

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-10-53-62

Уляшева В.М., Мартьянова А.Ю., Анишукова Е.А.Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет***E-mail: ulyashevavm@mail.ru*

К РАСЧЕТУ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

Аннотация. *Аэродинамический режим систем аспирации и пневмотранспорта зависит от многих факторов, в первую очередь от физических характеристик перемещаемых твердых частиц, а также от особенностей технологических процессов с выделением твердых частиц различного происхождения и конструктивного устройства рассматриваемых систем. При проектировании систем аспирации и пневмотранспорта для различных отраслей промышленности обычно решается комплекс задач, связанных с обеспечением предельно допустимых концентраций пыли в производственных помещениях и в атмосферном воздухе, ресурсосбережением и энергоэффективностью. Предприятия производства строительных материалов характеризуются значительными пылевыведениями. При этом в процессах дробления, размола, сортировки, перемещения сырья и строительных материалов образуются твердые частицы, имеющие в общем случае широкий диапазон размеров – от 0,01 мкм до 20 мм и более. Это создает значительные трудности при конструировании приемников вредностей, воздухопроводов, устройств для очистки воздуха. В практике проектирования расчеты систем аспирации и пневмотранспорта выполняются по инженерным методикам, основанным преимущественно на данных экспериментальных исследований 1970–1990 гг., в связи с чем имеет место существенное различие результатов. Практически все инженерные методики основаны на экспериментальных значениях скорости витания твердых частиц. Значения скорости витания твердых частиц, идентичных по физическим характеристикам, различаются на более 30 %. Что касается одной из наиболее важных аэродинамических характеристик, скорости транспортирования, то для совершенствования методов инженерных расчетов необходимы новые данные для различных видов твердых частиц. Учитывая наличие в аэродисперсных потоках рассматриваемых систем твердых частиц различных размеров, использование численного моделирования достаточно ограничено. Имеются результаты численного эксперимента, в основном, для оборудования очистки воздуха, в частности, циклонов. В работе приведены экспериментальные данные определения скорости транспортирования для твердых частиц, характерных для предприятий строительной отрасли.*

Ключевые слова: *аспирация, аэродисперсная система, твердая частица, скорость витания, скорость транспортирования*

Введение. Аэродинамический режим систем аспирации и пневмотранспорта, широко применяемых в различных отраслях промышленности при необходимости перемещения компонентов материалов после их измельчения, зависит от особенностей технологического процесса, характеристики перемещаемых твердых частиц, конструктивных и функциональных особенностей рассматриваемых систем. Исследованиям аэродисперсных систем посвящено значительное число работ. Необходимо отметить многочисленные исследования В.Е. Воскресенского, обобщенные в работах [1, 2], связанные с изучением систем аспирации и пневмотранспорта в деревообрабатывающей промышленности, разработкой инженерных методов расчета систем и подбора пылеулавливающего оборудования. Оценка энергетической и экологической безопасности аспирационных систем рассмотрена в работе [3]. Учитывая значительные сложности в изучении аэродисперсных систем вследствие существенного влияния различных физических факторов,

большинство исследователей наряду с лабораторными экспериментами [4, 5] используют компьютерное моделирование. Кроме того, во многих случаях необходимо учитывать влияние на аэродинамический режим процессов тепломассообмена [6]. Использование методов математического моделирования позволяет рассматривать аэродинамические процессы с точки зрения нестационарности их формирования [7], учета влияния особенностей подачи пылевидных частиц [8, 9], конфигурации возмущающих элементов в воздухопроводах [10] и местных отсосах [11]. Значительный вклад в развитие теории и практики аспирационных систем принадлежит Белгородской научной школе БГТУ им. В.Г. Шухова. В публикациях [12, 13] рассмотрены различные аспекты формирования пылевоздушных течений во входных отверстиях и патрубках, формирования отрывных течений и вихревых зон в пылеприемниках [14–16]. Особое внимание уделено изучению потоков в зоне их отрыва, оптимизации конфигурации систем и конструктивного оформления

всасывающих отверстий для снижения аэродинамического сопротивления. Авторы настоящей статьи рассматривали применение лабораторного и численного экспериментов в аспирационных системах, некоторые результаты которых представлены в работах [4, 17]. Зарубежными исследователями в работах, посвященных данной проблеме, также использованы и физические эксперименты [18, 19], и методы компьютерного моделирования, например, в работе [20].

В инженерной практике расчета инженерных систем необходимо иметь обобщенные характеристики, позволяющие учесть их гидравлические особенности. Это в полной мере касается и аэродисперсных систем. Одной из основных характеристик данных систем является скорость витания перемещаемых твердых частиц. В общем случае в зависимости от вида и физических характеристик исходного материала, технологических особенностей переработки, обработки или перемещения материалов перемещаемые частицы могут иметь различную форму и размеры. На предприятиях строительной отрасли источниками образования твердых частиц являются дробильные, помольные и сортировочные линии, места перегрузки и транспортирование сыпучих материалов, неплотности в укрытиях различного технологического оборудования. При этом, в силу особенностей образования твердых частиц под действием, в основном, гравитационных и инерционных сил твердые частицы приобретают округлую или шарообразную форму, поскольку выступы на поверхности твердых частиц подвергаются интенсивному истиранию в процессе вышеуказанных технологических и транспортных операций. В исследованиях систем аспирации и пневмотранспорта преимущественно рассматриваются шарообразные частицы, в большинстве случаев такой подход адекватен результатам физических экспериментов.

Как отмечено выше, основной характеристикой аэродисперсных систем является скорость витания твердой частицы, определяющая практически все остальные аэродинамические характеристики, такие как скорости трогания, транспортирования, движения частиц твердой фазы, аэродинамического сопротивления. Некоторые исследователи не считают скорость витания твердой частицы в потоке воздуха основополагающей характеристикой для расчета рассматриваемых систем, предлагая перейти к использованию в качестве основной характеристики, например, скорости трогания. Несмотря на это, скорость витания остается определяющей для решения задач

исследований аэродисперсных систем, что в первую очередь связано с существенно более удобными методами для проведения физических измерений. Необходимость исследований скоростей витания и транспортирования обусловлена отсутствием систематизированной информации по аэродинамическим характеристикам для различных видов перемещаемых твердых частиц в системах аспирации и пневмотранспорта, отличающихся сложностью конфигурации и значительными затратами материальных и энергетических ресурсов. Для снижения потребления ресурсов независимо от конфигурации систем (разветвленные или с аспирационными коллекторами) и во избежание образования отложений твердых частиц рекомендуется использовать вертикальные и/или наклонные воздухопроводы. Таким образом, целью работы является экспериментальное исследование скорости транспортирования твердых частиц с различными плотностью и диаметром в наклонных воздухопроводах в зависимости от угла наклона. Для поставленной цели исследований решены следующие задачи:

- усовершенствована лабораторная установка для выполнения измерений при различных углах наклона воздухопровода;
- выполнены измерения и статистическая обработка скорости транспортирования для твердых частиц с различной плотностью и диаметром, характерных для строительной отрасли;
- на основании обработки результатов измерений предложена новая критериальная зависимость, позволяющая определить скорость транспортирования в зависимости от режима течения, массовой концентрации и угла наклона воздухопровода.

Методы. Для определения аэродинамических характеристик систем аспирации и пневмотранспорта широко применяются лабораторные эксперименты. В.Е. Воскресенский [1] считает результаты таких исследований наиболее достоверными, что связано с крайней неоднородностью аэродисперсных потоков, удаляемых от мест образования твердых частиц. Несмотря на то, что в работах [1, 2] речь идет о деревообрабатывающих цехах, в которых имеют место особые виды отходов производства в виде стружек и опилок, такая ситуация характерна и для других технологических процессов, в том числе для строительной отрасли. При производстве строительных материалов и изделий в большинстве случаев твердые частицы имеют более компактную геометрическую форму, чем в вышеуказанном

производстве. Однако, в аспирационных системах строительной отрасли удаляемые твердые частицы имеют широкий диапазон размеров. Дисперсный состав пылевоздушных потоков в аспирационных системах зависит от многих факторов, среди них в первую очередь необходимо отметить состояние исходного сырья, периодический и постоянный режим работы определенного технологического процесса. В любой момент времени представляется достаточно сложным получить подробную характеристику дисперсного состава потока взвешенных частиц. В отличие от расчетов с целью экологической безопасности для аэродинамических расчетов систем аспирации необходимо определить рациональные значения скоростей транспортирования твердых частиц определенной совокупности физических характеристик, таких как плотности, размеров, температуры, влажностного состояния. В связи с этим основным методом изучения остается физический натурный или лабораторный эксперимент.

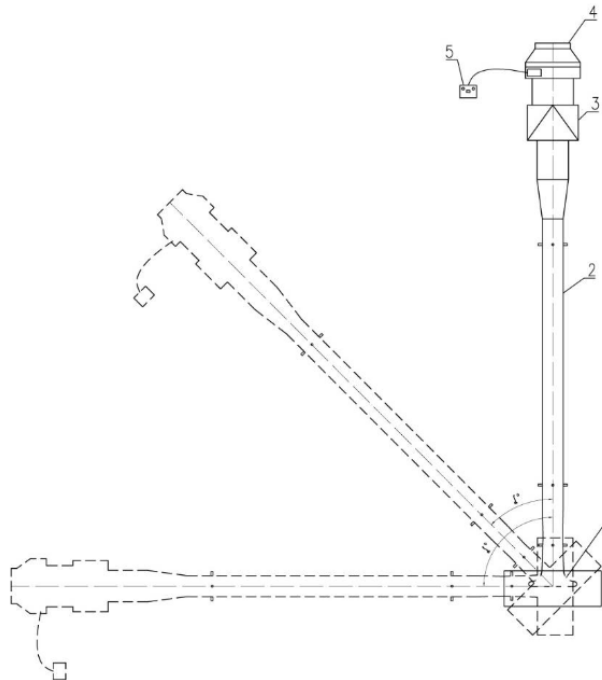
Однако, натурный эксперимент сопряжен со значительными трудностями с точки зрения его планирования, в частности, использования средств измерений. Исследования в условиях действующего производства может быть исполь-

зован для оценки эффективности удаления твердых частиц от мест их образования и очистки в пылеуловителях, совершенствования конструкции и места размещения местного отсоса (пылеприемника), конфигурации системы воздуховодов. Что касается лабораторного эксперимента, есть возможность определить необходимые аэродинамические характеристики для твердых частиц различного размера и плотности. В практике проектирования данные исследований позволят выбрать рациональные значения искомых аэродинамических характеристик, а также в дальнейшем учитывать неоднородность аэродисперсных систем при построении математических моделей пылевоздушных потоков в воздуховодах.

На рисунке 1 представлены общий вид усовершенствованной лабораторной установки кафедры теплогазоснабжения и вентиляции СПбГАСУ(а) и схема для исследований скорости транспортирования при различных положениях наклонного воздуховода (б). При планировании эксперимента в качестве факторов варьирования приняты размеры (диаметр) твердой частицы, плотность материала и массовая концентрация. В качестве функции отклика принята скорость транспортирования твердой частицы в воздуховоде при различных углах наклона.



а)



б)

Рис. 1. Лабораторная установка для исследования скорости транспортирования:

1 – коллектор входной, 2 – прозрачный воздуховод постоянного сечения, 3 – Фильтр ФЛК 160, 4 – вентилятор Rosenberg R200, 5 – лабораторный автотрансформатор

Для экспериментов данной работы применены частицы бетона диаметром 2,5; 5; 7,5; 10; 15 мм и плотностью 400, 800, 1500, 2200 и

2300 кг/м³. При экспериментальных исследованиях скорости транспортирования монодисперс-

ного материала использован наклонный воздухопровод постоянного сечения, угол наклона воздухопровода изменялся от 0 до 90° с шагом 15°. Максимальный расход воздуха 900 м³/ч, рабочее давление до 450 Па.

Статистическая обработка проведена для каждой серии опытов с твердыми частицами определенного диаметра и плотности. Проведены по три параллельных измерения для нахождения средних арифметических значений для каждого из диаметров и плотности. Выполнена проверка однородности дисперсий, опытное значение критерия Кохрена 0,42, что меньше критического значения 0,516. Опытное значение критерия Фишера 1,6, что также не превышает критическое значение.

Подобные лабораторные установки использованы и другими авторами, результаты обработки представлены регрессионными уравнениями, неудобными для включения в инженерные методики, или эмпирическими зависимостями с числовыми коэффициентами преимущественно для нахождения скорости витания твердой частицы, исходя из ее диаметра, $d_{ч}$, и плотности, $\rho_{ч}$, типа $w_{в} = f(d_{ч}, \rho_{ч})$. В отдельных случаях учтены плотность газа (воздуха), ускорение свободного падения. При этом в некоторых зависимостях указан диапазон чисел Рейнольдса.

Что касается нахождения скорости транспортирования, то в этом случае в эмпирические формулы для скорости витания введены еще ряд эмпирических коэффициентов для учета характеристик воздухопроводов (диаметра и шероховатости стенок), формы и концентрации твердых частиц. Зависимости получены для горизонтальных и вертикальных воздухопроводов. При этом, в проектной практике в основном применяют наклонные воздухопроводы. Таким образом, несомненно, актуальным является исследование скорости транспортирования в наклонных воздухопроводах. При этом, горизонтальные и вертикальные воздухопроводы рассмотрены как частные случаи.

В теории и практике теплообмена и аэродинамики широко используется теория подобия, позволяющая обобщать экспериментальные данные в удобные критериальные зависимости. В работе [4] получены скорости транспортирования для частиц диаметром 5 мм и плотностью 800 кг/м³. В результате статистической обработки данных результатов и применения теории подобия получено критериальное уравнение в виде зависимости для критерия Фруда, определенного по скорости транспортирования:

$$Fr_T = Re_B^{0,89} \cdot (1 + \sin 2\alpha)^{0,5}, \quad (1)$$

где α – угол наклона измерительной трубы по отношению к горизонтали, град; Re_B – критерий

Рейнольдса, определенный по скорости витания; Fr_T – критерий Фруда, определенный по скорости транспортирования.

Критерий Рейнольдса определен по формуле:

$$Re_B = \frac{w_B \cdot d_{ч}}{\nu}, \quad (2)$$

где w_B – скорость витания твердой частицы, м/с; $d_{ч}$ – диаметр частицы, м; ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с.

Критерий Фруда:

$$Fr_T = \frac{w_T^2}{g \cdot d_{ч}}, \quad (3)$$

где w_T – скорость транспортирования, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Используя зависимость (3), получены значения скорости транспортирования для частиц диаметром 5 мм и плотностью 800 кг/м³. Критериальная зависимость адекватно описывает результаты эксперимента только для данных условий.

Однако, после проведения серии экспериментов по определению скорости транспортирования твердых частиц, оказалось, что для настоящего исследования скорости транспортирования твердых частиц разной плотности формула (1) не является корректной. Необходимо учитывать также другие характеристики аэродисперсных систем. В данной работе предложено использовать дополнительно массовую концентрацию твердых частиц, μ . В работе принята массовая концентрация $\mu = 0,2$ кг/кг, исходя из условий проведения эксперимента. В результате предложена формула для определения критерия Фруда в следующем виде:

$$Fr_T = \frac{Re_B^{0,5} \cdot (1 + \sin 2\alpha)^{0,5}}{\mu}, \quad (4)$$

где μ – массовая концентрация, кг/кг.

Основные научные результаты. Для анализа результаты исследований представлены на рисунках 2-4. На рис. 2 приведены зависимости скорости транспортирования от плотности твердых частиц, полученные по формуле 4. Можно отметить существенное влияние на значения скорости транспортирования диаметров твердых частиц. Влияние плотности менее выражено. Эта зависимость особенно явно отражена на рис. 3 и характерна для любой плотности. Аналогичные зависимости получены для углов наклона – 0, 15, 45, 60 и 90°.

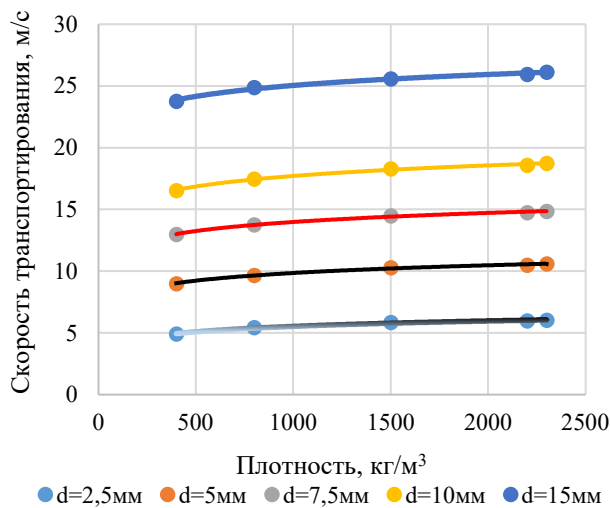
Зависимости скорости транспортирования для выбранного диапазона диаметров и плотности твердых частиц носят логарифмический характер

На рисунке 4 приведены зависимости скоро-

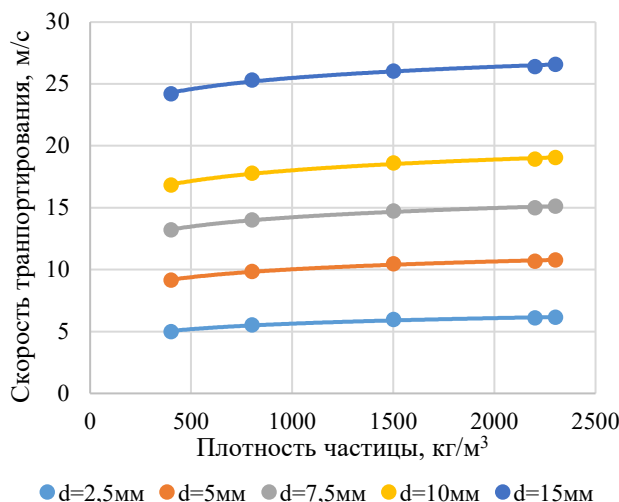
сти транспортирования от угла наклона воздуховода для частиц диаметром 2,5 и 5 мм и, соответственно, плотностью 2200 и 800 кг/м³, полученные по формуле 4 и по результатам экспериментальных измерений на лабораторной установке (рис. 1). При этом результаты для частиц диаметром 5 мм и плотностью 800 кг/м³ приняты по данным работы [4] для углов наклона 0, 15, 30, 45 и 60°.

Анализ зависимостей на рис. 4 показывает, что имеет место отклонение данных теоретического расчета по формуле 4 и экспериментальных данных. При этом на рис. 4 (а) отклонение может и положительным, и отрицательным, а выполненный прогноз экспериментальных данных для 75° и 90° показывает тенденцию на уменьшение скорости транспортирования. На рис. 4 (б)

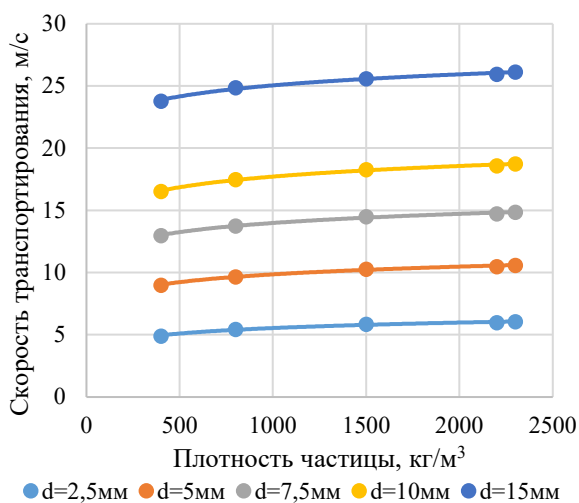
теоретические значения скорости транспортирования для любых углов наклона меньше экспериментальных, что можно объяснить особенностями проведения эксперимента. Учитывая сложности проведения эксперимента, результаты, полученные экспериментальным путем и по предлагаемой формуле 4, можно считать адекватными. Результаты экспериментов показывают, что наибольшие значения скорости транспортирования имеют место при углах наклона от 30° до 60°. При меньшей плотности (800 кг/м³) максимальные значения наблюдаются при 30-45°, а для плотности 2200 и 2300 кг/м³ максимальные значения скорости транспортирования имеют место ближе к 60°



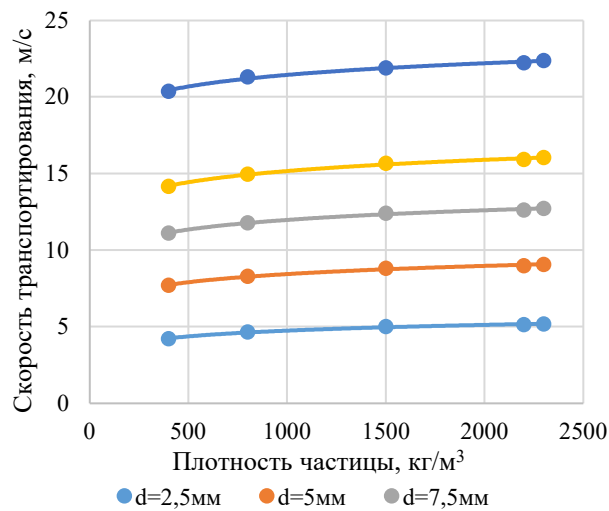
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Зависимость скорости транспортирования от плотности частиц при угле наклона 30° (а); 45°(б); 60 °(в); 90° (г)

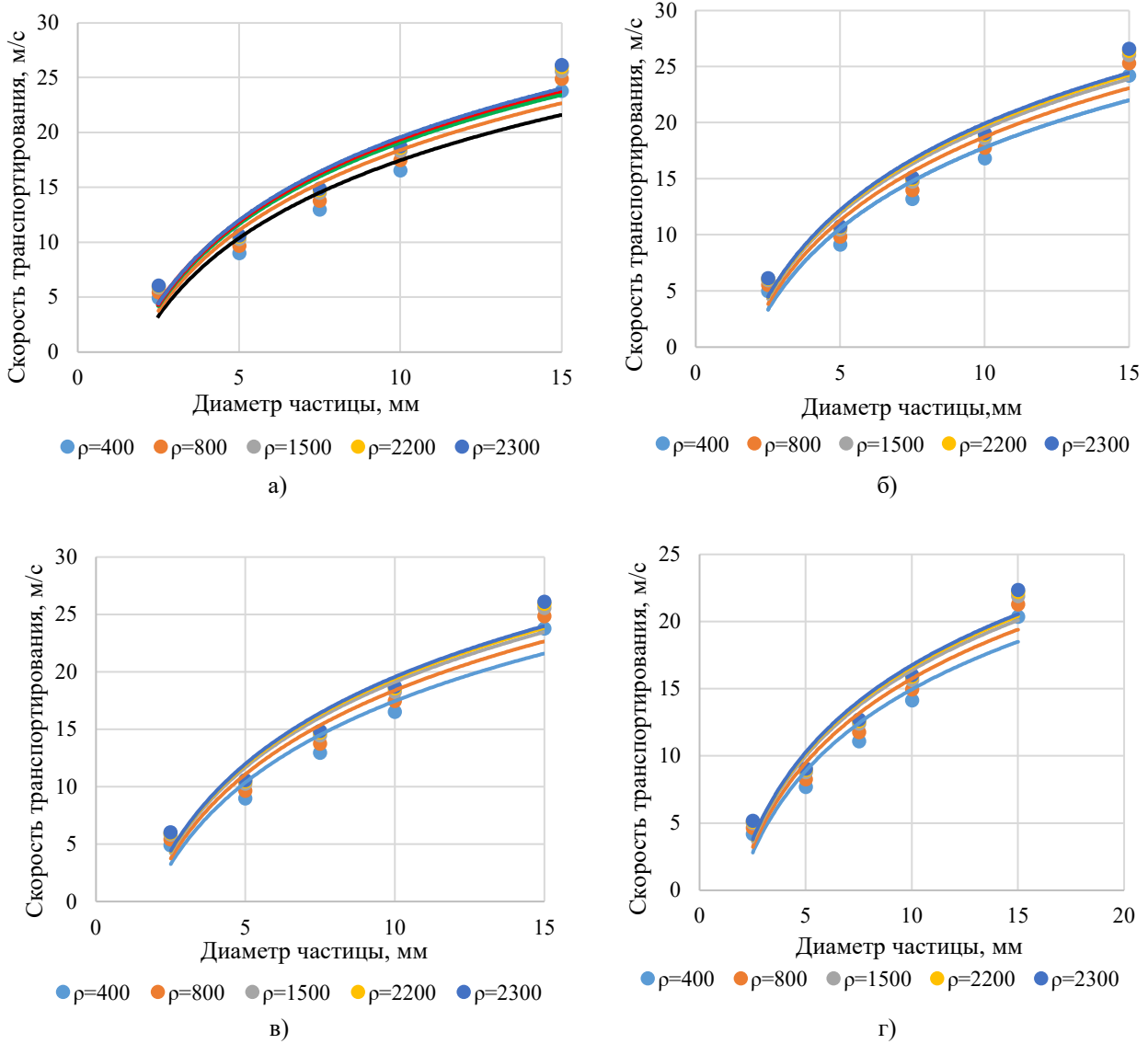


Рис. 3. Зависимость скорости транспортирования от диаметра частиц при угле наклона 30° (а); 45°(б); 60° (в); 90° (г)

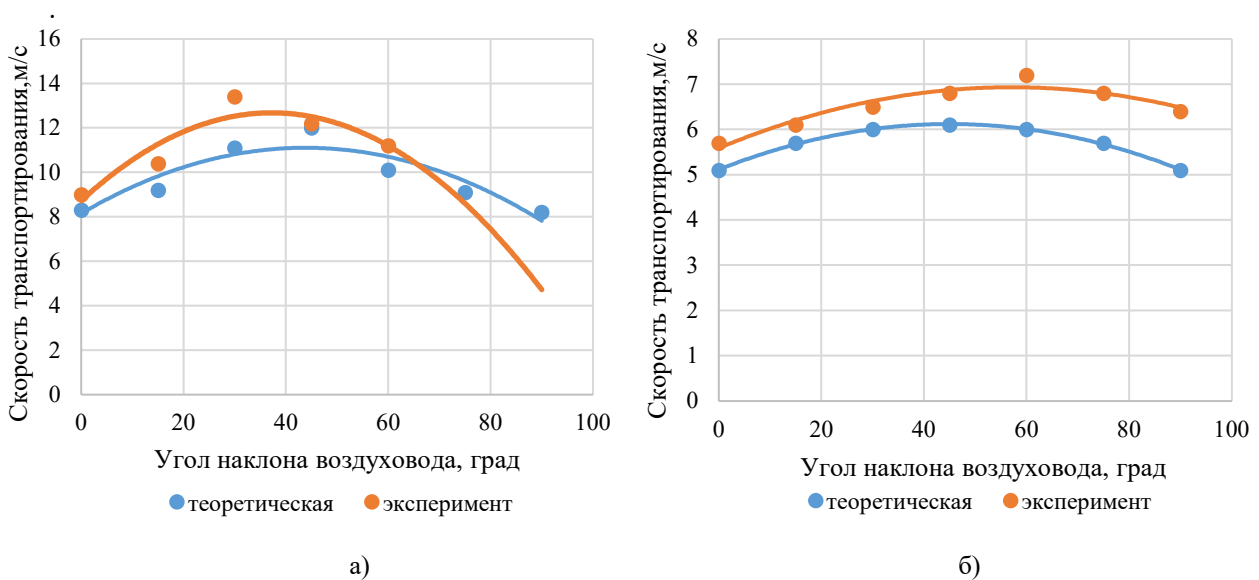


Рис. 4. Сравнение теоретических и экспериментальных данных для частиц: диаметров 5 мм и плотностью 800 кг/м³ (а); диаметром 2,5 мм и плотностью 2200 кг/м³

Выводы.

1. Подтверждено, что аэродинамический режим систем аспирации и пневмотранспорта существенно зависит от пространственного расположения воздухопроводов систем аспирации и пневмотранспорта, диаметра и плотности твердых частиц.

2. Предложена критериальная зависимость $Fr=f(Re, \mu, \sin \alpha)$ для воздухопроводов, размещенных под различными углами от 0 до 90°, для определения скорости транспортирования, позволившие обобщить результаты исследований при различных диаметрах и плотности с учетом массовой концентрации твердых частиц.

3. Полученные результаты могут стать основой для систематизации многочисленных исследований аэродинамических характеристик аспирационных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воскресенский В.Е. Системы пневмотранспорта, пылеулавливания и вентиляции на деревообрабатывающих предприятиях. Теория и практика: в 2 т. Т. 1: Аспирационные и транспортные пневмосистемы. СПб.: Политехника, 2008. 430 с.
2. Воскресенский В.Е. Системы пневмотранспорта, пылеулавливания и вентиляции на деревообрабатывающих предприятиях. Теория и практика: в 2 т. Т.2. Ч.1 Системы пылеулавливания. СПб.: Политехника, 2009. 309 с.
3. Королева Т.И., Качан О.М., Шереметьев И.В. Энергосберегающие и экологически безопасные рециркуляционные аспирационные системы деревообрабатывающих предприятий // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. 2011. № 8. С. 103–109.
4. Мартыанова А.Ю. Совершенствование методов расчета вакуумных систем обеспыливания на предприятиях по производству цемента и сухих строительных смесей. Дис. канд. техн. наук. СПб.: 2017. 192 с.
5. Евдокимов О.А., Михайлов А.С., Веретенников С.В., Серов Р.А. Экспериментальное определение скорости витания коэффициента сопротивления частиц пылевидного торфяного топлива // Химия твердого топлива. 2020. № 5. С. 51–57.
6. Шиляев М.И., Хромова Е.М., Богомолов А.Р. Моделирование гидродинамики и тепломассобмена в дисперсных средах. Сер. Научная мысль. 2022. 249 с.
7. Хоперсков А.В., Азаров В.Н., Хоперсков С.А., Коротков Е.А., Жумалиев А.Г. Формирование нестационарных режимов при моделировании аспирационных течений: неустойчивость Кельвина-Гельмгольца // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1, Математика. Физика. 2011. № 1 (14). С. 151–155.
8. Попов Е.Н. Перемещение пылевых частиц в падающем потоке полифракционного материала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 2. С. 34–38. DOI: 10.12737/article_5a816bdb66f2f4.03201657
9. Попов Е.Н. Исследование эжектирующих свойств потока полифракционного сыпучего материала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 3. С. 46–51. DOI: 10.12737/article_5abfc9b98fb328.24921610
10. Маклаков Д.В., Посохин В.Н., Сафиуллин Р.Г. О снижении потерь давления в возмущающих элементах воздухопроводных систем // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2017. № 8 (704). С. 80–87.
11. Гольцов А.Б., Логачёв К.И., Аверкова О.А. Моделирование пылевоздушных течений в аспирируемом укрытии // Новые огнеупоры. 2016. № 6. С. 61–66. DOI: 10.17073/1683-4518-2016-6-61-66
12. Гольцов А.Б., Логачёв К.И., Овсянников Ю.Г., Киреев В.М. Численное моделирование воздушных течений в загрузочном желобе аспирационного укрытия с многоступенчатым рециркуляционным воздушным затвором // Новые огнеупоры. 2020. № 12. С. 61–68. DOI: 10.17073/1683-4518-2020-12-61-68
13. Logachev I.N., Popov E.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Refining the method for determining the flow rate of air entrained by freely falling poly-disperse loose material // Powder Technology. 2020. Vol. 373. Pp. 323–335. DOI: 10.1016/j.powtec.2020.06.055
14. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Huang Ya., Wang Yi., Averkova O.A., Popov E.N., Gol'tsov A.B., Tiron O.V. Investigating changes in geometric dimensions of vortex zones at the inlet of an exhaust hood set over a plane // Building and Environment. 2022. Vol. 222. 109377. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109377
15. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Huang Y.A., Wang Y.I., Averkova O.A., Popov E.N., Kozlov T.A. Developing a mathematical simulation method for three-dimensional separated airflow at inlet of local exhaust devices // Journal of building engineering. 2023. Vol. 63. 105490. DOI: 10.1016/j.jobee.2022.105490
16. Ziganshin A.M., Logachev K.I., Kareeva J.U. Vortex zones in an exhaust hood in front of an impermeable plane // Magazine of Civil Engineering. 2023. № 7(123). 12307. DOI: 10.34910/MCE.123.7
17. Уляшева В.М., Мартыанова А.Ю., Толстик А.В. Численное исследование процесса теп-

ломассообмена при смешивании потоков в аспирационной системе // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 6 (71). С. 257–261. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-6-257-261

18. Akhmedova M.A., Kholboyev U. Improving the efficiency of trapping moving dust flow in aspiration networks and dry dust catcher equipment // Texas Journal of engineering and technology. 2022. Vol. 15. Pp. 194–199.

19. Zholmagambetov N.R., Balgabekov T.K., Aidarbek A.O., Zholmagambetov S.R., Kaliyaskarova A.Zh., Narodhan D. Research on the procedure

of dust particles increase in the airtube of industrial aspiration system <https://bulletinofscience.kazatu.edu.kz/index.php/bulletinofscience/article/view/385/352> (дата обращения: 28.05.2024).

20. Zhuang Wu, Chang Su, Hua Xu, Liu Wang. Numerical simulation of dust removal in the cyclone collector of a straw crusher based on a discrete phase model <https://www.techscience.com/fdmp/v19n5/50629/html> (дата обращения: 28.05.2024).

Информация об авторах

Уляшева Вера Михайловна, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: ulyashevavm@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Мартьянова Анна Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: marta@spbgasu.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Аншукowa Екатерина Аркадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: anshukovaekaterina@gmail.com. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Поступила 12.06.2024 г.

© Уляшева В.М., Мартьянова А.Ю., Аншукowa Е.А., 2024

**Ulyasheva V.M., Martianova A.Yu., Anshukova E.A.
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
E-mail: ulyashevavm@mail.ru

TO CALCULATE THE SPEED OF TRANSPORTATION OF SOLID PARTICLES

Abstract. *The aerodynamic mode of aspiration and pneumatic transport systems depends on various factors, primarily on the physical characteristics of the transported solid particles, as well as on the characteristics of technological processes with the release of solid particles of various origins and the design of the systems under consideration. When designing aspiration and pneumatic transport systems for various industries, a set of tasks related to ensuring maximum permissible dust concentrations in industrial premises and in atmospheric air, resource conservation and energy efficiency is usually solved. Enterprises producing building materials are characterized by significant dust emissions. At the same time, solid particles are formed in the processes of crushing, grinding, sorting, and moving raw materials and building materials, which generally have a wide range of sizes – from 0.01 microns to 20mm or more. This creates significant difficulties in the design of hazard receivers, air ducts, and air purification devices. In the practice of design, calculations of aspiration and pneumatic transport systems are carried out according to engineering methods based mainly on the data of experimental studies of 1970-1990, in connection with which there is a significant difference in the results. Almost all engineering methods are based on experimental values of the floating velocity of solid particles. The values of the floating velocity of solid particles identical in physical characteristics differ by more than 30%. As for one of the most important aerodynamic characteristics, the transport velocity, new data for various types of particulate matter are needed to improve the methods of engineering calculations. Given the presence of particulate matter of various sizes in the aerodispersed flows of the systems under consideration, the use of numerical modeling is quite limited. There are results of numerical experiments, mainly for air purification equipment, in particular, cyclones. The paper presents experimental data for determining the transport velocity for solid particles typical for enterprises of the construction industry.*

Keywords: *aspiration, aerodisperse system, solid particle, floating velocity, transport velocity.*

REFERENCES

1. Voskresensky V.E. Systems of pneumatic transport, dust collection and ventilation at wood-working enterprises. Theory and practice [Sistemy pnevmotransporta, pyleulavlivaniia i ventilatsii na derevoobratyvaiushchikh predpriatiiakh. Teoriia i praktika. Aspiratsionnye i transportnye pnevmosistemy]. In 2 Vols. Vol. 1: Aspiration and transport pneumatic systems. St. Petersburg: Polytechnic, 2008. 430 p. (rus)
2. Voskresensky V.E. Systems of pneumatic transport, dust collection and ventilation at wood-working enterprises. Theory and practice: Dust collection systems [Sistemy pnevmotransporta, pyleulavlivaniia i ventilatsii na derevoobratyvaiushchikh predpriatiiakh. Teoriia i praktika: Sistemy pyleulavlivaniia]. In 2 Vols. Part 1. Vol.2. St. Petersburg: Polytechnic, 2009. 309 p. (rus)
3. Koroleva T.I., Kachan O.M., Sheremetyev I.V. Energy-saving and environmentally safe reciprocating aspiration systems of woodworking enterprises [Energosberegaiushchie i ekologicheski bezopasnye retsirkulatsionnye aspiratsionnye sistemy derevoobratyvaiushchikh predpriatii]. Bulletin of the Polotsk State University. Series F. 2011. No. 8. Pp. 103–109. (rus)
4. Martianova A.Yu. Improvement of calculation methods for vacuum dedusting systems at enterprises producing cement and dry building mixes [Sovershenstvovanie metodov rascheta vakuumnykh sistem obespylivaniia na predpriatiiakh po proizvodstvu tsementa i sukhikh stroitel'nykh smesei]. Candidate's thesis. St. Petersburg.: 2017. 192p. (rus)
5. Evdokimov O.A., Mikhailov A.S., Veretenikov S.V., Serov R.A. Experimental determination of the soaring velocity of the particle resistance coefficient pulverized peat fuel [Eksperimental'noe opredelenie skorosti vitaniia koeffitsienta soprotivleniia chastits pylevidnogo torfianogo topliva]. Chemistry of solid fuels. 2020. No. 5. Pp. 51–57. (rus)
6. Shilyaev M.I., Khromova E.M., Bogomolov A.R. Modeling of hydrodynamics and heat and mass transfer in dispersed media [Modelirovanie gidrodinamiki i teplomassobmena v dispersnykh sredakh]. [Seriia Nauchnaia mysl']. 2022. 249 p. (rus)
7. Khoperskov S.A., Azarov V.N., Khoperskov S.A., Korotkov E.A., Zhumaliev A.G. Formation of transient regimes in the simulation of aspiration flows: Kelvin-Helmholtz instability [Formirovanie nestatsionarnykh rezhimov pri modelirovanii aspiratsionnykh techenii: neustoichivost' Kel'vina-Gel'mgol'tsa] Vestn. Volgogr. State University. Ser. 1, Mat. Phys. 2011. No. 1 (14). Pp. 151–155. (rus)
8. Popov E.N. Movement of dust particles in an incident flow of a polyfractive material [Peremeshchenie pylevykh chastits v padaiushchem potoke polifraktsionnogo materiala]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 2. Pp. 34–38. DOI: 10.12737/article_5a816bdb66f2f4.03201657 (rus)
9. Popov E.N. Ejection research: their properties of the flow of a polyfractive bulk material [Issledovanie ezhektiruiushchikh svoistv potoka polifraktsionnogo sypuchego materiala]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 3. Pp. 46–51. DOI: 10.12737/article_5abfc9b98fb328.24921610 (rus)
10. Maklakov D.V., Posokhin V.N., Safiullin R.G. On reducing pressure losses in disturbing elements of air duct systems [O snizhenii poter' davleniia v vozmushchaiushchikh elementakh vozdukhovodnykh sistem] News of higher educational institutions. Construction. 2017. No. 8 (704). Pp. 80–87. (rus)
11. Gol'tsov A.B., Logachev K.I., Averkova O.A. The dust-and-air flows simulation in the ventilated hood [Modelirovanie pylevozdushnykh techenii v aspiriruemom ukrytii]. Novye Ogneupory (New Refractories). 2016. No. 6. Pp. 61–66. DOI: 10.17073/1683-4518-2016-6-61-66
12. Gol'tsov A.B., Logachev K.I., Ovsyannikov Y.G., Kireev V.M. Numerical simulation of air flows in the loading chute of an aspiration shelter with a multistage recirculating air seal [CHislennoe modelirovanie vozdushnykh techenii v zagruzochnom zhelobe aspiratsionnogo ukrytiia s mnogostupenchatym retsirkulatsionnym vozdushnym zatvorom] Novye Ogneupory (New Refractories). 2020. No. 12. Pp. 61–68. DOI: 10.17073/1683-4518-2020-12-61-68
13. Logachev I.N., Popov E.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Refining the method for determining the flow rate of air entrained by freely falling poly-disperse loose material. Powder Technology. 2020. Vol. 373. Pp. 323–335. DOI: 10.1016/j.powtec.2020.06.055
14. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Huang Ya., Wang Yi., Averkova O.A., Popov E.N., Gol'tsov A.B., Tiron O.V. Investigating changes in geometric dimensions of vortex zones at the inlet of an exhaust hood set over a plane. Building and Environment. 2022. Vol. 222. 109377. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109377
15. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Huang Y.A., Wang Y.I., Averkova O.A., Popov E.N., Kozlov T.A. Developing a mathematical simulation method for three-dimensional separated airflow at inlet of local exhaust devices. Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 63. 105490. DOI: 10.1016/j.job.2022.105490

16. Ziganshin A.M., Logachev K.I., Kareeva J.U. Vortex zones in an exhaust hood in front of an impermeable plane. Magazine of Civil Engineering. 2023. No. 7(123). 12307. DOI: 10.34910/MCE.123.7

17. Ulyasheva V.M., Martianova A.Yu., Tolstik A.V. Numerical study of the heat and mass transfer process during mixing of flows in an aspiration system [CHislennoe issledovanie protsessa teplomassoobmena pri smeshivanii potokov v aspiratsionnoi sisteme]. Bulletin of Civil Engineers. 2019. No. 6 (71). Pp. 257–261. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-6-257-261 (rus)

18. Akhmedova M.A., Kholboyev U. Improving the efficiency of trapping moving dust flow in aspiration networks and dry dust catcher equipment.

Texas Journal of engineering and technology. Vol. 15. 2022. Pp. 194–199.

19. Zholmagambetov N.R., Balgabekov T.K., Aidarbek A.O., Zholmagambetov S.R., Kaliyaskarova A.Zh., Narodhan D. Research on the procedure of dust particles increase in the airtube of industrial aspiration system. <https://bulletinofscience.kazatu.edu.kz/index.php/bulletinofscience/article/view/385/352> (date of treatment: 28.05.2024).

20. Zhuang Wu, Chang Su, Hua Xu, Liu Wang. Numerical simulation of dust removal in the cyclone collector of a straw crusher based on a discrete phase model.

<https://www.techscience.com/fdmp/v19n5/50629/html> (date of treatment: 28.05.2024).

Information about the authors

Ulyasheva, Vera M. DSc, Professor. E-mail: ulyashevavm@mail.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, Saint Petersburg, 2-ya Krasnoarmeiskaya st., 4.

Martianova, Anna Ya. PgD. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, Saint Petersburg, 2-ya Krasnoarmeiskaya st., 4.

Anshukova, Ekaterina A. PhD, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, Saint Petersburg, 2-ya Krasnoarmeiskaya st., 4.

Received 12.06.2024

Для цитирования:

Уляшева В.М., Мартьянова А.Ю., Аншукова Е.А. К расчету скорости транспортирования твердых частиц // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 10. С. 53–62. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-10-53-62

For citation:

Ulyasheva V.M., Martianova A.Yu., Anshukova E.A. To calculate the speed of transportation of solid particles. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 10. Pp. 53–62. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-10-53-62