

УДК 621.86.08

А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева,  
С. Ф. Лорай

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДОЗАТОРА В СИСТЕМЕ ПНЕВМОТРАНСПОРТА МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Ключевые слова:* дозатор, пневмотранспорт, транспортирование, мелкодисперсные частицы.

*В статье ставится задача оптимизировать разработанный дозатор для транспортировки мелкодисперсного материала из подвозимой ёмкости в воздуховод, обеспечивая высокую степень защиты окружающего воздуха от попадания в него пыли. Представлена конструкция дозатора. Наличие нескольких выходных линий дозатора позволяет устройству равномерно опускаться на поверхность присадки, что обеспечивает размеренное выдувание частиц. Исследованы разные варианты исполнения выходного диаметра и угла наклона конуса крышки.*

*Keywords:* measuring hopper, air lift, transportation, finely divided particles.

*In article the task to optimize the developed measuring hopper for transportation of finely divided material from the brought box in an air duct is set, providing high degree of protection of air against hit of dust in it. Construction of the dispenser is provided. Existence of several output lines of the measuring hopper allows the device to fall uniformly by the surface of additive that provides measured blowing of particles. Different options of execution of output diameter and slope angle of a cone of cover are probed.*

Системы и устройства пневматического транспорта мелкодисперсных материалов нашли широкое применение в угольной, химической отраслях промышленности, энергетике, сельском хозяйстве, строительстве и пр., где они являются неотъемлемой частью многих технологических процессов [1–3]. Сыпучие, штучные и волокнистые материалы в системах пневмотранспорта перемещаются под действием воздуха. Преимуществами пневматического перед другими видами механического транспорта являются: возможность применения при различных условиях, простота, легкость и дешевизна обслуживания и ремонта, отсутствие движущихся частей и сложных механизмов, обеспыливание перемещаемых материалов [4].

Особый интерес представляет использование пневмотранспорта в энергетическом комплексе, а именно для осуществления операций по транспортированию присадки в камеру сгорания на ТЭС. В настоящее время хорошо себя зарекомендовала присадка к мазуту в виде обезвоженного карбонатного шлама водоподготовки, позволяющая связывать серу, содержащуюся в топливе в процессе его сгорания, тем самым уменьшая низкотемпературную (сернистую) коррозию поверхностей нагрева и выбросы оксидов серы в атмосферу [5].

Целью настоящей работы является исследование процесса транспортирования частиц присадки в виде обезвоженного карбонатного шлама из емкости в воздуховод с помощью разработанного дозирующего устройства (рис. 1). Поскольку, в процессе поступления карбонатного шлама в воздуховод через всасывающую воронку происходит слипание частиц присадки и образование пробки, способствующей прекращению химических реакций в камере сгорания, направленных на снижение выбросов в воздушный бассейн, предлагается равномерное

транспортирование полидисперсного порошка через линию подачи материала, подключенную к воздуховоду и к разработанному дозатору.

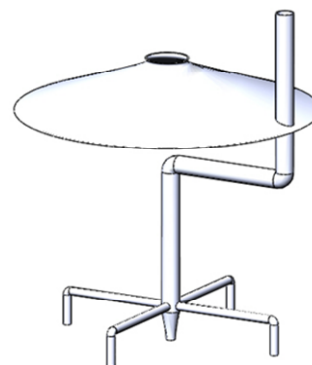


Рис. 1 – Модель дозирующего устройства

Дозирующее устройство представляет собой крышку, имеющую два отверстия: входное отверстие диаметром  $d_1 = 40$  мм, соединяющее линию подачи воздуха и распределительное устройство с 5 выходными каналами диаметром 18 мм каждый, через которые проходит нагнетаемый компрессором воздух, и выходное отверстие диаметром  $d_2 = 70$  мм. Крышка одевается на емкость с присадкой.

Распределительное устройство, равномерно опускающееся на уровень поверхности присадки, по мере выдувания частиц из емкости, выполнено с осесимметричным расположением выходных каналов, позволяющее гасить витание частиц, вызванное центростремительной силой из-за цилиндрической формы емкости, в которой находится присадка, и направлять частицы к выходному отверстию. Однако в ходе работы устройства многие фракции частиц не выдуваются из емкости из-за обратных течений. В связи с попаданием траекторий движения частиц в области крышки, удаленных от выходного отверстия,

образуются обратные токи (рис. 2). Оптимизация конструктивных параметров дозатора заключалась в следующем – угол наклона конуса крышки и диаметр выходного отверстия могут способствовать уменьшению возникновения обратных течений в емкости, что требует более тщательного исследования процесса выдувания частиц.

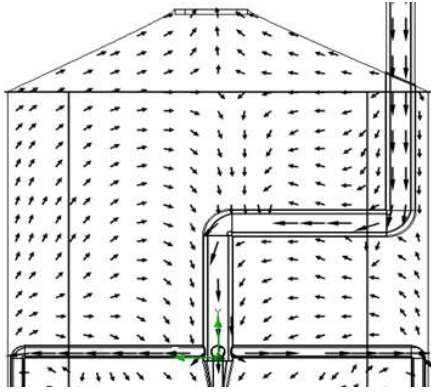


Рис. 2 – Вектора скорости движения воздуха в емкости с присадкой

Для исследования была построена модель емкости с разработанным устройством (рис. 2). Для получения закономерностей предлагается изменять выходной диаметр  $d_2$ , угол наклона конуса  $\varphi$  и начальную скорость воздуха  $W$  на входном отверстии. Также задавались некоторые постоянные параметры, а именно: на выходе из установки атмосферное давление  $10^5$  Па; массовый расход частиц 50 г/с (0,05 кг/с); начальная скорость частиц 0 м/с; температура воздуха 293,15 К (20°C). Физико-химические показатели шлама водоподготовки: диаметр частиц  $d_p = 100$  мкм, плотность частиц  $\rho_p = 4000$  кг/м<sup>3</sup>. В ходе исследований основными допущениями являлись: концентрация твердого компонента исключает взаимодействие между частицами, влияние частиц на движение несущей среды не учитывается [6]. Для визуализации результатов исследования на графиках представлено изменение отношения массовой концентрации аэромеси к исследуемому конструктивному параметру: диаметр выходного отверстия, угол наклона конуса (рис. 3–4).

Под массовой концентрацией подразумевают отношение массового расхода материала к массовому расходу воздуха, поступающих в установку в единицу времени  $\mu = G_M/G_B$  (кг/кг) [7].

Результаты показали, что корректно подобранные диаметр выходного отверстия и угол наклона конуса крышки могут существенно повысить эффективность дозатора. На рис. 3 представлена зависимость массовой концентрации от выходного диаметра при различных входных скоростях. При диаметре  $d_2 = 104$  мм достигается наибольшая массовая концентрация аэромеси на выходе из установки при скорости газового потока  $W > 22,5$  м/с. Увеличение диаметра выходного отверстия более 104 мм снижает эффективность пневмотранспорта, это можно объяснить более интенсивными обратными течениями воздуха. При

скорости потока более 30 м/с эффективность пневмотранспорта уменьшается.

Если увеличение выходного диаметра  $d_2$  является конструктивно не возможным до оптимального значения 104 мм, то рекомендовано создание более высоких скоростей газового потока. Так при скорости  $W = 27,5$  м/с эффективность пневмотранспорта на 92% выше, чем при скорости  $W = 22,5$  м/с при диаметре  $d_2 = 50$  мм.

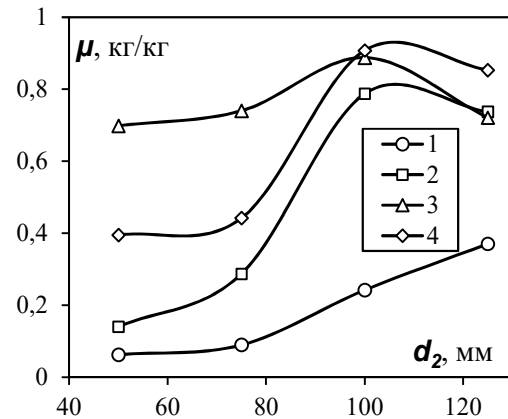


Рис. 3 – Зависимость массовой концентрации  $\mu$  от выходного диаметра  $d_2$  при различных входных скоростях  $W$ , м/с: 1 – 22,5, 2 – 25, 3 – 27,5, 4 – 30

Как было замечено ранее, обратные течения снижают эффективность транспортирования присадки из емкости (рис. 2). Для уменьшения образования зон с обратными токами было произведено исследование влияние угла наклона конуса образующей крышки  $\varphi$  на массовую концентрацию  $\mu$  аэромеси, транспортируемой из ёмкости в единицу времени (рис. 4).

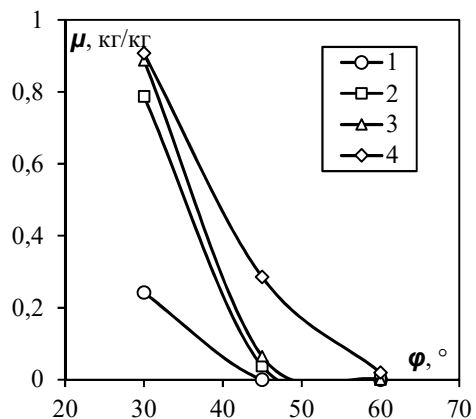


Рис. 4 – Зависимость массовой концентрации  $\mu$  от угла наклона конуса  $\varphi$  при различных входных скоростях  $W$ , м/с: 1 – 22,5, 2 – 25, 3 – 27,5, 4 – 30

Изготовление дозатора с углом наклона конуса крышки  $\varphi = 30^\circ$  является наиболее эффективным решением. Увеличение угла наклона конуса  $\varphi$  влечет за собой уменьшение массовой концентрации  $\mu$ . Это объясняется следующим: 1) при увеличении угла наклона конуса  $\varphi$  необходимо

увеличивать выходной диаметр  $d_2$ , рост которого, в свою очередь, уменьшает массовую концентрацию, если не использовать более высокую скорость газового потока  $W$ ; 2) если диаметр выходного отверстия  $d_2$  не изменять, то для увеличения угла наклона конуса  $\varphi$  необходимо увеличивать высоту конуса, что также подразумевает повышение скорости газового потока  $W$ . Угол наклона конуса  $\varphi < 30^\circ$  приближает конусообразную форму крышки к плоской, что ведет к появлению обратных течений внутри ёмкости и снижению эффективности работы устройства пневмотранспорта.

Таким образом, исследования показали, что оптимальными конструкционными параметрами при создании дозатора для транспортирования присадки являются выходной диаметр  $d_2 = 104$  мм, угол наклона конуса крышки  $\varphi = 30^\circ$ . Использование компрессора для нагнетания воздуха в пределах 24–28 м/с является наиболее рациональным решением.

Созданный дозатор является перспективным элементом системы пневмотранспорта за счёт своей компактности и простоты, лёгок в ремонте, так как не содержит сложных механизмов, обеспечивает

равномерную загрузку мелкодисперсных материалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-5215.2016.8.

### Литература

1. М.Н. Чальцев, С.В. Войцеховский, *Вестник автомобильно-дорожного института*, 1 (2), 54-58 (2006).
2. О.А. Дементенко, А.О. Панков, Н.Х. Зиннатуллин, *Вестник Казанского технологического университета*, 17, 5, 179-182 (2014).
3. Е.С. Земерев, В.И. Малинин, *Вестник технологического университета*, 20, 1, 57-61 (2017).
4. И.И. Суханова, А.Ю. Мартыанова, *Вестник гражданских инженеров*, 3, 55-58 (2009).
5. Э.Р. Зверева, А.В. Дмитриев, М.Ф. Шагеев, Г.Р. Ахметвалиева, *Теплоэнергетика*, 8, 50-56 (2017).
6. А.А. Кузнецова, *Современные проблемы науки и образования*, 3, 164 (2012).
7. А.Я. Малис, М.Г. Касторных. *Пневматический транспорт для сыпучих материалов*. Агропромиздат, Москва, 1985. 344 с.

© **А. В. Дмитриев** – зав. кафедрой ТОТ ФГБОУ ВО «КГЭУ», [ieremiada@gmail.com](mailto:ieremiada@gmail.com), **В. Э. Зинуров** – магистрант ФГБОУ ВО «КГЭУ», [vadd\\_93@mail.ru](mailto:vadd_93@mail.ru), **О. С. Дмитриева** – доцент кафедры ПАХТ НХТИ (филиала) ФГБОУ ВО «КНИТУ», [ja\\_deva@mail.ru](mailto:ja_deva@mail.ru), **С. Ф. Лорай** – начальник военного представительства.

© **A. V. Dmitriev** – the head of «Theoretical Bases of Heat Engineering» chair, KSPEU, [ieremiada@gmail.com](mailto:ieremiada@gmail.com), **V. E. Zinurov** – graduate student, KSPEU, [vadd\\_93@mail.ru](mailto:vadd_93@mail.ru), **O. S. Dmitrieva** – assistant professor of PACHT, NCHTI KNRTU, [ja\\_deva@mail.ru](mailto:ja_deva@mail.ru), **S. F. Loraj** – chief military representative.