

# СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ И ЭЛЕКТРОФЛОКИРОВАНИЯ

П.Г. Шляхтенко<sup>1</sup>

Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна (СПбГУТД)  
191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, д. 26

**Аннотация** – Рассматриваются особенности разработанного и обоснованного ранее авторского способа контроля параметров качества однородных частиц синтетического ворса, используемых при нанесении покрытий в электрическом поле. Приводится схема и внешний вид лабораторной установки, особенностью которой является создание высокой концентрации заряженного ворса непосредственно в зоне флокирования и нанесение ворса по способу снизу – вверх.

**Ключевые слова:** ворсовое покрытие; плотность; долговечность; электрофлокирование; синтетические волокна; способ; устройство.

## WAYS AND DEVICES OF ELECTROSTATIC SEPARATION AND ELEKTROFLOCATION

P.G.Shljahtenko

St.-Petersburg state university of technology and design (SPbSUTD)  
191028, St. Petersburg, Mokhovaya St., 26

**The summary** – features of developed and proved earlier way of control of parameters of quality of homogeneous particles of the synthetic pile used at drawing of coverings in electric field are considered. The scheme and appearance of the laboratory installation which feature is creation of high concentration of the charged pile directly in a working zone and pile drawing on a way from below – up is provided.

**Keywords:** nap covering; density; durability; electrostatic separation; synthetic fibers; way; device.

Высокая плотность ворсового покрытия (число волокон на единице поверхности материала) является основной характеристикой качества и потребительских свойств ворсового материала. Чем она выше, тем выше устойчивость к истиранию, долговечность покрытия и его внешний вид.

Традиционно увеличение плотности ворсового покрытия пытаются достичь путем повышения качества предварительной обработки ворса, экспериментальным подбором соответствующих значений технологических параметров нанесения, а также увеличением длительности пребывания клеевой основы в зоне флокирования [1, 2].

К сожалению, все эти попытки не приводят к существенному повышению величины плотности ворса, которая всегда много меньше предельных расчетных теоретических значений, полученных в предположении идеальной параллелизации волокон в направлении, перпендику-

лярном ворсовой поверхности материала (рис. 1 – а).

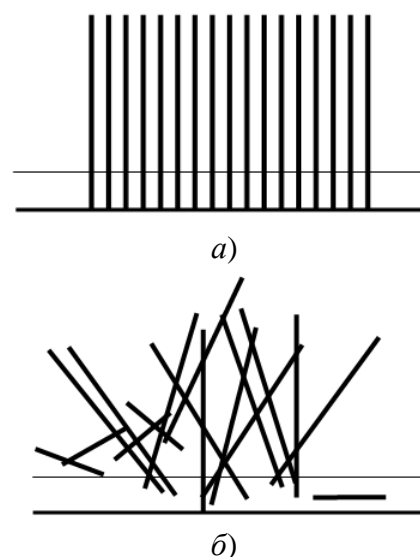


Рисунок 1. Срезы идеального (а) и реального (б) электрофлокированного покрытия

Микроскопическое исследование поверхности ворсового материала, полу-

ченного методом электрофлотирования, показывает, что предельные значения обжимаемой плотности ограничиваются видом фактического углового случайного неупорядоченного отклонения волокон, внедрившихся в клеевую основу, относительно нормали к поверхности покрытия. В этом распределении (рис. 1-б) всегда присутствуют волокна, имеющие большие углы отклонения, которые не дают возможность подлетающим волокнам закрепляться в клеевой основе и тем самым увеличивать плотность покрытия [1].

Развиваемая в работах [1 – 3] теория связывает такой случайный угловой разброс в положении закрепившихся волокон с колебанием волокон относительно направления движения в процессе этого движения, зависящим от величины избыточного заряда на волокне и его геометрическими параметрами.

В работе [4] было исследовано поведение коротких синтетических волокон с геометрическими параметрами  $l = (0,5 - 3)$  мм,  $d = (10 - 30)$  мкм, движущихся между горизонтальными электродами, при контактной зарядке волокон на электродах [5]. Последовательные стадии этого процесса схематически зафиксированы на рис. 2 (п.п. 1 – 9).

На этом рисунке показаны новые, неизвестные ранее стадии (п.п. 4 – 5 и п.п. 8 – 9), сформулированные, как «эффект полегания заряженного при контакте с электродом ворса на электрод, к которому они подлетают». Показано, что время перезарядки волокон на каждом электроде зависит от проводимости волокон и тем меньше, чем выше их проводимость.

На основании анализ результатов этого исследования установлены и объяснены следующие особенности поведения волокон:

1. Все волокна подлетают к клеевой основе в направлении, перпендикулярном клеевой поверхности, как в случае их движения снизу – вверх (рис. 3-а, п. 1), так и сверху – вниз (рис. 3-б, п. 4).

2. При достаточно жидком клее и малой скорости подачи волокон в зону флотирования все волокна ложатся в клей

(рис. 3, п.п. 2-3 и п.п. 5-6). Время полегания волокон на электрод зависит от проводимости и вязкости клея, а также от проводимости волокон. Чем меньше вязкость и больше проводимость ворса, тем это время меньше.

3. Имеется статистический разброс в поведении волокон. При большей вязкости и недостаточной подаче волокон некоторые из них ложатся в клей. Другие, отклонившись по направлению к клеевой основе на некоторый угол, остаются в таком положении. Третьи, перезарядившись, выпрямляются. Что именно произойдет с каждым волокном, зависит от отклонений в геометрии волокон и близости закрепившихся соседних волокон.

4. При большей подаче волокон в итоге получается ворсовое покрытие, состоящее из волокон всех типов, т.е. именно такое, которое получается при существующих стандартных методах электрофлотирования.

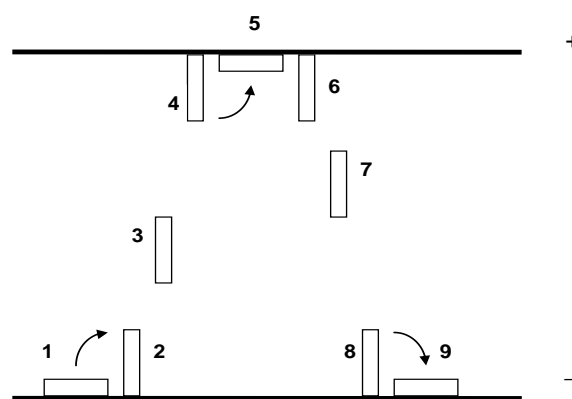


Рисунок 2. Эффект полегания ворса на электродах

На основании анализа этих закономерностей в работе [7] автором предложена новая феноменологическая теория образования ворсового покрытия в методе электрофлотирования, принципиально отличная от общепринятых представлений [1 – 3, 8].

В работе [6] исследовано, как этот эффект сказывается на закреплении волокон в клеевую основу (рис. 3).

На основании выводов этой теории выработаны технологические рекомендации по увеличению поверхностной

плотности ворса в ворсовых покрытиях типа меха и замши, получаемых этим методом. В частности, установлена необходимость повышения концентрации заряженного ворса непосредственно в зоне флорирования у клеевой основы.

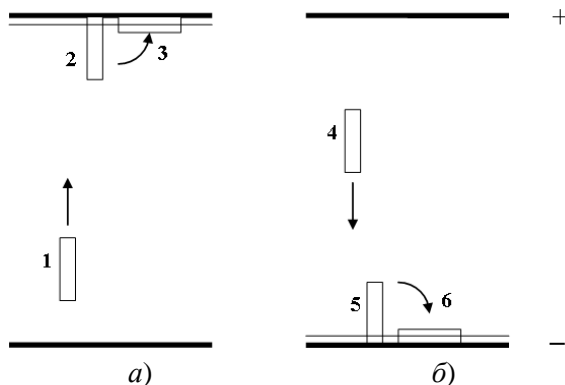


Рисунок 3. Эффект полегания ворса на клеевую основу: а – на верхнем электроде, б – на нижнем электроде

В работе [8] для повышения концентрации хлопковых волокон на вертикальной оси симметрии было использовано неоднородное электростатическое поле, образованное системой горизонтальных электродов, подобных изображенным на рис. 4 а. Такая конструкция электродов была рабочей в системе безверетенного электростатического прядения, разработанной авторами [8]. Напряженность электрического поля, создаваемого такими электродами, в любом горизонтальном сечении максимально в точках на вертикальной оси симметрии электродов.

По теоретическим воззрениям авторов этой работы любые диэлектрические волокна, перезаряжающиеся контактно на электродах, должны в таком поле под действием поперечных сил электрического поля втягиваться в область сильного электрического поля, т.е. двигаться по направлению к этой оси.

Однако, наши эксперименты [9], проведенные с короткими синтетическими волокнами дали обратный эффект. Волокна в этой системе электродов (рис. 4 а), помещенные перед включением напряжения в центр нижнего электрода, двигались в противоположную сторону,

показанную стрелками на рис. 4 а, после его включения.

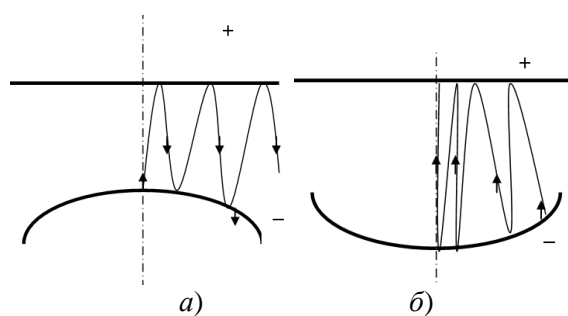


Рисунок 4. Движение короткого волокна при его перезарядке в системе с выгнутым (а) и вогнутым (б) электродами

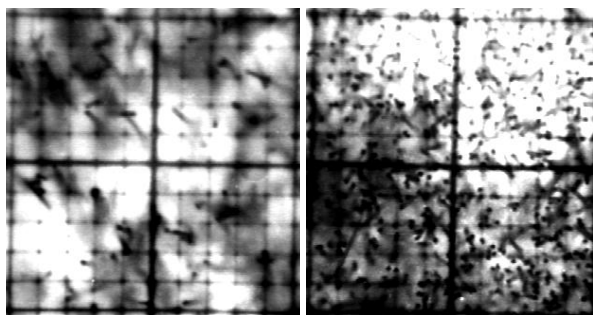
Системой электродов, которые стягивают такие волокна к оси симметрии электродов при их перезарядке и движении между электродами, обладает система, схематично изображенная на рис. 4 б, где стрелками показано экспериментально наблюдаемое направление этого движения.

В работе [10] было дано объяснение наблюдаемого эффекта, а в работе [11] предложен способ нанесения ворсовых покрытий типа искусственных меха и замши с использованием системы электродов, указанных на рис. 4 б.

На рис. 5 представлены сравнительные микрофотографии ворсовых покрытий типа искусственной замши, нанесенные существующим (рис. 5 а) и предложенным [10] методами (рис. 5 б) электрофлорирования  $n$  для одного типа стандартного капронового ворса с геометрическими параметрами  $l = 0,5$  мм,  $d = 15$  мкм.

Из данных рис. 5 видно, что помимо значительного увеличения значения плотности ворса ( $n$ ) на рис. 5 б по сравнению с рис. 5 а, видна лучшая ориентация ворса в направлении, перпендикулярном клеевой основе. Такое покрытие неплохо отражает падающий свет по законам отражения от преимущественно ориентированных торцов волокон.

На рис. 6 показаны основные части принципиально нового электрофлоратора [12], предложенного для непрерывного нанесения рулонных покрытий высокой плотности.



а) б)

Рисунок 5. Сравнительные микрофотографии ворсовых покрытий, полученных для одного типа ворса с помощью существующего метода электрофлокирования (а) –  $n = 90 [1/\text{мм}^2]$  и предлагаемым методом (б) –  $n = 1000 [1/\text{мм}^2]$ .

В этом устройстве реализованы рекомендации новой теории образования ворсового покрытия, а именно: создание высокой концентрации заряженного ворса непосредственно в зоне флокирования в начальный момент нанесения ворсового покрытия; нанесение ворса по способу снизу – вверх и контактная зарядка ворса на нижнем электроде.

Последнее значительно увеличивает избыточный заряд на волокнах при более равномерной их зарядки, что приводит к более глубокому проникновению волокон в клеевую основу.

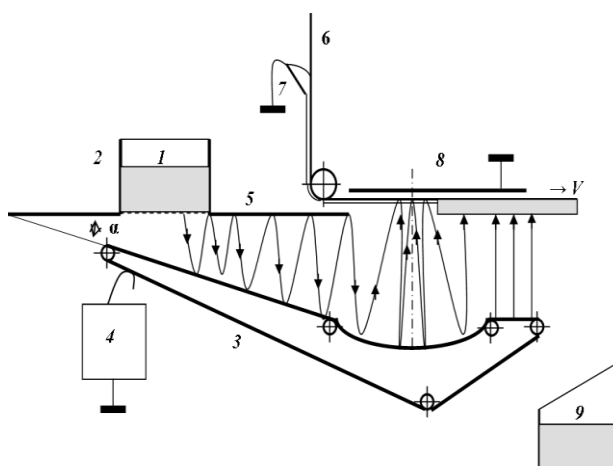


Рисунок 6. Блок-схема установки

Ворс 1 из бункера 2 сквозь сетчатое дно просыпается на движущуюся ленту транспортера 3, на которую подается высокое напряжение от выпрямителя 4. Диафрагма 5 закрывает пространство от бункера до места проникновения волокон, зарядившихся на криволинейном

участке транспортера 3. Плоский участок транспортера (первый) развернут относительно дна бункера на угол  $\alpha$ . Волокна, перезаряжаясь на первом участке ленты транспортера и диафрагме 5, движутся, отклоняясь в сторону ослабления напряженности электрического поля, по направлению ко второму участку ленты согнутой в виде участка цилиндрической поверхности радиусом  $R$ . Зарядившись на этом участке, они летят по направлению к клеевой основе 6, формируемой раклей 7, которая заземлена, где создается повышенная концентрация волокон, которые образуют на клеевой основе начальный слой повышенной концентрации.

Комки ворса на транспортере отсутствуют, так как они «рассасываются» при движении между лентой транспортера на первом участке и диафрагмой 5. Основа движется направо. Поэтому на клеевой основе 6 непрерывно образуется начальный слой повышенной концентрации ворса, который потом на третьем горизонтальном участке рабочей поверхности ленты растет за счет волокон, зарядившихся на этом участке ленты, движущихся нормально к основе, заполняя вакантные места.

Излишек незакрепившихся волокон собирается в ящике 9. Основа 6 движется вдоль верхнего электрода 8 (горизонтального, заземленного, снимающего заряд с основы).

В работах [13, 14] предложен и обоснован новый способ контроля параметров качества однородных частиц (в частности синтетического ворса), используемых при нанесении покрытий в электрическом поле. На рис. 7 приведена схема и внешний вид устройства по этому способу, в котором использованы упомянутые ранее эффекты «полегания» [4] и «отклонения» [7], обсужденные ранее.

Как видно из данных рис. 7 а, для удержания движущегося между горизонтальными электродами заданного объемного или массового количества исследуемых частиц 2 вблизи вертикальной оси симметрии, верхний электрод 1 выполняется вогнутым.

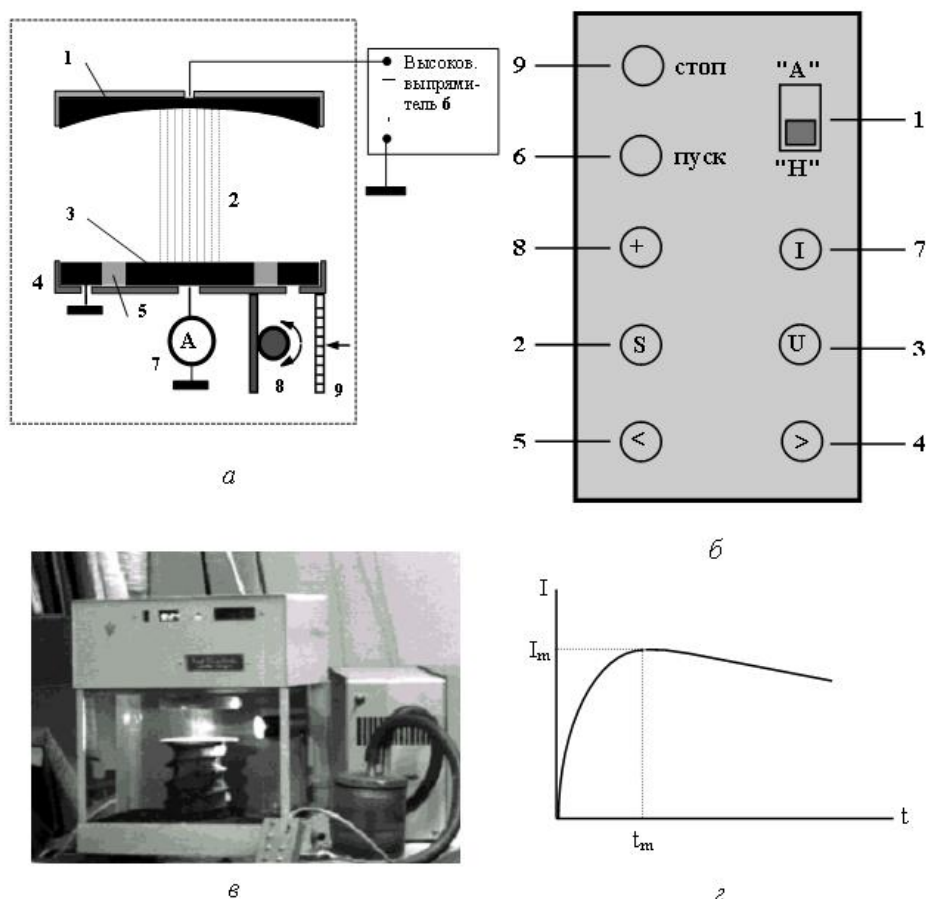


Рисунок 7. Схема (а), пульт управления (б), внешний вид устройства (в), зависимость тока  $I$ , обусловленного движущимися между электродами исследуемыми частицами, от времени  $t$  и момент  $t_m$  фиксации измеряемого тока  $I_m$

Нижний электрод разделен на две части, внутренний измерительный 3 и внешний заземленный «охранной» кольцевой электрод 4, между которыми находится диэлектрическая прокладка 5.

Ток  $I$ , обусловленный переносом заряда движущимися между измерительным 3 и верхним 1 электродами исследуемыми частицами 2, измеряется электронной схемой 7. Его значение выводится на цифровое табло устройства (рис. 7 в).

С помощью двигателя и червячной передачи 8 нижний электрод может подниматься, опускаться и устанавливаться на любое желаемое значение расстояния между электродами, которое контролируется по цифровому табло устройства (рис. 7 в). На электрод 1 от стабилизированного выпрямителя 6 может быть подано любое желаемое значение напряжения через 1 кВ в диапазоне 1 – 10 кВ ко-

торое также может выводиться на цифровое светодиодное табло устройства.

При подаче высокого напряжения от блока управления (рис. 7 б) частицы (ворс), насыпанные предварительно на электрод 3, заряжаются и приходят в движение между электродами. Это приводит к росту тока (рис. 7 г), до тех пор, пока все они не распределятся равномерным слоем области вблизи вертикальной оси симметрии электродов. После чего ток начинает уменьшаться из-за столкновения частиц, движущихся в противоположных направлениях. Максимальное значение тока  $I_m$  и соответствующий момент времени  $t_m$  фиксируется в памяти устройства, и может быть выведен на цифровое табло устройства.

Контролируемое значение тока ( $I_m$ ), связанное непосредственно с проводимостью исследуемых частиц, и время его установления ( $t_m$ ), зависящее от т.н. «разделяемости» частиц, являются харак-



теристиками их качества, которые фиксируются в памяти устройства.

Очевидными преимуществами этого устройства по сравнению с его аналогами, использующимися у нас и за рубежом, являются:

1. Контролируемые параметры измеряются в условиях (величина электрического поля, влажность, температура, давление) практически тождественных условиям электрофлотирования.

2. Устройство позволяет без включения электрофлотатора отрабатывать некоторые режимы флотирования без включения электрофлотатора. В частности, величину напряжения, при котором между электродами для некоторых типов обработанного ворса наблюдается образование т.н. «столбов» из исследуемых частиц, что на производстве дает основной брак при их возникновении.

На рис. 8 изображена схема лабораторной установки [15, 16], на которой исследовалась возможность электростатического разделения порошкообразных частиц одной природы по их размерам, в которой также были использованы обсуждаемые физические эффекты.

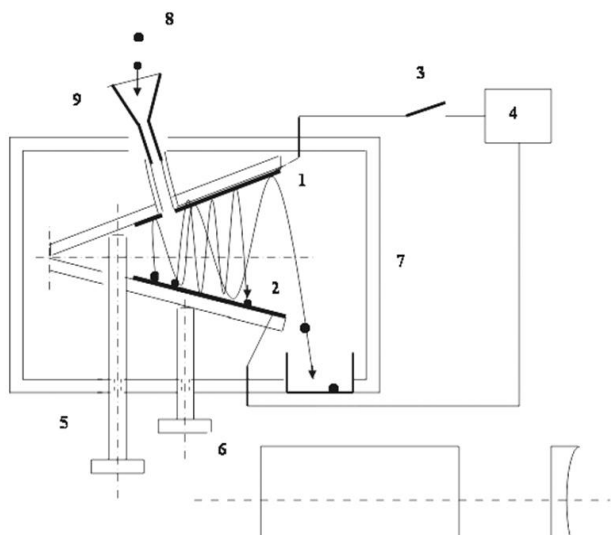


Рисунок 8. Лабораторная установка для разделения порошкообразных квазидиэлектрических частиц по их размерам

Устройство содержит два электрода, верхний 1 и нижний 2, закрепленных на диэлектрических пластинах, которые могут поворачиваться вокруг горизон-

тальной оси с помощью установочных диэлектрических винтов 5 и 6; высоковольтный ключ 3, подключающий выпрямитель 4 к электроду 1; механизм подачи разделяемых частиц, состоящий из диэлектрического шланга, нижний конец которого вставлен в отверстие в верхнем электроде 1, а в верхний вставлена металлическая воронка 9. Система электродов 1, 2 заключена в ветрозащитную камеру 7. Электрод 2 соединен с заземленным полюсом высоковольтного источника питания.

В нижней части рисунка изображена конструкция нижнего электрода 2, сечение которого представлено в правом нижнем углу рис. 8. Радиус кривизны электрода 140 мм.

Работа на устройстве происходит следующим образом. Устанавливают с помощью установочных винтов желаемые значения углов раствора электродов, включают в сеть выпрямитель 4, замыкают ключ 3 и через воронку 9 просыпают исследуемый образец анализируемых частиц одной природы и различного размера в смеси. Эти частицы попадают на нижний электрод 2, заряжаются на нем и начинают двигаться по направлению к верхнему электроду 1, где перезаряжаются и снова движутся к нижнему и т.д., смещаясь в сторону ослабления электрического поля (вправо в схеме на рис. 7). До тех пор, пока величина напряженности электрического поля у нижнего электрода становится недостаточной для отрыва перезарядившейся на нем частицы.

Если эта величина становится меньше некоторого критического значения, зависящего от геометрии частиц одной природы (одной проводимости и плотности), то процесс движения этой частицы прекращается.

Работоспособность устройства проверялась для разделения по размерам кристаллического порошка эльбора, использующегося при изготовлении качественных шлифовальных материалов, который состоял из кристаллов самого различного размера.

Проведенные опыты показали, что частицы большего размера прекращают

свое движение ближе к правому концу нижнего электрода 2, т.е. проходят больший путь вдоль образующей этого электрода до остановки, чем меньшего, и после опыта на нижнем электроде наблюдается непрерывное распределение частиц по их размеру.

С помощью этой установки был проведено разделение частиц на две фракции, когда напряжение подбиралось таким, что крупные частицы попадали в бункер, как показано на рис. 7, а мелкие оставались на электроде, после чего ссыпались в отдельную емкость.

Результаты этого эксперимента показаны на рис. 9.

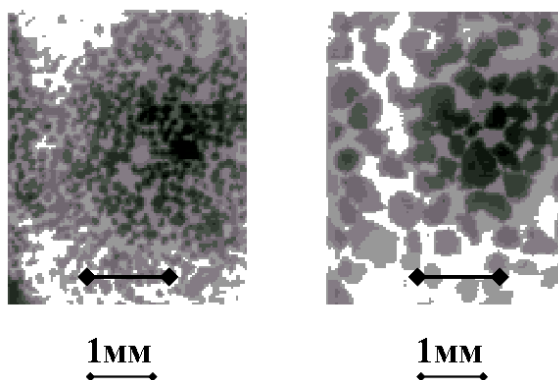


Рисунок 9. Разделение порошка эльбора на две размерные фракции

На рис. 10 показана одна из возможных конструкций устройства, предложенная для непрерывного разделения указанных частиц по размерам на три фракции, подробно описанная в работах [16, 17].

### Список литературы

1. Бершев Е.Н. Физические основы технологии электрофлотирования: Монография. - Изд-во ЛГУ, 1984. — 232 с.
2. Иванов О.М. Теоретические аспекты технологии электрофлотирования: Монография.- СПб.: СПГУТД, 2004, 165 с.
3. Семенов В.А. Теория и практика электрофлотирования: Монография. – М. ВЗПИ, 1992, - 152 с.
4. Шляхтенко П.Г. Исследование поведения синтетического ворса при контактной зарядке его на

плоском электроде электрофлотатора // Изв. вузов. ТТП. 1978. № 5. С. 27 – 31.

5. П.Г. Шляхтенко О контактной зарядке ворса на электродах электрофлотатора // Изв. вузов. Техн. Текст. пром. 1987, № 1, с. 42 – 47.

6. Шляхтенко П. Г. Исследование кинетики закрепления ориентированного синтетического ворса в поле электрофлотатора. // Электронная обработка материалов. Кишинев. 1979. – № 3. - С. 45 – 48.

7. Шляхтенко П.Г. К физике процессов, протекающих при электрофлотировании // Изв. вузов. ТТП. 1985. – № 2 (164). С. 39 - 42.

8. Попков В. И., Глазов М. И. Кинетика зарядки и динамика волокон в электрическом поле. М.; Изд-во «Наука», 1976. – 123 с.

9. П.Г.Шляхтенко, Е.Н.Бершев, Е.И.Фирсов «О движении заряженных волокон в неоднородном электрическом поле» // Электр. обработка материалов. 1984. – № 6. С. 54-55.

10. Шляхтенко П.Г., Мещерякова Г.П. Движение заряженных волокон в неоднородном электрическом поле // Электричество. – 1991. – № 2. – С. 54 – 58.

11. А.с. СССР № 1024538, МКИЗ 04Н 11/00 Способ получения ворсового материала / П.Г.Шляхтенко, Е.Н.Бершев, Е.И.Фирсов. Оpubл. 23.06.83. Бюл.№23.

12. Пат. № 2057218. Россия. МКИ D 04 Н 11/00. Устройство для электростатического нанесения ворсовых покрытий / П. Г. Шляхтенко, И. В. Котельников. Оpubл. 27.03.96. Бюл. № 32.

13. Пат. № 2096790. Россия. МКИ 5 G 01 R 27/00. Способ контроля параметров качества однородных частиц, используемых при нанесении покрытий в электрическом поле. / П.Г. Шляхтенко, А.В. Сергеев. Оpubл. 20.11.97. Бюл. 32.

14. Шляхтенко П.Г. «Описание метода измерения удельной проводимости ворса для процесса электрофлотирования», Известия вузов. ТТП. – 2004. - № 4. – С. 18 – 20.

15. Пат. № 1836034. Россия. МКИ D 04 Н 11/00. Способ электрической сепарации частиц / П. Г. Шляхтенко. Оpubл. 13.10.92; Бюл. № 36.

16. П.Г.Шляхтенко "Новый способ и устройства для электрической сепарации мелких частиц по их размерам" // Обогащение руд. – 1997. - №3. - С. 18-22.

17. Пат. 2024319. Россия. МКИ D 04 Н 11/00. Устройство для электрической сепарации частиц / П. Г. Шляхтенко (Россия). Оpubл. 15.12.94; Бюл. №45.

<sup>1</sup> Павел Григорьевич Шляхтенко, кандидат Физико-математических наук, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник лаборатории оптимизации текстильных материалов СПГУТД, тел.: +7 (812) 272-73-62, e-mail: pavelshl@sutd.ru