

Построение Модели Перемешивания Сыпучих Материалов.

Иванов А.В.

(Московский государственный авиационный институт, г. Москва, Россия)

Применяемые в различных областях промышленности конструкции смесителей достаточно примитивны, энергоемки из-за продолжительности процесса перемешивания, что в первую очередь зависит от несовершенства геометрии лопасти смесителя. Очевидно, что при построение геометрической модели лопасти смесителя необходимо учесть богатый опыт проектирования поверхностей движителей самолетов, вертолетов и судов, лопаток турбин. Естественно, что геометрия лопасти смесителя должна быть значительно проще лопастей гребных и воздушных винтов, хотя принцип их действия имеет много схожего. Поэтому при проектирование лопасти смесителя необходимо учитывать как аэродинамические факторы, так и особенности среды перемешиваемых порошковых материалов.

Существенное влияние на построение геометрической модели поверхности лопасти имеет учет реально существующих условий их воспроизведения, а именно, отсутствие специального оборудования и оснастки для их изготовления на заводах отрасли. Поэтому геометрическая модель лопасти должна отвечать основным двум противоречивым требованиям: высокому качеству геометрической модели, обеспечиваемому учетом аэродинамических факторов в зависимости от свойств физической среды, и возможностью изготовления на серийном оборудовании обычных машиностроительных заводов.

В этой статье предложен способ конструирования поперечного сечения лопасти как аэродинамического профиля. Решение этой задачи требует, построения модели перемешивания сыпучих материалов с учетом их физических свойств.

Перемешивание различных материалов с различными физическими, химическими и др. свойствами составляет основу многочисленных технологических процессов. Качество перемешивания определяет соответствующее качество получаемого продукта, к.п.д. установки и т.д. Например, качество топливной смеси в двигателях внутреннего сгорания непосредственно влияет на полноту сгорания топлива и, как следствие, на к.п.д. двигателя и токсичность выхлопных газов. Качество хлебопекарной продукции не в последнюю очередь зависит от качества перемешивания исходных продуктов в процессе приготовления теста. Сказанное в полной мере относится к приготовлению бетона и аналогичных смесей.

В фармацевтической и пищевой промышленности при приготовлении сухих сыпучих смесей по определенным рецептам существенным является требование получения однородной массы с одинаковым содержанием компонентов в любой части массы смеси. Аналогичные требования предъявляются, хотя и в меньшей степени, в порошковой металлургии, при приготовлении шихты для доменных печей, исходных продуктов при изготовлении древесностружечных, древесноволокнистых плит, протравливании семян перед севом и т.д. и т.п.

Для приготовления таких смесей существуют различные конструкции смесителей. Они, в основном, выполняются по двум схемам:

-вращением барабана- емкости с приваренными к нему лопастями (бетономешалки, наклонные вращающиеся печи при производстве цемента и др.)

-движением рабочих органов в чанах (емкостях) смесителей.

В последнем случае рабочие органы изготавливаются в виде лопастей при малой вязкости перемешиваемой среды и в виде шарнирно- стержневых многосвязных конструкций при высокой вязкости перемешиваемой среды.

Одним из видов смесителей применяемых в фармацевтической промышленности для приготовления смесей готовых лекарственных средств (ГЛС) является смеситель- гранулятор с вертикальным приводным валом. Корпус этого смесителя (чаша) имеет цилиндрическую форму. На вал привода устанавливается мешалка с несколькими (тремя или четыремя) лопастями, предназначенными для перемешивания компонентов среды. Лопасти выполнены в виде отсека плоскости трапецевидной формы и приварены к валу под углом 30° к основанию чаши. Так как компоненты ГЛС имеют низкую температуру плавления, угловая скорость вращения мешалки не более 110 об/мин. Для исключения трения между дном чаши и нижними кромками лопастей имеется гарантированный зазор в 2мм.

Основными недостатками существующих смесителей является:

-малая производительность смесителя,

-налипание компонентов смеси на дно чаши и лопасти смесителя,

-через некоторое время после включения двигателя масса смеси начинает проворачиваться вместе с лопастями, не подвергаясь перемешиванию.

Для устранения указанных недостатков поверхность лопатки смесителя фирмы Manesty (Ливерпуль, Англия) выполнена в виде лотка, образованного отсеками двух пересекающихся плоскостей (рис.1). Как видно из рисунка, угловая форма конструкции лопатки не способствует ее плавному «обтеканию» перемешиваемой массы. Наличие резких изломов в пересечении отсеков плоскостей будет способствовать налипанию рыхлой перемешиваемой массы в вогнутых участках поверхности лопасти.

Рассмотрим геометрические аспекты путей устранения указанных недостатков. Повышение производительности смесителя можно достичь за счет организации разницы в скоростях движения перемешиваемых частиц как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Это обстоятельство исключит и возможность проворачивания перемешиваемой массы вместе с лопастями. Налипание компонентов смеси на поверхность лопасти можно устранить, если ее профили выполнить в виде аэродинамических контуров. При этом проектирование поверхности лопасти смесителя следует выполнять по аналогии с проектированием воздушных и гребных винтов с учетом основных законов аэро и гидродинамики.

Исходя из сказанного, для построения предлагаемой модели перемешивания сыпучих материалов приведем некоторые сведения из аэродинамики в элементарном изложении.

Если некоторую пластину поставить под углом α к направлению потока воздуха (жидкости), то струйки обтекающего потока образуют несимметричную картину, их скорости сверху и снизу пластины будут равными. Сверху пластины они будут больше, а под пластиной меньше. Из уравнения Бернули [1] следует: где скорость больше- там давление меньше, и наоборот. В нашем случае давление сверху пластины меньше, чем давление снизу. В результате разности давлений возникает полная аэродинамическая сила R , направленная перпендикулярно плоскости пластины. Полная аэродинамическая сила раскладывается на силу Q

лобового сопротивления, направленную параллельно потоку, и на силу F нормального давления, направленную перпендикулярно потоку. Сила нормального давления, направленная вверх, называется подъемной силой.



Рис 1.

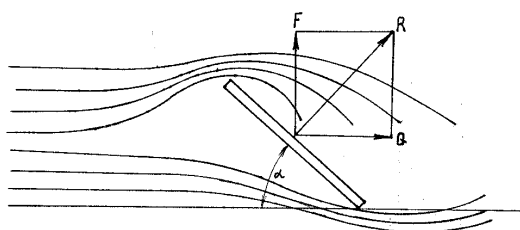


Рис 2.

Подобная картина возникает, естественно, в более уложенном виде при обтекании аэродинамического профиля (рис.3). Наличие плавной выпуклости с верхней стороны профиля и чуть заметной выпуклости или вогнутости с нижней стороны, вместе с плавным закруглением носика профиля, способствуют увеличению скорости обтекающих струй сверху профиля и образованию там разрежения. При этом струи обтекают профиль плавно, не отрываясь от его поверхности и не превращаясь в вихри, что наблюдается при обтекании плоской пластины.

Аэродинамический профиль имеет следующие основные геометрические характеристики: хорда, толщина, средняя линия. Хорда- это отрезок прямой, соединяющий две

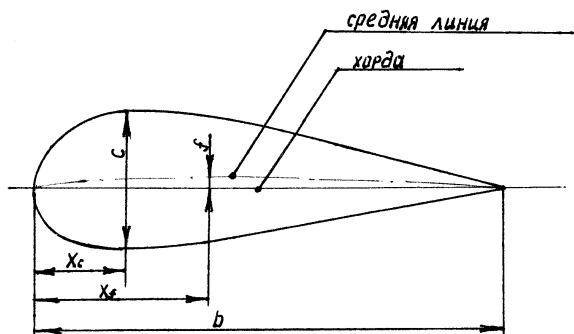


Рис 3.

наиболее удаленные точки профиля.

Толщина профиля характеризуется длиной отрезков перпендикуляров, проведенных к хорде и ограниченных их точкой пересечения с верхней и нижней дужками профиля. Наибольший из этих отрезков (на рис.3) соответствует максимальной толщине. Отношение максимальной толщины

к длине хорды называется относительной толщиной. Если $c=b*100\%= 4\div 6\%$, то профиль называется тонким. Если толщина равна $12\div 18\%$, то профиль называется толстым.

Средней линией называется кривая, геометрическое место точек- середин отрезков, характеризующих толщину профиля. Расстояние от хорды до средней линии характеризует вогнутость профиля. Максимальная вогнутость f или относительная вогнутость $\bar{f}=f/b$ характеризуют степень несимметричности профиля. Некоторые профили в качестве средней линии имеют s- образную кривую. Для них нормируют величину, называемую обратной вогнутостью, то есть максимальное расстояние от хорды до средней линии в хвостовой части профиля, где дуга средней линии располагается ниже хорды.

Далее, приведем некоторые сведения об аэродинамике воздушного винта [2, 3], ибо функция лопасти смесителя по своей сути сходна с его работой. Отличие состоит лишь в том, что воздушный винт создает силу тяги для полета самолета, а лопасть смесителя, оставаясь на месте, перемещает компоненты смеси. Однако, это не имеет принципиального значения и не противоречит законам подобия в аэродинамике[1].

Лопасть винта можно рассматривать как крыло особой формы, имеющее вдоль размаха r различные профили. Лопасти винта укрепляются во втулке под некоторым углом ϕ к плоскости вращения винта (рис.4). Этот угол называется углом установки лопасти и может меняться. От этого угла зависит шаг винта H - расстояние, на которое продвинулся бы профиль винта за один оборот, двигаясь в воздухе.

Так же, как и крыло самолета, профиль лопасти винта при своем вращении атакует воздух под некоторым углом атаки α . В результате обтекания профиля лопасти на ней возникает полная аэродинамическая сила R . Эта сила по правилу параллелограмма раскладывается на силу тяги F , действующую по направлению полета, и на силу сопротивления вращения Q , которая преодолевается двигателем.

Угол атаки α - это угол между хордой профиля лопасти и направлением геометрической суммы скоростей V . В отличие от крыла самолета лопасть винта совершает не одно, а два движения: она вращается и движется вперед. На лопасть набегают как бы два потока: поток в плоскости вращения и поток, направленный перпендикулярно к плоскости вращения винта, то есть в направлении полета.

Поэтому полная скорость V представляет собой геометрическую сумму скорости полета $V_{п}$ и линейной скорости $V_{л}$ вращения профиля винта.

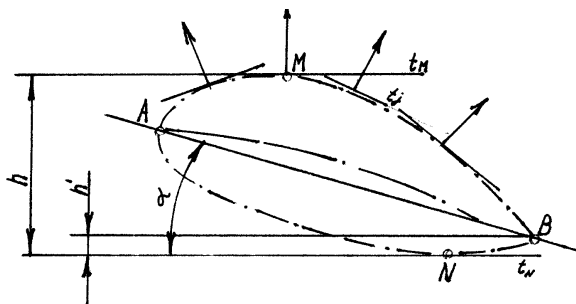


Рис 4.

Таким образом, суммируя (интегрируя) полные аэродинамические силы R , действующие на каждый элемент (профиль) лопасти, получаем силу тяги $\sum R$. Сумма элементарных моментов $\sum F_{с.в} \times r$ дает момент сопротивления

M_Q , который уравнивается крутящим моментом двигателя.

Теперь используем приведенные сведения из теории крыла и винта для построения модели перемешивания сыпучих материалов и формулировки технического задания на проектирование профиля лопасти смесителя.

Выше было отмечено, что повышение производительности смесителя можно достичь за счет организации разницы в скоростях перемещения частиц перемешиваемых материалов как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Разность скоростей в вертикальном направлении обеспечивается разными значениями углов атаки α профилей лопасти смесителя, точнее, углов атаки ее хорды АВ. То есть множество хорд (АВ) должно образовать линейчатую поверхность с плоскостью параллелизма Φ , где Φ - плоскость, перпендикулярная оси лопасти. Для простоты в качестве этой поверхности следует взять косую плоскость с прямолинейными направляющими a и b , где a -геометрическое место носиков A_1 профилей, а b -хвостиков B_1 . Зная высоту цилиндрической чаши, плотность среды и угловую скорость вращения лопасти, можно легко подсчитать угол атаки α , конкретного профиля.

Выполнение сечения лопасти смесителя в виде аэродинамического профиля, во-первых, исключит налипание компонентов смеси, во-вторых, за счет различных значений углов наклона касательных, огибающих данный профиль, обеспечивается в каждой ее точке свое направление и величина скорости перемешиваемых частиц. Это обстоятельство должно существенно повысить скорость перемешивания (производительность смесителя) по сравнению с лопастями, выполненными в виде отсеков одной или двух плоскостей.

Линейная скорость вращения профилей лопасти увеличивается от корневого сечения к периферийному. Поэтому необходимо уравнивание элементарных моментов сопротивления, что можно достичь изменением лобового сопротивления. Для каждого конкретного профиля оно пропорционально разности h высот точек М и N профиля, в которых профиль имеет горизонтальные касательные (рис. 5).

Для обеспечения разряжения в хвостовой части профиля, то есть исключения налипания перемешиваемой смеси на дно чаши необходимо построить профиль с отогнутой вверх хвостовой частью. Величина «отгиба» определяется разностью h' высот точек В и N, а также геометрией дуги $B^{\circ}N$, которая зависит от формы средней линии профиля.

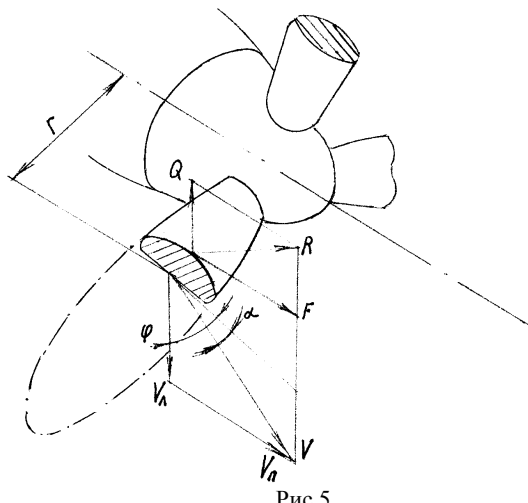


Рис 5.

Таким образом, получили исходные данные для конструирования дискретного профиля поверхности лопасти смесителя.

Из описанной геометрической схемы (модели) перемешивания и исходных данных на конструирование профиля следует, что каждый ее элементарный участок определяет свой вектор перемещения частиц компонентов смеси. Другими словами, профиль представляет собой огибающую множества касательных t_j . Поэтому наиболее естественным способом конструирования таких профилей должен быть способ преобразований прикосновения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартынов А.К. Прикладная аэродинамика. - М.: Машиностроение, 1972, -440с.
2. Глауэрт Г. Основы теории крыльев и винта. -М. – Л.:ГНТИ, 1931,- с.
3. Зокштейн С.И. Аэродинамика конструкция самолета. -М.:ГИОП, 1955, -243 с.