

ИССЛЕДОВАНИЕ СМЁТА ПРОТИВОГОЛОЛЁДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

А. К. Кралин, к.т.н., доцент; Д. А. Макеева, к.т.н., доцент

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. В рамках рассмотрения вопроса о повышении уровня экологической безопасности городского хозяйства путем повторного использования противогололедных фрикционных материалов важно изучение возможностей оптимального использования машин и оборудования для реализации всех этапов решения данной задачи. Данная работа посвящена исследованиям, связанным с разделением исходного материала на фракции для последующего использования. В статье решаются вопросы определения: граничных значений параметров прохождения частицы исследуемого материала через отверстие сита; зависимости минимально допустимого размера ячейки сита от размера частицы; зависимости минимально допустимой «световой» площади сита от размера ячейки; зависимости площади, обеспечивающей беспрепятственное прохождение частицы от размера ячейки; зависимости общей площади сита (в пределах одной ячейки) от размера ячейки; зависимости вероятности прохождения частиц от размера ячейки; а также рассмотрения движения материала по наклонной поверхности сита и определение зависимости предельной скорости движения материала от размера ячейки. Полученные зависимости позволят спроектировать или подобрать оборудование для механической классификации и обогащения материала, наиболее точно отвечающее требованиям технологического процесса.

Ключевые слова: экологическая безопасность, городское хозяйство, противогололедные фрикционные материалы, вторичное использование, сыпучий материал



*Кралин Андрей
Константинович*



*Макеева Дарья
Александровна*

ВВЕДЕНИЕ

Снижение ресурсоемкости является одним из основных путей рационального ресурсопотребления, что в свою очередь ведет к повышению уровня экологической безопасности. Повторное использование фрикционных противогололедных материалов (ПГМ) в дорожном хозяйстве является одним из важных шагов на пути бережного природопользования и реализации современных тенденций экологизации производств и технологических процессов.

Авторами ранее опубликованы результаты исследований способов классификации сыпучих материалов, анализа способов обогащения использованного фрикционного ПГМ и результатов разделения использованного ПГМ на фракции. Основным выводом по предыдущим исследованиям, который поставлен в основу данной работы, – возможно повторное использование около 60 % количества материала (фракции «+0,63»; «+1,25»; «+2,5»; «+5»). Размер зерен рекомендован отраслевыми дорожными нормами (ОДН) для использования в качестве ПГМ и приготовления комбинированных противогололедных смесей (ПГС).

В рамках рассмотрения вопроса о повышении уровня экологической безопасности городского хозяйства путем повторного использования противогололедных фрикционных материалов важно изучение возможностей оптимального использования машин и оборудования для реализации всех этапов решения данной задачи.

Сортировкой называется разделение частиц материала по крупности на фракции. Разновидностями сортировки являются обогащение и промывка материала для отделения примесей и отходов. Для разделения материалов на фракции наиболее широко применяется механическая сортировка, или грохочение. Механические грохоты обычно имеют несколько просеивающих поверхностей в виде сит и решет, каждое с ячейками определенного размера, что позволяет получить одновременно несколько фракций материала.

В данной работе ставятся задачи определения: граничных значений параметров прохождения частицы исследуемого материала через отверстие сита; зависимости минимально допустимого размера ячейки сита от размера частицы; зависимости минимально допустимой «световой» площади сита от размера ячейки; зависимости площади, обеспечивающей беспрепятственное прохождение частицы от размера

ячейки; зависимости общей площади сита (в пределах одной ячейки) от размера ячейки; зависимости вероятности прохождения частиц от размера ячейки; а также рассмотрение движения материала по наклонной поверхности сита и определение зависимости предельной скорости движения материала от размера ячейки. Полученные зависимости позволят спроектировать или подобрать оборудование для механической классификации и обогащения материала, наиболее точно отвечающее требованиям технологического процесса.

Объектом исследования являются процессы, связанные с возможностью вторичного применения противогололедного материала, предметом – сыпучий материал, применяемый в качестве средства борьбы со скользкостью.

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ

Вопросы работ с сыпучими материалами отражены в работах таких ученых как Авдохин В. М., Аврамов А. А., Баловнев В. И., Борщев В. Я., Горфин О. С., Гусев Ю. И., Дроздова О. И., Перов В. А., Промтов М. А., Тимонин А. С., Скобелев Д. О., Старцев В. А., Шестопапов А. А. [3, 5, 8, 9, 12] и Kestler A., Kreder M. J., Alvarenga J, Kim P, Aizenberg J. Design [1, 2]. Вопросы анализа экологического и социо-экологического воздействия на окружающую среду, изучения эффективных систем обращения с мусором в мире и решения проблем отходов дорожно-автомобильного комплекса активно исследуются и представлены в работах Аликбаевой Л. А., Колодия С. П., Бека А. В., Челнокова В. В. [10, 11], мониторинга уровня экологической безопасности твердых промышленных отходов в работах Козыря Д. А. [7].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Определение граничных значений параметров прохождения частицы через отверстие сита

На основании общей классификации способов обогащения материалов выбран наиболее рациональный способ – механическая классификация сыпучих материалов.

Необходимо определение основных параметров способа обогащения исходного сырья на примере минимально-допустимого размера частицы материала, который можно применять в качестве ПГМ. В нашем случае это фракция размером «+0,63».

Определяем граничные значения параметров прохождения частиц через отверстие сита [6].

В качестве исходных данных принимаем диаметр частицы, проходящей через отверстие сита 0,63 мм. Толщина проволоки сита 0,18 мм, а размер ячейки – варьируемая величина от 0,5 до 5 мм [4, 6].

Известно, что материал, размер частицы которого описывается выражением:

$$d \geq 0,75 \times b, \text{ мм} \quad (1)$$

является трудноразделимым. Необходимо определить размер ячейки сита, который разделит материал на нижний класс, т.е. «-0,63» и верхний класс «+0,63».

На рис. 2 представлена зависимость минимально допустимого размера ячейки сита от размера частицы.

Для обеспечения прохода частицы размеров 0,63 мм размер ячейки должен быть равен 0,85 мм. Это на 25 % больше размера частицы. На рис. 3 представлена зависимость минимально допустимой «световой» площади сита от размера ячейки.

Эффективность грохочения – параметр, которым нельзя оценить качественную характеристику материала, подвергнутого классификации, но вполне подходящий для определения процентного отношения частиц в исходном материале других классов, т.е. количественную характеристику.

Вышеуказанный параметр зависит от многих факторов, например, от скорости, с которой частица перемещается по поверхности сита, от габаритных размеров поверхности сита, от скорости и количества подачи исходного материала на просеивающую поверхность, от размера зерен исходного материала и т.д.

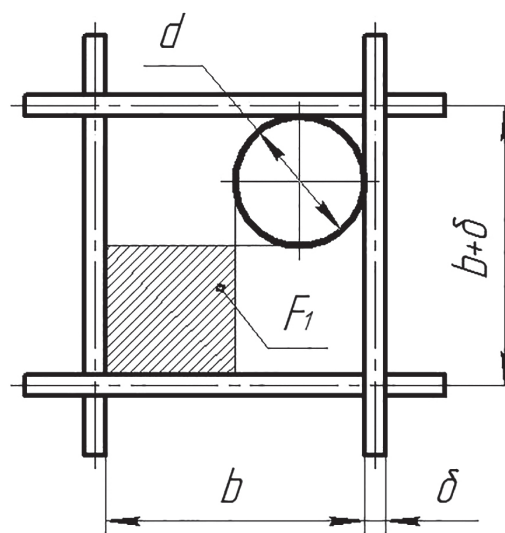


Рис. 1. Схема прохождения частицы через отверстие сита: d – диаметр частицы; b – размер ячейки; δ – толщина проволоки сита F_1 – площадь, обеспечивающая беспрепятственное прохождение частицы

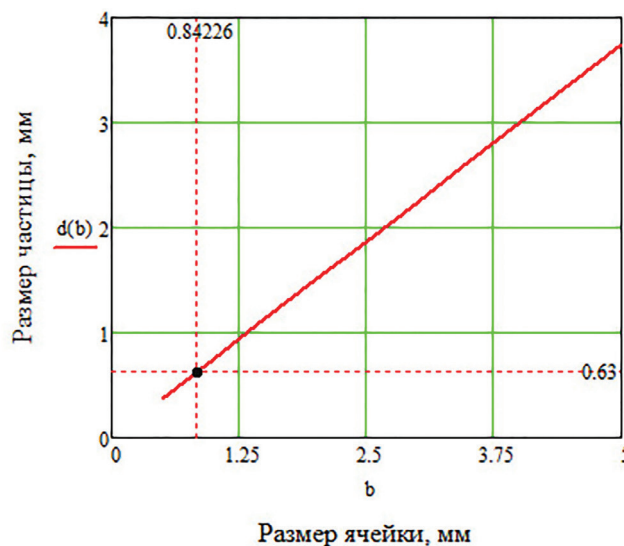


Рис. 2. Зависимость минимально допустимого размера ячейки сита от размера частицы

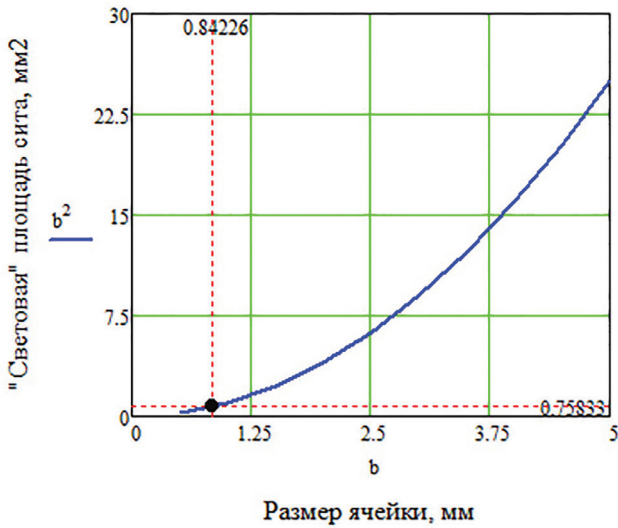


Рис. 3. Зависимость минимально допустимой «световой» площади сита от размера ячейки

Перечисленные факторы определенным образом влияют на процесс разделения исходного материала на фракции, что придает процессу прохождения частицы через отверстие сита вероятностный характер.

Можем допустить, что частица исходного материала, имеющая сферическую форму, падает на поверхность сита с квадратным сечением ячейки (см. рис. 1) вертикально. Тогда вероятность P , с которой частица диаметром d проходит через ячейку сита, имеющую размер b , определяется отношением площади, которая обеспечивает беспрепятственное прохождение частицы, к общей площади сита:

$$F_1 = (b - d)^2, \text{ мм}^2 \quad (2)$$

где d – диаметр частицы, мм;
 b – размер ячейки, мм;

Для определения площадей зададимся следующими исходными данными:

- $b = 0,5 \dots 5$ – размер ячейки, мм, шаг 0,5 мм;
- $\delta = 0,18$ – толщина проволоки сита, мм;
- d_1 – диаметр частицы, мм

На рис. 4 представлена зависимость площади, обеспечивающей беспрепятственное прохождение частицы, от размера ячейки.

Определяем общую площадь сита (в пределах одной ячейки):

$$F_2 = (b + \delta)^2, \text{ мм}^2 \quad (3)$$

где δ – толщина проволоки сита, мм.

На рис. 5 представлена полученная зависимость общей площади сита (в пределах одной ячейки) от размера ячейки.

Вероятность прохождения частицы через ячейку сита определяем следующим выражением:

$$P = \frac{F_1}{F_2} = \frac{(b - d)^2}{(b + \delta)^2} = \frac{b^2}{(b + \delta)^2} \left(1 - \frac{d}{b}\right)^2, \quad (4)$$

Полученная зависимость вероятности прохождения частиц от размера ячейки на рис. 6.

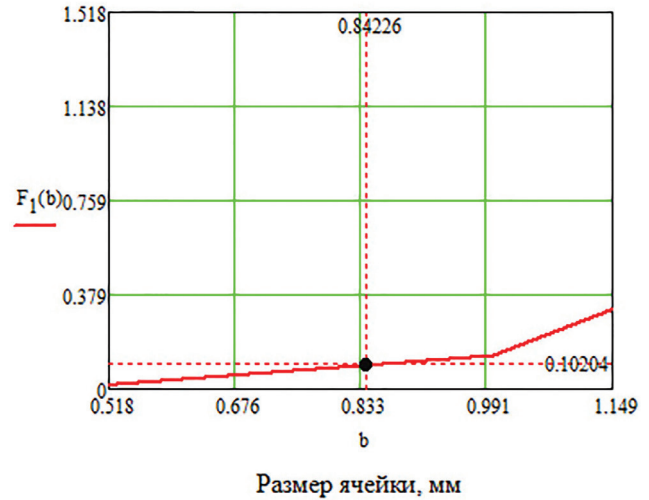


Рис. 4. Зависимость площади, обеспечивающей беспрепятственное прохождение частицы, от размера ячейки

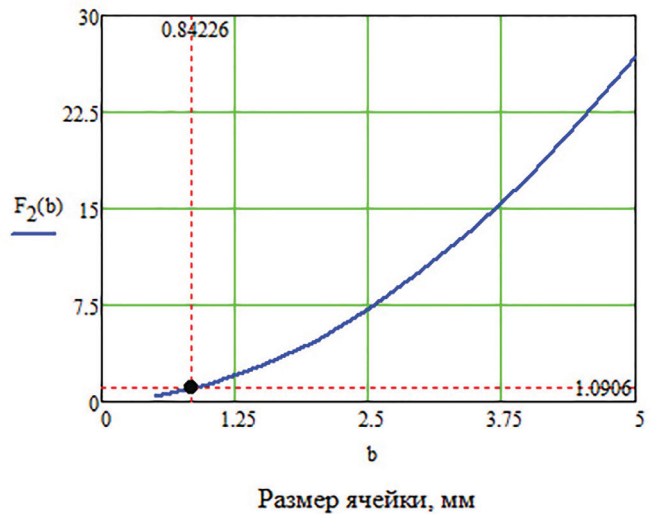


Рис. 5. Зависимость общей площади сита (в пределах одной ячейки) от размера ячейки

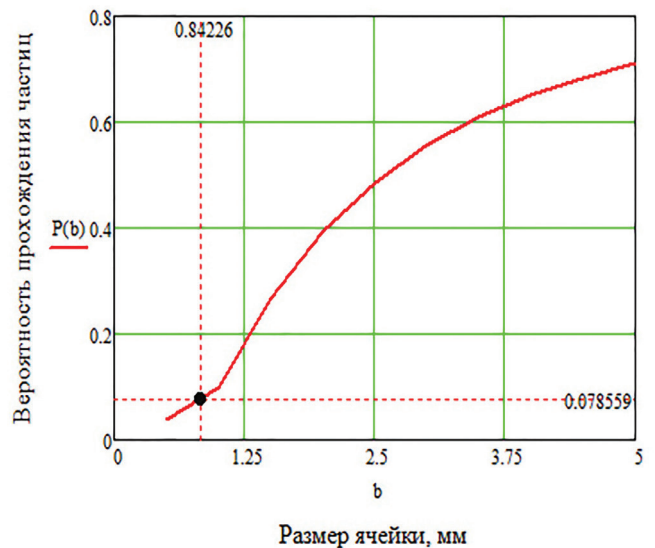


Рис. 6. Зависимость вероятности прохождения частиц от размера ячейки

Движение материала по наклонной поверхности сита

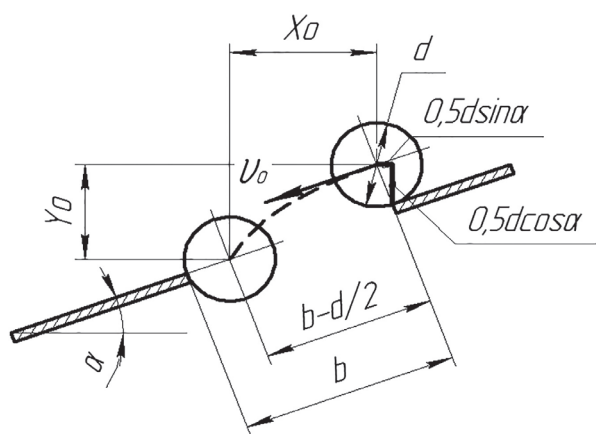


Рис. 7. Схема движения частицы по наклонному сит

Для определения движения материала по наклонной поверхности зададимся следующими исходными данными:

- $\alpha = 20^\circ$ – угол наклона поверхности сита, град;
- $g_{CB} = 9,82$ – ускорение свободного падения, м/с²;
- $d_1 = 0,63$ – диаметр частицы, мм

При размере отверстия b , диаметре частицы d , скорости движения v и угле наклона сита α (рис. 8) перемещение куска материала за время τ [28]:

$$x = v\tau \cos \alpha, \quad (5)$$

$$y = v\tau \sin \alpha + \frac{g t^2}{2}, \quad (6)$$

откуда $\tau = \frac{x}{v \cos \alpha}$ и

$$y = vx \sin \alpha / (v \cos \alpha) + 0,5g x^2 / (v^2 \cos^2 \alpha), \quad (7)$$

В предельном случае, когда кусок материала сталкивается с ребром отверстия,

$$x_0 = (b - 0,5d) \cos \alpha - 0,5d \sin \alpha, \quad (8)$$

$$y_0 = (b - 0,5d) \sin \alpha + 0,5d \cos \alpha, \quad (9)$$

Подставляя (8) и (9) в (7), получаем значение предельной скорости движения материала, м/с:

$$v_0(b) = \frac{[(b - 0,5d_1) \cos(\alpha) - 0,5d_1 \sin(\alpha)] \times \sqrt{\frac{g_{CB}}{[d_1(\cos(\alpha) + \sin(\alpha) \times \operatorname{tg}(\alpha))]]}}{\cos(\alpha)}, \quad (10)$$

На рис. 8 представлена зависимость предельной скорости движения материала от размера ячейки.

Анализируя полученные результаты расчета, можно сделать следующие выводы: для разделения исходного материала на верхний «+0,63» и нижний «-0,63» классы с минимально допустимым размером ячейки сита, равным 0,85 мм, исходный материал должен перемещаться с предельной скоростью, не более $v = 1,58$ м/с, это значение скорости считается весьма малым. Возможно увеличение предельной скорости движения материала, например до 8 м/с, геометрические размеры ячейки сита необходимо увеличить до 2,5 мм.

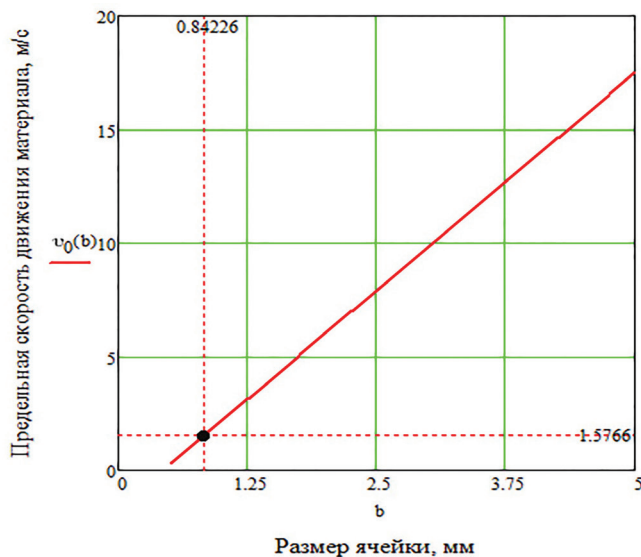


Рис. 8. Зависимость предельной скорости движения материала от размера ячейки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты будут служить основанием для выбора или проектирования оборудования для механической классификации и обогащения материала, наиболее точно отвечающего требованиям технологического процесса.

Список литературы

1. AECOM, Boston, MA Maureen A. Kestler National Technology & Development Center San Dimas, CA (О ресурсосберегающих технологиях, повторном использовании материалов в городском хозяйстве, в частности в дорожном хозяйстве.) <https://www.fs.fed.us/t-d/pubs/pdfpubs/pdf12771807/pdf12771807dpi72.pdf>.
2. Kreder MJ, Alvarenga J, Kim P, Aizenberg J. Design of anti-icing surfaces: smooth, textured or slippery. *Nat. Rev. Mater.* 2016;1 (1) :15003.
3. Борщев, В. Я. Оборудование для переработки сыпучих материалов / В. Я. Борщев, Ю. И. Гусев, М. А. Промтов., А. С. Тимонин // МОСКВА «ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ-1» 2006.
4. Государственный стандарт Российской Федерации. Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294845/4294845370.htm>.
5. Дроздова, О. И., Моделирование процесса классификации твердых сыпучих материалов / О. И. Дроздова, В. А. Гребенникова, Л. М. Мансур, А. А. Шагарова // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2020. № 4 (33). С. 18-23.
6. Жулай, В. А. Машины и оборудование для грохочения, сепарации и классификации строительных материалов. Конструкции и расчеты: учебное пособие / Жулай В. А., Шарипов Л. Х. – Воронеж : Воронежский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. – 218 с. – ISBN 978-5-7731-0801-6. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/100445.html>

- (дата обращения: 10.11.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
7. Козырь, Д. А. Дистанционный мониторинг уровня экологической безопасности твердых промышленных отходов // В сборнике: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях. Материалы VIII Международной научной конференции. Под редакцией М. А. Польшиной. 2019. С. 142-144. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42384854>.
 8. Скобелев, Д. О., Аналитическая оценка оборудования для дробления и сепарации по крупности техногенного сырья / Д. О. Скобелев, В. А. Марьев, Л. Я. Шубов, С. И. Иванов, И. Г. Доронкина // Экология промышленного производства. 2018. № 1 (101). С. 2-10. https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=864409&pubrole=100&show_refs=1&show_option=0.
 9. Старцев, В. А., Технологическое обоснование диаметра ячейки барабанного грохота при повторной промывке песков в условиях месторождения «Кондер» / В. А. Старцев, Ю. А. Старцев, Ю. В. Стенин, И. С. Бойков // Сборник докладов IX Международной научно-технической конференции. Екатеринбург, 2020. С. 106-113. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42985230>.
 10. Челноков, В. В. Визуализация данных дистанционного зондирования дорожных сетей в целях анализа экологического и социо-экологического воздействия / Челноков В. В., Мешалкин В. П., Стрелков С. П., Кондрашин К. Г. // Геодезия и картография. 2021. Т. 82. № 3. С. 36-43. <https://elibrary.ru/item.asp?id=45639035>.
 11. Шведский путь отходов. Как устроена одна из самых эффективных систем обращения с мусором в мире — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://novayagazeta.ru/articles/2020/09/07/86985-shvedskiy-put-othodov> (Дата обращения 30.09.2021).
 12. Шестопалов, А. А. Строительные и дорожные машины. Машины для переработки каменных материалов / А. А. Шестопалов, В.В. Бадалов. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2014. — 116 с. — ISBN 978-5-7422-4276-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/43974.html> (дата обращения: 30.09.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.