

УДК 66.063.62

Э. И. Левданский, доктор технических наук, профессор (БГТУ);**И. А. Левданский**, студент (БГТУ)**НОВЫЙ СПОСОБ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ
КРУПНОЗЕРНИСТОГО МАТЕРИАЛА**

Предложен способ удаления влаги с поверхности частиц крупнозернистого материала путем воздействия скоростного вихревого воздушного потока. За счет этого частицы приобретают вращательное движение с высокой угловой скоростью, и влага, срываясь с их поверхности, подхватывается воздушным потоком и уносится из зоны разделения. Разработана конструкция аппарата для осуществления данного способа и приведены результаты ее испытаний, которые подтверждают высокую эффективность разработанного способа обезвоживания.

The proposed method for removing moisture from the surface of the particles of coarse material by the impact of particles of coarse material by the action of high-speed vortex flow. In this way, particles acquire rotational motion with high angular velocity and moisture falls from the surface, is picked up by the air stream and carried out of the zone of separation. A construction apparatus for carrying out the method and the results of its tests to confirm the high efficiency of the developed method of dehydration.

Введение. В химической, пищевой и других отраслях промышленности конечный или промежуточный продукт зачастую получают в виде крупных кристаллов или гранул. К таким продуктам следует отнести сульфат аммония, хлористый калий, хлористый натрий, полиэтилен, полистирол, сахар и многие другие. Все эти материалы вначале получают в виде разбавленных суспензий. Для получения сухого продукта суспензию сначала сгущают, потом подают на фильтр или центрифугу и окончательное обезвоживание осуществляют путем сушки. Известно, что сушка является дорогостоящим процессом, требующим значительных затрат тепла. Поэтому при обезвоживании суспензий стремятся как можно больше удалять влаги на центрифугах или фильтрах, так как механические или гидромеханические процессы обезвоживания всегда обходятся в несколько раз дешевле теплового процесса сушки [1].

Если проанализировать влажность вышеперечисленных материалов после центрифугирования, то следует отметить, что она невысокая и не превышает 10%. Однако при сушке тепло затрачивается не только на испарение влаги, но и на нагрев материала, к тому же неизбежны потери тепла в окружающую среду. Поэтому расход тепла на стадии сушки является значительным, а следовательно, стоимость этого процесса высокая.

Анализ связи влаги с кристаллами и гранулами полимерных материалов показывает, что в основном это механически связанная влага, находящаяся на поверхности частиц в результате смачивания, и она не прочно связанная с материалом [2].

Основная часть. Целью наших исследований являлось изучение возможности удаления поверхностной влаги с кристаллов или гранул

полимеров более дешевым способом. Для этого была предложена идея аэродинамического воздействия на частицы воздушным потоком с целью предания им вращательного движения с высокой угловой скоростью. В этом случае поверхностная влага будет срываться с поверхности частиц в виде мельчайших капель. Следующая задача, которую необходимо решить – это отвод мелких капель жидкости вместе с воздухом из зоны взаимодействия частиц с воздухом. Для изучения условий, при которых твердые частицы могут приобретать вращательное движение в газовом потоке, были проанализированы работы по движению двухфазных потоков и в особенности движение твердых частиц в газовых потоках [3–6]. Результаты многочисленных теоретических и экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что частицы дисперсного материала в двухфазном потоке могут приобретать вращательное движение [5–8]. Скорость вращения частиц может быть весьма значительна и составлять десятки и сотни тысяч оборотов в минуту. Так, например, зерна кукурузы, сои и пшеницы при пневмотранспортировке могут вращаться со скоростью $7 \cdot 10^3$ – $20 \cdot 10^3$ об./мин [7], а частицы пылевидного материала с размерами 0,06–0,40 мм при истечении двухфазного потока из трубы могут совершать до полумиллиона оборотов в минуту [6]. Причин, из-за которых частицы начинают вращаться в газовом потоке, много, и на основных из них остановимся подробно.

Для того чтобы частица, попавшая в газовый поток, приобрела вращательное движение, необходимо, чтобы она получила импульс в виде пары сил. Такой импульс чаще всего может возникнуть из-за несимметричного воздействия на частицу газового потока или касательного удара ее о стенку. Кроме того, вращение

может быть обусловлено несовпадением центра тяжести частицы с центром приложения силы аэродинамического сопротивления, что существенно для частиц неправильной формы. Движущиеся в газовом потоке полидисперсные частицы постоянно соударяются между собой. После касательного соударения частицы также начинают вращаться. Однако последующее соударение с другой частицей может затормозить вращение или изменить его направление. Перечисленные выше факторы, заставляющие вращаться частицы, движущиеся в газовом потоке, могут действовать в любой комбинации. Очевидно, совпадение направления действия закручивающих частицу импульсов, возникающих от различных причин, можно считать исключением.

Точное определение угловых скоростей частиц, и в особенности для полидисперсных материалов, практически невозможно. Для этого необходимо провести тщательный анализ закономерностей поступательного движения некоторой частицы с учетом взаимодействия ее со стенкой канала и другими частицами, а также учесть влияние многих факторов и комбинаций, в равной мере воздействующих на вращение частицы, что практически нереально. Чтобы оценить влияние каждого из факторов на скорость вращения частиц были проведены ориентировочные расчеты с рядом допущений, которые показали, что наибольшей скорости вращения частица достигает при касательном соударении со стенкой, а также при воздействии на нее высокоградиентного воздушного потока газа. Эта задача может быть решена при подаче частиц в высокоскоростной вихревой поток газа. В этом случае частицы будут вовлекаться в вихревое движение и за счет центробежной силы будут с высокой скоростью отбрасываться под углом к стенке, а при движении к ней будут подвергаться воздействию высокоградиентного газового потока.

С учетом изложенных выше требований по приданию частицам материала высокоскоростного вращательного движения был разработан аппарат для глубокого обезвоживания крупнозернистых материалов, который представлен на рис. 1. Аппарат состоит из цилиндрической обечайки 1, к которой в верхней части крепится тангенциальный патрубок 2 подвода воздуха. Сверху цилиндрическая обечайка закрыта крышкой 3, по центру которой проходит патрубок 4, предназначенный для подачи влажного материала вовнутрь аппарата. На выходе из патрубка 4 установлен конический отбойник 5, предназначенный для разбрасывания материала в стороны. К нижней части цилиндрической обечайки 1 крепится перфорированная коническая обечайка 6, сужающаяся книзу и оканчивающаяся разгру-

зочным патрубком 7. Для осаждения капель жидкости из воздуха служит камера, образованная обечайкой 8 с днищем 9 и крышкой 10. Удаление жидкости осуществляется через патрубок 11, а воздуха – через патрубок 12.

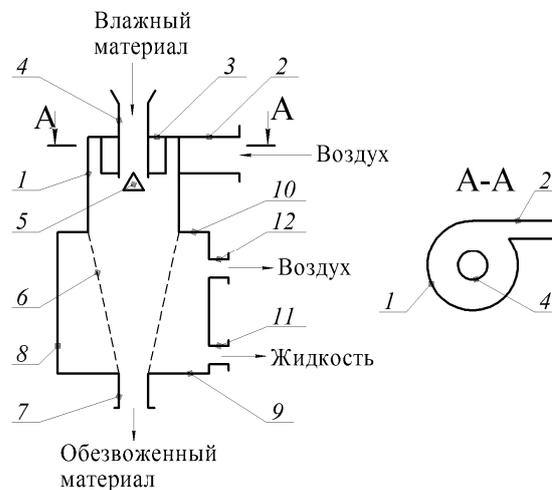


Рис. 1. Принципиальная схема аппарата

Процесс удаления влаги с поверхности частиц осуществляется следующим образом. Воздух через патрубок 2 тангенциально подается в цилиндрическую часть аппарата, за счет чего он кроме поступательного вниз приобретает и вихревое движение, в результате чего в центре аппарата создается разрежение. Влажный материал, подаваемый через патрубок 4, ударяется о конический отбойник 5 и, разлетаясь в стороны, попадает в вихревой газовый поток. Здесь материал диспергирует на отдельные частицы, которые вовлекаются газовым потоком в вихревое движение. За счет центробежных сил, возникающих при вихревом движении, частицы будут отбрасываться к стенке. При движении к стенке на частицу будет воздействовать высокоградиентный газовый поток. Большое различие скоростей газа по обе стороны частицы заставляет ее вращаться. Достигнув стенки, частицы имеют довольно высокую скорость и ударяются о нее под углом, за счет чего получают дополнительный импульс для вращения. Скорость вращения, как указывалось ранее, может достичь несколько десятков тысяч оборотов в минуту. При таких скоростях влага, находящаяся на поверхности частиц и макропорах, преодолевая силы поверхностного натяжения, будет срываться с поверхности частиц в виде мельчайших капель и уноситься газовым потоком. При движении в вихревом газовом потоке частицы постоянно соударяются между собой. Соударение влажных частиц между собой, а также удары о стенку способствуют срыву влаги с поверхности. Обдув частиц высокоскоростным

потоком, особенно при ударном торможении, также способствует удалению влаги с поверхности частиц. Следует отметить, что частицы, достигнув стенки, не перемещаются по ней, а движутся вдоль стенки скачками [9]. И таким образом, пока они опускаются вниз, совершают множество ударов о стенку. Достигнув нижней части конуса 6, обезвоженные частицы через патрубок 7 выводятся из аппарата. При вихревом движении газового потока у стенки создается зона повышенного давления. Поэтому воздух вместе с каплями жидкости, достигнув перфорированного корпуса, проходит через отверстия, и далее в осадительной камере влага отделяется от газового потока и через патрубок 11 выводится из аппарата, а воздух поднимается вверх и выходит через патрубок 12.

Эффективность разработанного способа глубокого обезвоживания влажных частиц и аппарата для его осуществления в дальнейшем проверялись экспериментально. С этой целью был изготовлен опытный образец аппарата диаметром 0,08 м в цилиндрической части. Подача воздуха в аппарат регулировалась в пределах изменения скорости на сечение цилиндрической части аппарата в пределах 5–20 м/с.

Для того чтобы подтвердить предположение, что поле скоростей газового потока при вихревом движении имеет большой градиент по сечению аппарата, был произведен замер профиля осевой и тангенциальной скорости согласно известной методике [9]. Обработка опытных данных по определению осевой и тангенциальных скоростей проводилась в безразмерном виде:

$$v_z = \frac{v_z}{v_{\text{cp}}}; v_{\phi} = \frac{v_{\phi}}{v_{\text{cp}}},$$

где v_z – осевая скорость газового потока; v_{cp} – среднерасходная скорость газового потока на сечение аппарата; v_{ϕ} – тангенциальная скорость газового потока.

Радиус аппарата также приводился к безразмерному виду:

$$r = \frac{r_T}{R},$$

где R – радиус аппарата; r_T – текущий радиус.

Полная скорость газового потока рассчитывалась по известной зависимости:

$$v_{\text{пол}} = \sqrt{v_z^2 + v_{\phi}^2}.$$

Результаты обработки опытных данных приведены на рис. 2, где кривая 1 показывает изменение профиля осевой скорости по радиусу

аппарата, кривая 2 – тангенциальной скорости, а кривая 3 – полной.

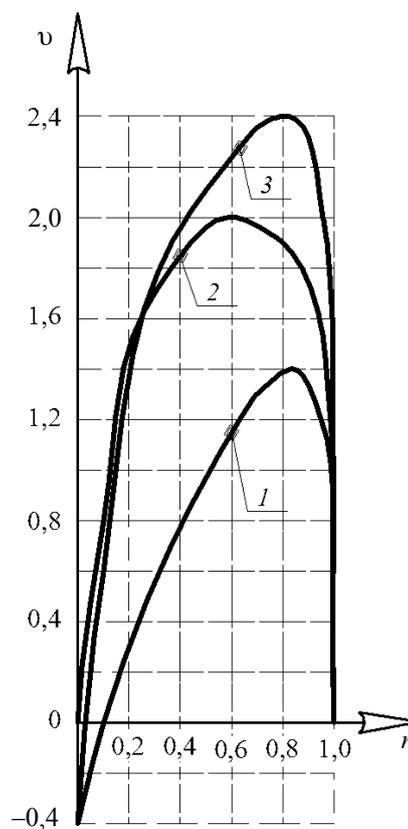


Рис. 2. Графики зависимости осевой, тангенциальной и полной скоростей газового потока от радиуса

Из графика видно, что величина как осевой, так и тангенциальной, а следовательно, и полной скоростей очень сильно изменяется по радиусу. Так, осевая скорость в центре имеет отрицательное значение, что говорит о наличии циркуляционных потоков, и достигает своего максимума на расстоянии $0,95R$. Тангенциальная скорость достигает своего максимума на расстоянии от центра, равном $0,6R$, и этот максимум в 2 раза выше среднерасходной скорости газа в аппарате. У самой стенки как осевая, так и тангенциальная скорость, естественно, будет равна нулю, следовательно, в этой зоне наблюдается резкое падение скоростей газового потока. Замер профиля скоростей в трех местах по длине цилиндрической части аппарата показал, что он изменяется весьма незначительно. Таким образом, данные исследования показывают, что частица, двигаясь от центра к стенке, подвергается воздействию высокоградиентного газового потока. Величина градиента скоростей в вихревом потоке газа в 2 раза выше, чем при турбулентном потоке без закрутки.

Заключительным этапом исследований является определение влажности различных ма-

териалов после прохождения их через разработанный аппарат. В качестве материала использовались гранулы полиэтилена с размером частиц $\delta = 4$ мм, гранулы полистерола с размерами частиц $\delta = 0,1-3$ мм, песок с размерами кристаллов $\delta = 0,1-4$ мм. Перед началом опытов приготавливалась водная суспензия, которая потом сливалась на сетку, где основная влага стекала, а влажный материал использовался для опытов. Анализ материала на влажность показал, что начальная влажность полиэтилена 5,6%, полистерола 12%, песка 14,2%. Разность во влажности материалов объясняется различной их смачиваемостью и гранулометрическим составом. Опыты проводились начиная с 8 м/с на сечении цилиндрической части до 20 м/с через каждые 4 м/с. Количество подаваемого материала составляло около 15 кг/ч.

При проведении опытов отбирались пробы материала до аппарата и после него, взвешивались, далее высушивались и снова взвешивались. По результатам взвешивания производился расчет влажности материала.

На графике (рис. 3) приведены результаты исследований по эффективности удаления влаги из материала в зависимости от среднерасходной скорости воздуха.

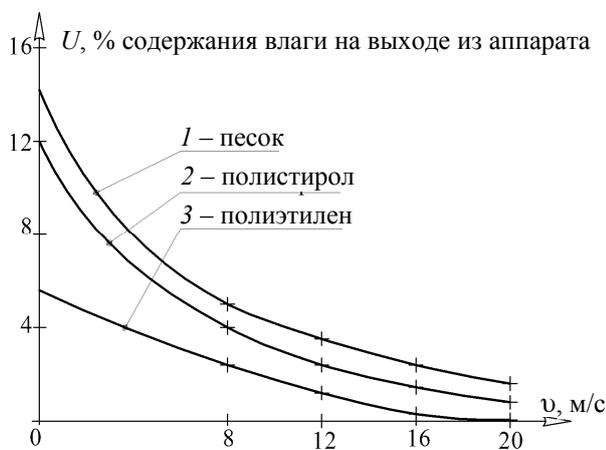


Рис. 3. График зависимости содержания влаги в материале на выходе из аппарата от среднерасходной скорости газа

Из графика видно, что влажность материала с увеличением скорости газа снижается. Например, для полиэтилена она уменьшилась при

скорости газа 20 м/с до 0,04%. Следует отметить, что такая влажность на производстве достигается при длительной сушке. При этой скорости газа влажность полистерола достигла 0,8%, а песка 1,6%. Из графика можно предположить, что при увеличении скорости газа до 30 м/с влажность полистерола и песка снизится до минимальных значений и необходимость сушки отпадет.

Закключение. Литературная проработка теоретических и экспериментальных исследований позволила разработать новый способ и аппарат для глубокого обезвоживания крупнозернистых материалов. Данный способ позволяет значительно снизить затраты на сушку таких материалов, а во многих случаях вообще отказаться от процесса сушки.

Литература

1. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
2. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М.: Химия, 1970. – 430 с.
3. Горбис, З. Р. Теплообмен и гидродинамика дисперсных сквозных потоков / З. Р. Горбис. – М.: Энергия, 1970. – 424 с.
4. Бусрайд, Р. Течение газа со взвешенными частицами / Р. Бусрайд. – М.: Мир, 1974. – 326 с.
5. Соу, С. Гидродинамика многофазных систем / С. Соу. – М.: Мир, 1971. – 536 с.
6. Бабуха, Г. А. Взаимодействие частиц полидисперсного материала в двухфазных потоках / Г. А. Бабуха, А. А. Шрайбер. – Киев: Наук. думка, 1972. – 176 с.
7. Дзядзио, А. М. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях / А. М. Дзядзио, А. С. Кемер. – М.: Колос, 1967. – 286 с.
8. Романдин, В. П. Пылеприготовление / В. П. Романдин. – М.: Госэнергоиздат, 1953. – 356 с.
9. Левданский, Э. И. Разработка газодисперсных аппаратов для разрушения крупнодисперсных гетерогенных систем: дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08 / Э. И. Левданский. – Львов, 1999. – 288 л.

Поступила 20.02.2013