**Ольга Пиляева,** Ачинский филиал

Красноярского аграрного университета

Доцент, кандидат технических наук,

кафедра агроинженерии

**Моделирование аэродинамики в бункерных установках с радиальной схемой воздухораспределения**

**Аннотация:** В данной статье рассмотрен алгоритм расчета аэродинамической модели в бункерных установках определенного типа воздухораспределения. Математическая модель позволяет в любой точке бункера скорость воздушного потока.

**Ключевые слова:** бункер активного вентилирования, воздухораспределение, зерновая массса, скорость воздушного потока.

Бункерные установки можно разделить по назначению:

* на бункера для временного хранения и аэрирования влажного зерна перед сушкой (компенсирующие неравномерность поступления зерна);
* бункера для досушки и охлаждения (компенсирующие нарушение поточности обработки и реализующие низкотемпературный процесс сушки);
* бункера для высокотемпературного процесса сушки.

Бункера активного вентилирования, можно проклассифицировать по схемам воздухораспределения:

* радиальная схема воздухораспределения с двумя перфорированными цилиндрами (рис.1.1);
* радиальная схема воздухораспределения со сплошным наружным цилиндром (рис.1.2);
* поперечная схема воздухораспределения (рис.1.3).

Отметим, что несмотря на то, что каждый из этих классов может быть подразделён на подклассы (см.рис.1.3-1.5), принципиальный подход к постановке и решению задач аэродинамики и тепловлагопереноса для соответствующих подсхем остается без существенных изменений [51-59].

|  |  |
| --- | --- |
| 1  Рисунок 2.1 – Радиальная схема воздухораспределения с двумя перфорированными цилиндрами  3  Рисунок 2.3 – Поперечная односторонняя (несимметричная) схема воздухораспределения  5  Рисунок 2.5 – Поперечно-продольная схема воздухораспределения | 2  Рисунок 2.2 – Радиальная схема воздухораспределения со сплошным наружным цилиндром  4  Рисунок 2.4 – Поперечная двухсторонняя (симметричная) схема воздухораспределения |

Поставим задачу разработки аэродинамической модели для воздухораспределителей I класса, реализующих схему 1 (рис.1.1).

Математическая формулировка задачи для данной схемы воздухораспределения следующая:

Найти в прямоугольнике ,  решение уравнения

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1) |

при граничных условиях:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.2) |

При выводе уравнения были приняты следующие допущения и предложения:

- зерновая масса – изотропная среда;

- плотность воздуха в процессе вентилирования постоянная;

- плотность укладки зёрен одинаковая во всех частях бункера;

- между скоростью воздуха и градиентом статического давления справедлива линейная зависимость вида

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.3) |

где  и – скорости воздушного потока в радиальном и вертикальных направлениях.

Решение уравнения найдём в виде

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.4) |

Подставив новые неизвестные функции в искомое уравнение, получим:

 (1.5)

Имеем 

 (1.6)

Рассмотрим совокупность возможных решений полученных двух дифференциальных уравнений в зависимости от величины параметра  и знака перед ним. Если знак минус, то линейно-независимыми решениями уравнений будут функции‌ ‌‌‌

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.7) |
|  | (1.8) |

где  – функции Бесселя I и II рода нулевого порядка от вещественного аргумента;

– постоянные.

Если знак плюс, то линейно-независимыми решениями уравнений являются функции

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.9) |
|  | (1.10) |

где  и – функции Бесселя I и II рода нулевого порядка от мнимого аргумента.

Если , имеем

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.11)  (1.12) |

Проведём анализ полученных возможных решений. Рассмотрим граничные условия

  для решения (1.7). Их соблюдение требует выполнения следующей системы однородных уравнений

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.13) |

Её определитель должен равняться

 

для существования решений, отличных от тривиального  В силу наличия противного случая, данное решение отпадает.

Краевое условие для днища бункера

 (1.14)

позволяет получить второе уравнение для определения собственных значений и функций краевой задачи:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.15) |

Их совместное решение даёт:

 

В силу того, что мы ищем нетривиальное (ненулевое) решение, второе равенство означает, что

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.16) |

В результате получаем выражение для собственных значений краевой задачи

 и выражение для собственных функций задачи

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.17) |

Так как при  потенциал скорости , то, подчиняя решение

 условию  получаем значение :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.18) |

Таким образом, решение (1.7) уравнения задачи запишется в следующем виде:

 (1.19)

Общее решение задачи представится в виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.20) |

где 

Введём относительные линейные размеры и координаты точек бункера в вертикальном и радиальном направлениях с целью удобства дальнейших расчётов:

      

Принятые относительные величины могут рассматриваться как безразмерные критерии подобия. Например, отношение , равное , характеризует степень заполненности бункера зерновым материалом и определяется положением запорного поршня, перекрывающего часть воздухоподводящего канала высотой .

Все введённые нами критерии принимают значения в интервале от 0 до 1, причём крайние величины (0 и 1) представляют собой граничные условия (для  и ) или предельные условия (для ). Наиболее часто встречающиеся на практике значения для  лежат в пределах 0,7÷0,9, поэтому при расчётах будем брать три уровня этого параметра: ; ; .

Перепишем основную формулу, полученную нами для потенциала скорости, с учётом введённых относительных величин, в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (1.21) |

Данное решение удовлетворяет граничным условиям на днище бункера, поверхности зернового слоя и на границе  наружного перфорированного цилиндра. Для полной его конкретизации (определения ) остаётся подставить граничное условие на внутренней поверхности данного цилиндра  в уравнение (1.21). Это условие при переходе от функции  к функции  приобретает следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.12) |

С учётом этих граничных условий введём вспомогательную функцию

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.13) |

где значения переменных коэффициентов  и  являются функциями контура области определения функции . Для выполнения ГУ  они должны равняться следующим значениям:

  

Учитывая, что на участке , в силу (1.13), функции  и связаны соотношением



(другими словами функция  имеет смысл скорости воздушного потока при его входе в зерновой слой), продифференцируем (1.11) по , и приняв  получим выражение для радиальной составляющей скорости воздуха у центрального цилиндра бункера

 (1.14)

Таким образом, предлагаемый метод расчёта аэродинамических характеристик – полей давления и скорости воздушного потока, а также гидравлического сопротивления зернового слоя для бункерных установок первого вида доведён до полного аналитического решения.

Для вывода зависимости аэродинамического сопротивления от размеров конструктивных элементов установки и расхода воздуха запишем выражение для элементарного расхода воздуха на участке центрального воздухораспределительного цилиндра :



где 

Общий расход воздуха равен сумме элементарных расходов на участке от 0 до h:



Поэтому имеем, в силу основного выражения (2.25),  где  определяется из формулы

 (1.15)

 определяется с использованием вышеприведённой методики с введением функции .

Величина абсолютной скорости воздушного потока может быть определена с помощью зависимостей:

  

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.16) |
|  | (1.17) |

Таким образом, введение функции , которая в зависимости от значения аргумента , равна либо  (при ), либо ,

(при ), позволило решить поставленную краевую задачу с разрывными условиями на одной из границ с использованием метода разделения переменных. Полученное решение оказалось достаточно хорошо сходящимся; оно даёт возможность найти в любой точке бункерной установки давление и скорость воздушного потока, а также определить общее аэродинамическое сопротивление установки.