

И.А. Левданский; А.А. Ковалева, асп.;  
А.А. Тлеумуратов, магистрант;  
А.Э. Левданский, зав. кафедрой ПиАХП, д-р техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ГАЗОВОГО ПОТОКА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВЛАГИ**

Стадия сушки находит широкое применение при получении различных продуктов на предприятиях химической, пищевой промышленности и производства строительных материалов.

В классическом понимании процесс сушки связан с изменением агрегатного состояния влаги путем перевода её из жидкого состояния в парообразное. Изменение агрегатного состояния вещества, при переходе из жидкого состояния в парообразное связано с большими удельными энергозатратами. Существует большое количество сыпучих материалов, у которых влага может находиться только на поверхности частиц. Очевидно, что в этом случае, более экономичным является механическое удаление влаги с поверхности высушиваемого материала. Один из вариантов удаления такой влаги может являться их обдув скоростным газовым потоком. В этом случае важно создать необходимую минимальную скорость обдува частиц газовым потоком.

Минимальная скорость газового потока должна обеспечивать срыв пленки жидкости с поверхности твердых частиц. Определить эту скорость возможно рассмотрев силы, действующие на пленку жидкости находящейся на поверхности обдуваемой частицы. Момент срыва пленки жидкости с поверхности частицы возможен при равенстве нулю суммы этих сил, в частности: силы тяжести, силы трения, вызванной обтеканием её газовым потоком и силы поверхностного натяжения, предотвращающей разрыв пленки жидкости. На величину критической скорости газового потока будет оказывать существенное влияние взаимное направление векторов перечисленных сил. Очевидно, что сила тяжести всегда направлена вниз, а направление вектора скорости газового потока может быть любым. Возможны два крайних варианта по взаимному направлению этих векторов. Направления векторов могут совпадать и быть направленными в противоположные стороны.

Нами были выполнены теоретические расчеты для обоих случаев. При этом, когда рассматривался случай обдува частицы восходящим газовым потоком принималось условие, что на поверхности частицы содержится максимальное количество влаги, которую способны

удержать силы поверхностного натяжения. Подходы к расчету максимально возможного количества поверхностной влаги для сферической частицы излагались нами ранее [1]. Для случая обдува частиц нисходящим газовым потоком, расчеты проводились для разного количества поверхностной влаги. Количество этой влаги учитывалось величиной относительной доли  $\phi$  к максимально возможному, количеству воды на поверхности частицы.

Для расчета силы трения, вызванной обтеканием пленки поверхностной влаги газовым потоком была учтена её деформация под воздействием газового потока. Поверхностная влага будет вытягиваться в виде цилиндра в направлении скорости газового потока. Диаметр цилиндра будет сопоставим с диаметром частицы. Завершаться данная форма капли будет полусферической поверхностью, так как жидкость всегда стремится к минимальной поверхности границы раздела фаз.

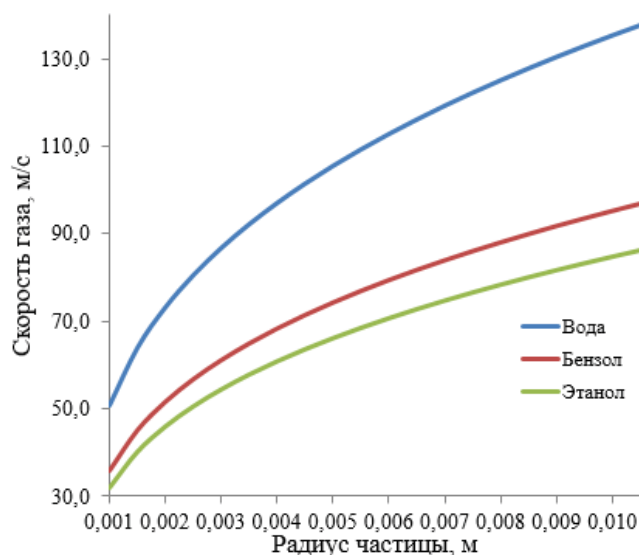
Сила трения в значительной мере зависит от скорости газового потока. Следует отметить, что при обтекании любого тела газовым потоком всегда наблюдается неравномерность поля распределения скоростей движущейся среды вокруг обтекаемого тела. Нами для расчетов была выбрана частица шарообразной формы. Исследованием процесса обтекания шара в своё время занимались многие именитые ученые Г. Стокс [2], Л. Прандтль [3]. В учебнике Л.Г. Лойцянского «Механика жидкости и газа» [4, стр.288] приведен вывод уравнения, описывающего распределение скоростей среды, обтекающей сферу.

Существуют различные подходы к расчету искомой нами силы трения. Как следствие, предлагаются различные зависимости для таких расчетов. К сожалению, получаемые по этим зависимостям результаты имеют значительное расхождение. Нами также были проведены и экспериментальные исследования, по изучению влияния скорости газового потока на количество влаги находящейся на поверхности обдуваемых газом частиц. Экспериментальные исследования позволяют нам утверждать, что результаты расчетов наиболее близки к реальным, если для вычислений силы трения возникающей при обтекании газовым потоком частицы, используется зависимость, приведенная в монографии В.Б. Когана [5].

На рисунке 1 в графическом виде показаны результаты таких расчетов для восходящего газового потока. В расчетные формулы подставлялись физические параметры, соответствующие атмосферному давлению и температуре 20 °С.

Существенное различие в значениях критической скорости газового потока в зависимости от вида жидкости, объясняется различными

величинами поверхностного натяжения для каждой из них. Естественно, что чем выше величина поверхностного натяжения жидкости, тем выше критическая скорость газового потока. Следует отметить, что критические скорости газового потока рассчитаны для идеальных условий: речь идет об одиночной частице, как следствие не учитываются столкновения частиц между собой и стенками аппарата; частица имеет форму правильного шара.

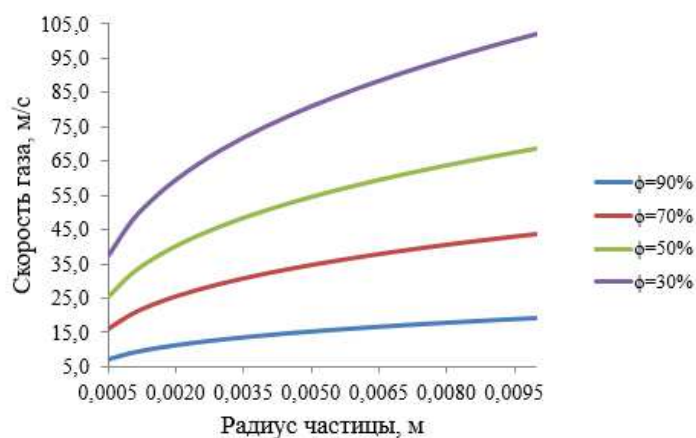


**Рисунок 1 – Величина критической скорости восходящего газового потока для частиц с максимальной поверхностной влагой в зависимости от их размера**

Естественно в реальных условиях значения критических скоростей будут значительно ниже. Отклонения формы частиц от сферической, соударения частиц между собой и стенками аппарата, неравномерность распределения скорости газового потока по сечению аппарата будут способствовать срыву влаги с поверхности частицы.

Совершенно иная картина будет наблюдаться при использовании нисходящего газового потока. При наличии на поверхности частиц максимального количества влаги пленка жидкости готова разрушиться под действием собственного веса. Воздействие даже малых скоростей нисходящего потока газа будет интенсифицировать процесс срыва поверхностной влаги. Очевидно, что величины скоростей газового потока способных сорвать влагу с поверхности частиц зависит от количества влаги находящейся на поверхности этих частиц. Увеличение количества влаги, находящейся на поверхности частиц приводит к увеличению поверхности контакта влаги с газовым потоком. По данной поверхности действуют касательные напряжения, стремящиеся сорвать пленку влаги с поверхности частиц. Результаты расчетов критической

скорости для случая нисходящего газового потока представлены в графическом виде на рисунке 2.



**Рисунок 2 - Зависимость критической скорости нисходящего газового потока от радиуса частиц смоченных пленкой воды**

Выполненные расчеты показывают не перспективность разработки аппаратов удаления поверхностной влаги в восходящих газовых потоках. Такие аппараты требуют придания газовому потоку скорости, как минимум, в десятки метров в секунду, что связано с большими энергетическими затратами. При этом следует учитывать, что речь идет не столько о скорости газового потока, сколько о разности скоростей газового потока и влажных частиц в нем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Левданский И.А., Ковалева А.А., Кулевец П.С., Левданский А.Э. Расчет максимально возможной влажности сыпучего непористого материала через величину поверхностного натяжения жидкости // сборник материалов V Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «Нефтегазохимия». – Минск, 2022. – С. 234–238.
2. Stokes G.G. On the Effect of Internal Friction of Fluids on the Motion of Pendulums // Transaction of the Cambridge Philosophical Society. – 1851. – Vol. 9, Part 2. – P. 8–106.
3. Prandtl L. The mechanics of viscous fluids, in Durand, «Aerodynamic Theory» // Julius Springer. Berlin. – 1935. – Vol. 3. – P. 34–208.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Учебник для вузов. – 7-е изд., испр. – М.: Дрофа. – 2003. – 840 с.
5. Коган В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии Л.: Химия. – 1977. – 592 с.