

А.А. Селиверстов, И.Е. Тимофеев

Березниковский филиал
Пермского национального исследовательского
политехнического университета, Березники, Россия

С.Х. Загидуллин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ СУШКИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПНЕВМАТИЧЕСКИМ СУШИЛКАМ

Проблема налипания высушиваемых материалов на внутренние стенки сушильных аппаратов в химической промышленности встречается достаточно часто. Борьба с этим крайне нежелательным явлением, особенно в многотоннажных производствах, является весьма актуальной задачей. Статья посвящена изучению причин налипания хлорида калия в процессе конвективной сушки. Эта проблема возникает во всех типах сушильных аппаратов, но особенно остро она проявляется в пневматических трубах-сушилках.

В статье проанализированы главные причины налипания хлорида калия на рабочие поверхности труб-сушилок. Оно вызвано как характером движения частиц высушиваемого материала в пневмотрубе, так и температурным режимом работы аппарата. Эти выводы основаны на результатах проведенных авторами промышленных обследований действующих труб-сушилок для хлорида калия в ОАО «Уралкалий».

Авторами предложена оригинальная конструкция пневматической сушилки, в которой реализуется принципиально новый подход к решению проблемы налипания. Суть его состоит в такой организации движения потоков в аппарате, которая полностью исключает возможность контакта влажных частиц с внутренними стенками на начальном участке сушильного аппарата. В статье описывается принцип работы новой сушилки, выполнено теоретическое обоснование конструктивных особенностей ее основных узлов. Кроме того, обоснована возможность использования данного аппарата в качестве высокоэффективного нагревателя дисперсных материалов.

Ключевые слова: *пневматическая сушилка, налипание, хлорид калия, характер движения частиц, температурный режим.*

A.A. Seliverstov, I.E. Timofeev

Berezniki Branch of the Perm National
Research Polytechnic University, Berezniki, Russian Federation

S.H. Zagidullin

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

PERFECTION OF DRYING TECHNIQUE WITH REGARD TO PNEUMATIC CONVEYING DRIERS

The problem of sticking of materials to be dried on inner surfaces of drying apparatuses is widespread in chemical industry. A struggle against this undesirable effect is a matter of topical interest especially in large-capacity industrial enterprises. The article is devoted to the examination of reasons of potassium chloride's sticking during the process of convective drying. This trouble is inherent in all types of drying apparatuses, but it is one of the main operating problems for pneumatic conveying driers.

Principal causes of a potassium chloride's sticking on inner surfaces of pneumatic conveying driers were analysed in the article. The sticking is induced both the character of the particulate matter's motion in the tube dryer and the temperature mode of operation of the dryer. These conclusions are based on findings of the industrial surveying of operating tube driers for potassium chloride. The surveying has been carried out by the authors at the plant of Uralkali.

The original construction of the pneumatic conveying drier was presented by the authors to find a new approach to the problem of material sticking. The matter of this approach consists in such an arrangement of flows which eliminates the possibility of engagement of wet particulate matter and inner surfaces of the pneumatic conveying dryer on its initial section. The principle of operation of the new pneumatic conveying drier is described in the article in conjunction with a theoretical justification of the main units' design features. The possibility of application of the new pneumatic conveying drier as a high-performance heater for particulate matter is also grounded in the article.

Keywords: *pneumatic conveying drier, sticking, potassium chloride, particulate matter's motion, temperature mode.*

Пневматические трубы-сушилки (ТС) начали применяться в производстве калийных удобрений с 60-х гг. прошлого века. К их достоинствам относятся простота конструкции и обслуживания, низкая

металлоемкость, работа аппарата под разрежением и низкая разность температур между высушенным продуктом и отработанным теплоносителем. Одним из недостатков, препятствующих более широкому внедрению ТС на калийных предприятиях, является интенсивное налипание материала, особенно в зоне его загрузки [1].

Налипание начинается несколько выше места подачи материала, в результате через определенное время уменьшается проходное сечение трубы. По этой причине аппарат приходится регулярно останавливать для механической очистки от налипших отложений.

Одним из вариантов уменьшения налипания может быть локальное повышение скорости газа на участке подачи материала. Например, в авторском свидетельстве 488049¹ предложено у основания питателя установить диафрагму, а забрасыватель материала снабдить переходником, направленным вверх под углом к оси трубы 30–45°. Это, по мнению авторов, обеспечивает направленное движение забрасываемого материала, исключая его налипание на противоположную стенку трубы. О применении такого приема при сушке КСІ сведений нет. Однако забрасыватели, используемые в ТС для сушки КСІ, настраиваются аналогичным образом, то есть так, чтобы предотвратить прямое попадание частиц на противоположную стенку трубы. Тем не менее это не устраняет проблему налипания. Объясняется это специфическим характером движения высушиваемого материала в ТС.

Визуальные наблюдения за движением частиц КСІ показывают, что после подачи материала внутрь пневмотрубы он концентрируется преимущественно в центре и движется вверх в виде своеобразного «жгута». Вероятно, это связано с большим разрежением в центральной области трубы. По мере испарения влаги при сушке разрежение внутри «жгута» понижается за счет резкого увеличения объема паровой фазы на ограниченном по высоте участке пневмотрубы, и происходит разрыв «жгута». В результате материал разбрасывается в периферическую область трубы и налипает на ее стенки. На вышерасположенном участке пневмотрубы наблюдается уже относительно равномерное распределение частиц по поперечному сечению [2].

Другим важным фактором, влияющим на интенсивность налипания, является температура стенок пневмотрубы. В работе [3] показано, что минимальное налипание КСІ наблюдаются при температуре по-

¹ А. с. 488049 СССР, М. кл. F26B 17/10. Пневмотруба для сушки комкующихся дисперсных материалов / В.П. Николаенко [и др.]. № 1998420/24-6; заявл. 21.02.74; опубл. 15.10.76. Бюл. № 38.

верхности до 50 °С. При нагреве до 80 °С склонность к налипанию резко возрастает, при дальнейшем нагреве она монотонно снижается и при температуре 200 °С практически полностью устраняется. Эти выводы косвенно подтверждаются проведенными нами измерениями температуры наружной поверхности ТС с диаметром трубы 1,1 м на Третьем Березниковском калийном производственном рудоуправлении ОАО «Уралкалий» [2]. На высоте чуть более 1 м от места подачи материала температура стенок ТС снижается до 200 °С, и вышерасположенный участок пневмотрубы подвержен интенсивному налипанию. По этой причине именно данный участок высотой 2,5 м от места подачи материала укрепляют стальными листами, так как он подлежит периодической механической очистке обстучиванием. Налипание на высоте более 3 м уже практически не наблюдается, так как до этого участка испаряется большая часть влаги [4].

Возможности известных методов совершенствования отдельных узлов ТС уже практически исчерпаны. По нашему мнению, кардинальное решение проблемы налипания возможно при такой организации движения потоков, при которой полностью исключается контакт влажных частиц со стенками сушильного аппарата. Данный принцип наиболее полно реализуется в разработанной нами принципиально новой конструкции пневматической сушилки², схематично изображенной на рисунке.

В ней пневмотруба выполнена секционной. Нижняя секция 1 присоединена к дутьевому вентилятору 5 и питателю влажного материала 8. Средняя секция 2 выполнена в виде двух концентрических обечаек, внутренняя из которых снабжена отверстиями, а наружная является сплошной.

В пространстве между этими обечайками размещен спиральный канал переменного сечения, в который через тангенциально расположенный патрубок подается теплоноситель из топки 6. Для повышения равномерности распределения теплоносителя по сечению пневмотрубы и упрощения конструкции наружная обечайка средней секции может быть выполнена в виде улиткообразного коллектора.

Аппарат работает следующим образом. Влажный материал с помощью питателя 8 вводится в поток атмосферного воздуха, смешивается с ним, образуя в нижней секции восходящий поток газозвеси. Эта

² Патент РФ № 2011131360/06, 26.07.2011. Пневматическая сушилка / А.А. Селиверстов, И.Е. Тимофеев, Е.А. Шестаков, С.А. Шестаков // Патент России. № 2476792. 2013. Бюл. № 6.

газовзвесь поступает в среднюю секцию, куда через отверстия во внутренней обечайке вводится горячий теплоноситель. Сушка происходит в режиме струйного взаимодействия теплоносителя с материалом, а также в режиме пневмотранспорта материала через верхнюю секцию 3 в сепарационную камеру 7, где происходит разделение потоков.

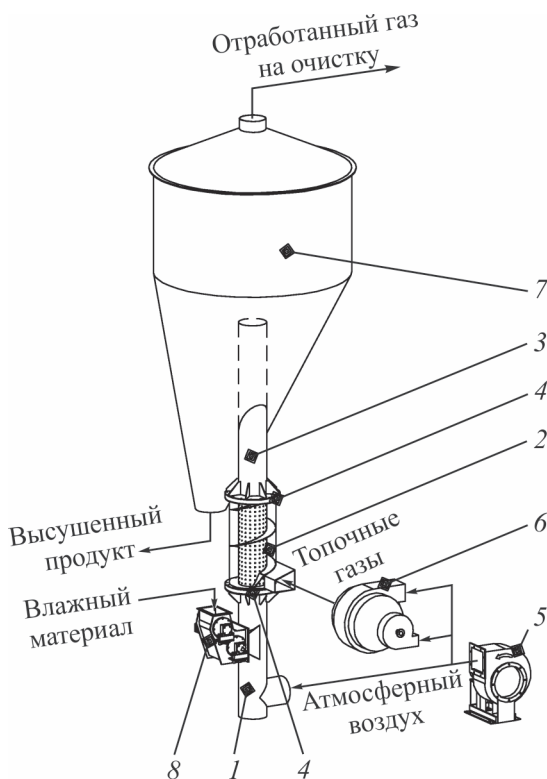


Рис. Пневматическая сушилка: 1 – нижняя секция; 2 – средняя секция; 3 – верхняя секция; 4 – теплоизоляционная вставка; 5 – вентилятор; 6 – топка; 7 – разгрузочное устройство; 8 – питатель

Использование струйного ввода теплоносителя позволяет отделить поток газовзвеси от стенок и предотвратить налипание частиц на внутренней поверхности средней секции. Высокая температура стенок средней секции (более 200 °С) служит дополнительным фактором, предотвращающим налипание. Для этой же цели нижняя секция может быть выполнена с меньшим диаметром, чем средняя. Это позволяет гарантированно отделить поток газовзвеси от стенок, сократить расход воздуха в нижней секции, а также увеличить скорость потока в ней и тем самым снизить вероятность выпадения крупных частиц из потока.

Секции разделены друг от друга вставками из теплоизоляционного материала 4, что позволяет предотвратить распространение тепла из более нагретой средней секции 2 в нижнюю 1. Благодаря этому исключается нагрев стенок нижней секции. Чтобы минимизировать возможность налипания материала в нижней секции, ее внутренняя поверхность может быть покрыта материалом, не подверженным налипанию, например фторопластом, а высота секции должна приниматься наименьшей, т.е. лишь с учетом необходимости размещения конструкции питателя.

Режим смешения потоков должен обеспечивать наименьшее гидравлическое сопротивление аппарата. Как показали предварительные опыты, проведенные в плоском канале в условиях поперечного двухстороннего многоструйного ввода газа, наиболее выгодным с точки зрения минимизации гидравлического сопротивления является отношение площадей поперечного сечения нижней и верхней секций меньше 0,5 или близкое к 1. Однако в конечном итоге соотношение площадей поперечных сечений принимается в зависимости от соотношения расходов смешиваемых газовых потоков.

При таком способе смешения потоков важным является определение требуемого диаметра отверстий, их числа и шага размещения. Данные параметры должны подбираться так, чтобы обеспечить равномерное распределение теплоносителя по сечению пневмотрубы и предотвратить образование «зазоров» между струями в пристенной области пневмотрубы. Это связано с тем, что за счет эффекта укрытия, создаваемого первым рядом струй, струи верхних рядов взаимодействуют с более слабым течением возле стенки. Скорость поперечного потока в «зазорах» между струями уменьшается тем значительнее, чем меньше относительный шаг между рядами струй.

По данным [5], скорость поперечного потока в «зазорах» между струями может уменьшаться на величину от 30 до 70 % в зависимости от относительного шага между ними. Кроме того, по мере уменьшения шага между отверстиями в результате слияния струй глубина их проникновения в поперечный поток уменьшается, а гидравлическое сопротивление увеличивается.

Рассматривая другие области применения предлагаемого аппарата, следует особо отметить возможность его эксплуатации в качестве нагревателя дисперсных материалов, например для нагрева КС1 перед прессованием. В этом случае имеется возможность существенно повы-

снять эффективность использования теплоносителя и тем самым снизить расход топлива. Достигается это за счет применения отработанного теплоносителя (например, отбираемого на выходе из сепарационной камеры) как ожижающего агента для пневмотранспортирования материала в нижней секции.

Список литературы

1. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – Л.: Химия, 1979. – 272 с.
2. Селиверстов А.А., Тимофеев И.Е., Загидуллин С.Х. К вопросу о налипании материала на рабочие поверхности пневматических сушилок // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 2. – С. 208–211.
3. Филиппов В.А. Конструкция, расчет и эксплуатация устройств и оборудования для сушки минерального сырья. – М.: Недра, 1979. – 309 с.
4. Тимофеев И.Е. Особенности процесса сушки хлорида калия в пневматической трубе сушилке: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2008. – 169 с.
5. Yu D., Ali M.S., Lee J.H.W. Multiple tandem jets in cross-flow // Journal of Hydraulic Engineering. – 2006. – Vol. 132, no. 9. – pp. 971–982.

References

1. Romankov P.G., Rashkovskaya N.B. Sushka vo vzveshennom sostoianii [Drying in suspension state]. Leningrad: Khimiia, 1979, 272 p.
2. Seliverstov A.A., Timofeev I.E., Zagidullin S.H. K voprosu o nalipanii materiala na rabochie poverkhnosti pnevmaticheskikh sushilok [On the issue of material sticking on inner surface of pneumatic conveying drier]. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzg'ia*, 2013, no. 2, pp. 208–211.
3. Filippov V.A. Konstruktsiia, raschet i èkspluatatsiia ustroïstv i oborudovaniia dlia sushki mineral'nogo syr'ia [Construction, calculation and exploitation of devices and equipment for drying of mineral raw materials]. Moscow: Nedra, 1979, 309 p.
4. Timofeev I.E. Osobennosti protsessa sushki khlorida kaliia v pnevmaticheskoi trube sushilke [Peculiarities of drying of potassium chloride in a pneumatic tube-dryer: dissertation of Ph.D. of Technical Sciences]. Perm, 2008, 169 p.
5. Yu D., Ali M.S., Lee J.H.W. Multiple tandem jets in cross-flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, vol. 132, no. 9, pp. 971–982.

Получено 15.06.2013

Об авторах

Селиверстов Артем Александрович (Березники, Россия) – старший преподаватель кафедры «Технологии и механизации производств» Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета, аспирант ПНИПУ (618404, г. Березники, ул. Тельмана, 7, e-mail: seliverstovartem@yandex.ru).

Загидуллин Сафар Хабибулович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и аппараты производственных процессов» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: mapp@pstu.ru).

Тимофеев Иван Егорович (Березники, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и механизация производств» Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета (618404, г. Березники, ул. Тельмана, 7; e-mail: seliverstovartem@yandex.ru).

About the authors

Seliverstov Artem Aleksandrovich (Berezniki, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Technology and mechanization of industries, Berezniki Branch of the Perm National Research Polytechnic University, Graduate Student (Thalmann st., 7, Berezniki, 618404, Russian Federation; e-mail: seliverstovartem@yandex.ru).

Zagidullin Safar Habibulovich (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Machines and apparatus, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: mapp@pstu.ru).

Timofeev Ivan Egorovich (Berezniki, Russian Federation) – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technology and mechanization of industries, Berezniki Branch of the Perm National Research Polytechnic University (Thalmann st., 7, Berezniki, 618404, Russian Federation; e-mail: seliverstovartem@yandex.ru).