Исходный, T_H	Полученный, T_K	эффективность, $\Delta_T = 100 \cdot (T_H - T_K) / T_H$	идеализированный, $U_{BH} = 124 \cdot e^{-0,05 \cdot x}$, при $x = 8,2 \%$	Полученный, U_{BK}	эффективность, $\Delta_B = 100 \cdot (U_{BK} - U_{BH}) / U_{BK}$	идеализированный, $U_{як} = 76,8 \cdot e^{-0,07 \cdot x}$ при $x = 8,2 \%$	Полученный, $U_{як}$	эффективность, $\Delta_{я} = 100 \cdot (U_{як} - U_{ян}) / U_{як}$
Мокрый роспуск с флотацией	8,2	4,2	48,8	82,3	99	16,9	43,3	86	49,7
Сухое диспергирование с флотацией	8,2	0,34	95,9	82,3	95	13,4	43,3	75	42,3
Вариант 1. сухое диспергирование флотация с α-амилазой;	8,2	0,23	97,2	82,3	98	16,0	43,3	76	43,1
Вариант 2. сухое диспергирование – флотация с целлюлазой ;	8,2	0,3	96,3	82,3	95	13,4	43,3	75	42,3
Вариант 3. сухое диспергирование - α-амилаза без флотации;	8,2	0,2	97,6	82,3	86	4,3	43,3	64	32,4
Вариант 4. сухое диспергирование – с целлюлазой- без флотации	8,2	0,27	96,7	82,3	87	5,4	43,3	66	34,5

➤ Выводы

- Разработанная технология очистки офисной макулатуры методом флотации с применением сухого диспергирования позволяет более полно удалять тонер из макулатурной массы;
- По результатам исследования морфологических характеристик, установлено небольшое снижение средней длины волокна, незначительное увеличение количества мелких волокон, а также повышение скрученности и изогнутости при сухом диспергировании, что объясняет незначительное снижение физико-механических характеристик;
- Исследование оптических свойств и механических характеристик при использовании ферментов отечественного производства показало целесообразность использования фермента α -амилазы, внедрение которого позволило восстановить оптические показатели, сниженные в результате сухого диспергирования;
- Предложенная цифровая модель позволяет оценить уровни запечатанности офисной макулатуры до и после флотации, а также спрогнозировать изменения оптических свойств.



 ***Спасибо за внимание !***

