

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ГРАНУЛЯТОРА СНИЖАЮЩЕГО ПЫЛЕВЫЕ ВЫБРОСЫ

Глазов Р.В., Хуснутдинова К.Т.

Московский государственный университет инженерной экологии

В большинстве случаев источниками ухудшения экологии окружающей среды города и близлежащих населённых пунктов являются предприятия, связанные с производством химических продуктов.

Крупные промышленные предприятия, являясь одновременно градообразующими и средой обитания населения – объект пристального внимания многих служб и организаций, как на стадии проектирования, так и стадии эксплуатации производственного оборудования.

Загрязнение окружающей среды промышленных городов, имеющих развитую химическую промышленность, в значительной мере зависит от состояния и применения экологически безопасной техники и технологий.

Известно, что пылевые выбросы в атмосферу, представляющие собой мелкие, не модифицированные частицы основного продукта, а также утечки технологических веществ значительно ухудшают экологическое состояние промышленных городов.

Как правило, первые зависят от совершенства применяемого оборудования, вторые – от исправности его элементов и параметров технологических процесса [1].

Так, например, при производстве минеральных удобрений башенным способом (методом прилирования) кристаллизующиеся мелкие капли расплава продукта не опускаются на дно грануляционной башни, а выносятся в атмосферу вместе с охлаждающим их воздухом.

Объёмы уноса мелкой фракции образующихся гранул продукта существенно зависят от конструктивно-технологических параметров элементов оборудования и в первую очередь гранулятора.

В работе [2] показано, что содержание частиц аммиачной селитры в воздухе, выбрасываемом установками с типовой грануляционной башней диаметром 16 м, составляет в среднем 0,3 г/м³. Учитывая, что расход воздуха через одну грануляционную башню составляет 300000 м³/час – 400000 м³/час, общее количество выбрасываемого продукта за год может достигнуть примерно 900 т.

Образование мелкой фракции гранул, ухудшающее качество конечного продукта, наряду с другими факторами является следствием несовершенства конструкции разбрызгивающего (диспергирующего) расплава продукта – гранулятора.

Типовая конструкция гранулятора представляет собой металлический корпус, в днище которого просверлено множество отверстий для истечения через них струй расплава удобрения, распадающихся далее на отдельные капли. Гранулятор помещён в полулюк

грануляционную башню с восходящим потоком воздуха, в котором капли расплава удобрения, кристаллизуясь и охлаждаясь, превращаются в гранулы готового продукта.

Наиболее перспективными конструкциями грануляторов в настоящее время являются статические (неподвижные) гранулирующие устройства с наложением вибраций.

С помощью статических грануляторов возможно обеспечить:

– любое, в том числе и равномерное, орошение сечения башни произвольной формы;

– создание спокойной зоны в газовой фазе, окружающей область распада струй на капли;

– практически равные скорости истечения плава из всех отверстий перфорированного элемента;

– возможность наложения вибраций на плав с различными параметрами с помощью специальных устройств-вибраторов.

Современное гранулирующее оборудование с помощью вибровозбудителей справляется с задачей получения монодисперсного состава гранул только при расчётной номинальной нагрузке по диспергируемому расплаву [3]. При отклонении расхода от номинального, распад перестает быть однородным, что приводит к существенному отклонению среднего размера капель, а, следовательно, и гранул от расчётного значения, а также образованию так называемых капель-спутников, ухудшающих качество готового продукта.

Согласно теории Рэлея, вероятностная частота образования капель маловязкой жидкости при распаде струй зависит от скорости истечения струй и диаметра отверстий

$$f_p = \frac{w_l}{4,51d_0}, \quad (1)$$

где f_p – частота образования капель, Гц;

w_l – скорость истечения струи жидкости из отверстия, м/с;

d_0 – диаметр отверстия, м.

Перфорированное днище гранулятора имеет фиксированное количество отверстий одинакового диаметра, поэтому частота образования капель изменяется прямо пропорционально расходу диспергируемой жидкости. В то же время частота источника вынуждающих колебаний (вибратора) у существующих грануляторов остаётся постоянной, совпадающей с частотой образования капель при номинальной нагрузке, что и приводит к неоднородности грансостава при изменениях нагрузки.

Задачей для решения проблемы однородности капель при разбрызгивании в условиях нестационарной нагрузки является создание устройства, действие которого не зависело бы от изменения расхода.

Задача решается путём выполнения вибратора в виде упругой металлической нити (струны). Принцип работы такого резонатора аналогичен ультразвуковому гидродинамическому излучателю [4], в котором звуковые колебания образуются за счёт резонанса частот собственных колебаний упругого элемента (заострённой пластины или стержня) и отрыва вихрей, возникающих при его обтекании.

Частота собственных колебаний струны равна

$$f_c = \frac{1}{ld} \sqrt{\frac{T}{\rho_c \pi}}, \quad (2)$$

где l, d – соответственно длина и диаметр струны, м;

T – сила натяжения струны, Н;

ρ_c – плотность материала струны, кг/м³.

Из (2) следует, что при фиксированных геометрических размерах частота собственных колебаний струны, в отличие от пластины или стержня, может быть изменена путём изменения силы натяжения.

Частота отрыва вихрей при обтекании струны определяется соотношением [5]

$$f_{вих} = \frac{wS}{D}, \quad (3)$$

где w – скорость затопленной струи, обтекающей струну, м/с;

D – диаметр цилиндра, м;

S – безразмерная частота отрыва вихрей, т. е. число Струхала. Согласно [5], при числах Re больше 1000, S практически постоянно и равно 0,21.

Из (1) и (3) следует, что изменение частот распада струи и отрыва вихрей прямо пропорционально изменению скоростей потоков, которые, в свою очередь, таким же образом изменяются в зависимости от расхода (нагрузки). Если конструктивно обеспечить возможность изменять частоту собственных колебаний струны (2) также прямо пропорционально нагрузке, можно добиться согласования всех трёх частот во всём диапазоне изменения нагрузки на гранулятор.

Устройство, обеспечивающее вышеуказанное условие, конструктивно может быть выполнено, например, по следующему принципу. Струна, закреплённая в рычагах, имеющих определённое соотношение плеч, расположена под поршнем с соплом, которое направлено на струну. Поршень, в свою очередь, вставлен в патрубок, вдоль оси которого он может совершать перемещения. В процессе работы этого устройства жидкость, поступающая на диспергирование через патрубок, частично или целиком проходит через сопло, соединённое с подвижным поршнем, и направляется на струну. При обтекании струны затопленной струёй жидкости происходит отрыв вихрей с частотой, определяемой соотношением (3). Давление P жидкости над соплом прямо пропорционально квадрату скорости w жидкости, истекающей из сопла. Образовавшийся над поршнем столб жидкости давит на рычаги,

растягивающие струну, с силой

$$T_0 = PF, \quad (4)$$

где T_0 – вес столба жидкости, Н;

P – давление жидкости над соплом, Па;

F – площадь поршня, м².

Соответственно, сила натяжения струны

$$T = kT_0, \quad (5)$$

где k – коэффициент соотношения плеч рычагов 5, также прямо пропорциональна w^2 .

Тогда, согласно уравнению (2), частота собственных колебаний струны будет изменяться прямо пропорционально w , т.е. нагрузке.

С помощью регулирования соотношения плеч рычагов можно выставить необходимое значение коэффициента k .

Представленный принцип конструкции позволяет добиться синхронности изменения частот вынуждающих колебаний вибровозбудителя и образования капель во всём диапазоне нагрузки по диспергируемой жидкости и тем самым повысить однородность грансостава готового продукта.

Вышеописанный принцип работы вибратора прошёл проверку на промышленном экземпляре диспергатора с использованием воды в качестве диспергируемой жидкости. В результате эксперимента было зафиксировано удовлетворительное совпадение экспериментальных и расчётных значений частот возникающего звука, образования капель и отрыва вихрей в расчётном диапазоне изменения расхода жидкости.

1. Никифоров А.Д., Колчков В.И., Поликарпов М.И. Обеспечение качества нефтехимического оборудования. – М.: Машиностроение, 1984. -174 с.

2. Технология аммиачной селитры, под. ред. В. М. Олевского. – М.: Химия, 1978. – 312 с.

3. А. С. 856529 СССР. МКИ В 01 J 2/02. Акустический разбрызгиватель. Б. И. № 31. 1981.

4. Гершгал Д. А., Фридман В. М. Ультразвуковая аппаратура. – М.: Энергия, 1967. – 264 с.

5. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 712с.