УДК 631.3.06

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПРОГОНКИ ПРИ РАСЧЁТЕ ТРЁХМЕРНОГО ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НАХОДЯЩЕЙСЯ МЕЖДУ ДВУХ СИНХРОННО КОЛЕБЛЮЩИХСЯ РАБОЧИХ ПЛОСКОСТЕЙ ВИБРОМАШИНЫ

Лукьяненко В.М., к.т.н., доц., Никифоров А.А. ст. преп., Никифорова А.П. асп.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка

В работе представлена детальная постановка задачи расчёта трёхмерного поля относительных скоростей воздушной среды, заключённой между двумя синхронно колеблющимися плоскостями вибрационной машины. В постановке задачи использована модель движения идеального газа, описываемая с помощью уравнения Эйлера, а также уравнения неразрывности. В координатной форме данные уравнения представляются в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных. Решение данной системы дифференциальных уравнений возможно с использованием численных методов на основе устанавливаемых краевых условий, которые зависят от режима работы вибрационной машины. В качестве численного метода решения задачи в статье предлагается использовать метод прогонки, который позволяет обеспечить сходимость и устойчивость расчётных схем независимо от шага и других параметров используемой сетки.

Постановка проблемы. Задача сепарации и очистки мелкосеменных культур, например таких, как: табак, махорка, для своего решения требует применения специальных средств послеуборочной и предпосевной обработки. К таковым относятся вибрационные машины, использующие принцип разделения за счёт дифференциации среднестатистических траекторий движения семян разных категорий (сортов) и мусора относительно вибрирующей шероховатой поверхности машины. Как показывает практика, вибрационный способ очистки обеспечивает наиболее качественную очистку (сортировку) мелкосеменных культур [1, 2]. Недостатком такого рода машин является их малая производительность. Увеличение производительности за счёт увеличения количества рабочих поверхностей путём применения пакетов параллельных синхронно колеблющихся плоскостей приводит к таким нежелательным последствиям, как возникновение знакопеременного воздушного потока между колеблющимися плоскостями. Создаваемый за счёт колебаний воздушный поток оказывает существенное влияние на кинематические параметры движения мелкосеменных легковесных культур, если имеются выраженные аэродинамические свойства семян [3].

За счёт действия аэродинамических сил снижается эффект от действия сил трения, благодаря которым, собственно, и реализуется принцип очистки (сортировки). Семенная масса накапливается в районе питателя. Образующийся многослойный семенной континуум не позволяет осуществлять качественную очистку (сортировку).

Для выработки конструктивных мероприятий, позволяющих уменьшить или полностью исключить вредный фактор воздушного потока в вибрационных машинах повышенной производительности, необходимо проводить моделирование процесса движения воздуха под воздействием рабочих поверхностей вибрационной машины.

В качестве математической модели, описывающей данные процессы, целесообразно использовать уравнения динамики воздушной среды без учёта сжимаемости (в акустическом диапазоне) и вязкости среды. Для идеального газа его кинематические параметры движения могут быть вычислены с помощью дифференциального уравнения Эйлера и уравнения неразрывности при заданных краевых условиях.

Задача вычисления кинематических параметров воздуха для рассматриваемой модели является достаточно сложной и требует объёмной теоретической проработки.

Анализ последних публикаций и исследований. В настоящее время разработано большое количество расчётных схем и моделей, позволяющих рассчитывать параметры газо-воздушной (водной) среды при взаимодействии с конструктивными элементами проектируемых аппаратов (агрегатов). Главным образом применяемые расчётные подходы базируются на методе сеток; методе образующих или методе Массо [4, 5]. Перечисленные методы, обладая неоспоримыми преимуществами в простоте и универсальности, позволяют решать проблему нелинейности систем дифференциальных уравнений, с помощью которых, как правило, описываются исследуемые газодинамические (гидродинамические) процессы. Платой за это выступает неустойчивость и неудовлетворительная сходимость получаемых решений, которые зависят от способа и параметров сетки разбивки исследуемых областей.

Для случая идеального газа, когда дифференциальные уравнения приводятся к квазилинейному виду, сведя расчётную модель к краевой задаче, используемый арсенал вычислительных методов может быть дополнен методом прогонки [4].

Целью работы является обоснование использования метода прогонки при расчёте трёхмерного поля скоростей воздушной среды находящейся между двух синхронно колеблющихся рабочих плоскостей вибромашины.

Основная часть. В работе изложены результаты такой предварительной проработки задачи вычисления параметров движения воздуха: поля скоростей и давлений в объёме, заключённом между двумя колеблющимися плоскостями вибромашины. Выполнена детальная постановка краевой задачи, её запись в конечноразностной линеаризованной форме, а также выбор численного метода решения системы дифференциальных уравнений.

Постановка краевой задачи (трёхмерный случай). В статье рассматривается задача расчёта поля относительных скоростей воздушной среды, двигающейся под воздействием двух параллельных плоскостей, совершающих синхронные гармонические колебания. Кинематические параметры движения элементов воздуха могут быть рассчитаны на основании уравнения Эйлера и уравнения неразрывности для идеального газа (жидкости) [4]. В векторном виде уравнение Эйлера для идеального газа имеет вид:

$$\rho\mathbf{a} = \rho\mathbf{F} - grad\ p\,, \tag{1}$$

где: $\mathbf{a}$ – вектор ускорения движения воздушной среды; $\mathbf{F}$ – вектор ускорения от действия массовых сил (силы тяжести); p – давление воздуха в рассматриваемой точке; ρ – плотность воздуха.

Уравнение неразрывности, записанное для идеального газа, соответственно, может быть представлено как:

$$\dot{p}\frac{1}{\rho c^2} + div\mathbf{V} = 0\,, \tag{2}$$

где: $\mathbf{V}$, $\dot{p}$ – вектор скорости движения и скорость изменения давления воздушной среды в рассматриваемой точке, соответственно; c – скорость звука.

Решаемая система дифференциальных уравнений, записанная в координатной форме, имеет вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} = g_x - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}\,, \tag{3}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} = g_y - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}\,, \tag{4}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z} = g_z - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}\,, \tag{5}$$

$$\left[\frac{\partial p}{\partial t} + u\frac{\partial p}{\partial x} + v\frac{\partial p}{\partial y} + w\frac{\partial p}{\partial z}\right]\frac{1}{\rho c^2} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0\,, \tag{6}$$

где u, v, w – проекции вектора скорости движения воздушной среды, $\mathbf{V}$, на оси X, Y, Z выбранной системы координат; g_x, g_y, g_z – проекции ускорения свободного падения на оси выбранной системы координат.

В качестве системы координат, относительно которой рассчитываются параметры воздушного потока, рассматривается система, связанная с рабочими поверхностями вибрационной машины (рис. 1).

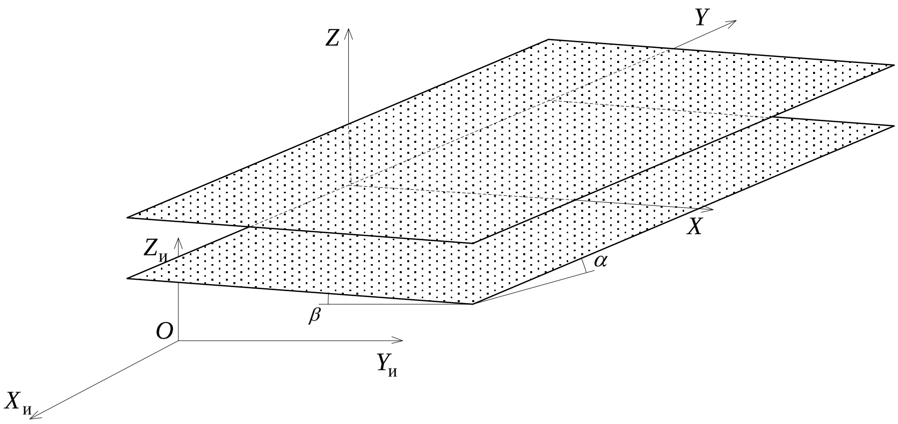

Рис. 1 – Система координат, относительно которой рассчитываются характеристики воздушного потока

Начало системы координат устанавливается в одной из тех точек, принадлежащих продольному ребру нижней рабочей поверхности. Выбирается то продольное ребро, которое примыкает к питателю вибрационной машины.

Ось проходит через установленную точку на продольном ребре нижней рабочей поверхности и совпадает с нормалью к ней. Положительным направлением оси является направление, которое противоположно действию сил гравитации. Ось перпендикулярна продольному ребру рабочей поверхности и направлена в сторону второго продольного ребра, ограничивающего рабочую поверхность по ширине. Ось совпадает с продольным ребром рабочей поверхности и направлена таким образом, чтобы образовывалась правая тройка осей координат.

Рабочие поверхности параллельны друг другу и располагаются под углом к поверхности Земли. Угол α характеризует наклон продольной оси рабочей поверхности к земной поверхности, а угол β – к поперечной оси.

Параметры поля скоростей воздуха рассчитываются для ограниченной области, Ξ, имеющей форму параллелепипеда (рис. 2).

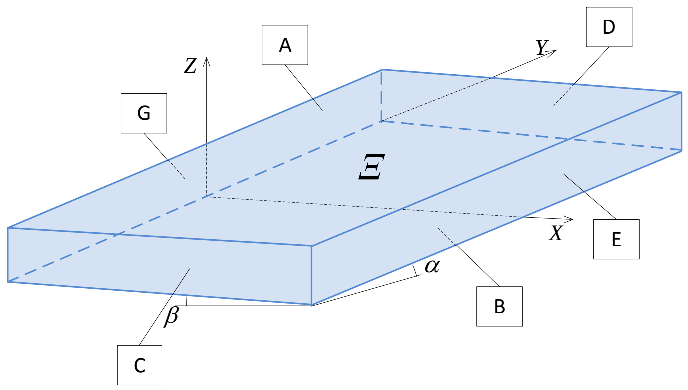

Рис. 2 – Область, внутри которой рассчитываются параметры поля скоростей воздуха

Рабочие поверхности, при работе вибрационной машины, совершают синхронные гармонические колебания (рис. 3). Относительно рабочей поверхности колебания осуществляются под наклоном, задаваемым с помощью угла наклона колебаний, ε.

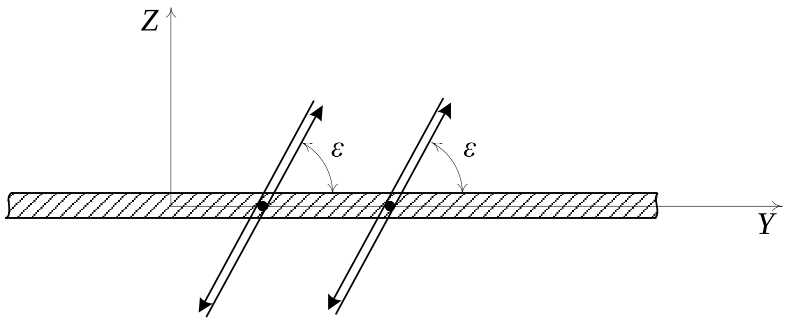

Рис. 3 – Траектории движения точек рабочей поверхности при работе вибрационной машины

Воздушная масса, находящаяся в покое относительно инерциальной системы координат, движется по отношению к системе координат рабочей поверхности. Относительное движение воздуха является симметричным или зеркальным по отношению к движению рабочей поверхности относительно инерциальной системы координат.

На основании приведенных графических схем (рис. 2, 3), можно сформулировать краевые условия для области Ξ. Для граней: C, D, E и G, следует записать:

$$\mathbf{V}(t)\Big/_{C,D,E,G} = -\mathbf{V}^{\kappa}(t)\,, \tag{7}$$

$$p\Big/_{C,D,E,G} = p^{атм}\,, \tag{8}$$

где $\mathbf{V}(t)\Big/_{C,D,E,G}$ – вектор скорости движения частиц воздуха, принадлежащих граням C, D, E и G области Ξ, относительно системы координат рабочей поверхности; $\mathbf{V}^{\kappa}(t)$ – вектор скорости колебаний точек рабочей поверхности относительно инерциальной системы координат; $p\Big/_{C,D,E,G}$ – давление воздуха по границе C, D, E и G; $p^{атм}$ – атмосферное давление.

Вдоль граней C, D, E и G воздух находится в невозмущённом состоянии, на него не действуют рабочие поверхности. Поэтому перепадов давления по отношению к давлению атмосферы здесь нет.

Граничное давление равно давлению атмосферы.

Проекции вектора скорости перемещения точек рабочей поверхности относительно инерциальной системы координат при совершении гармонических колебаний вычисляются с помощью следующих выражений:

$$V_x^{\kappa}(t) = -A\Omega\cos(\Omega t)\sin\beta\sin(\varepsilon-\alpha)\,, \tag{9}$$

$$V_y^{\kappa}(t) = -A\Omega\cos(\Omega t) \times$$
$$\times\left[tg\alpha\cos\beta\sin(\varepsilon-\alpha) - \frac{\cos\delta}{\cos\beta}\cos(\varepsilon-\alpha)\right], \tag{10}$$

$$V_z^{\kappa}(t) = A\Omega\cos(\Omega t)\cos\delta\frac{\sin\varepsilon}{\cos\alpha}, \tag{11}$$

где: A – амплитуда колебаний; Ω – частота колебаний; ε – угол наклона колебаний; α, β, δ – углы наклона рабочей поверхности.

Для граней А и В области Ξ, образованных непосредственно рабочими поверхностями, имеет место полное торможение воздуха при его контакте с поверхностью. Точнее говоря, останавливается относительное движение воздуха, а с точки зрения инерциальной системы, наоборот, ранее находившийся в покое воздух увлекается в движение колеблющейся рабочей поверхностью. Заторможенное относительное движение воздуха преобразуется в избыточный или отрицательный по отношению к атмосферному давлению перепад давления. Знак перепада давления, Δp, определяется в зависимости от направления движения рабочей поверхности по отношению к области Ξ (наружу или вовнутрь).

Таким образом, граничные условия для граней А и В примут следующий вид:

$$u(t)/_{A,B} = v(t)/_{A,B} = w(t)/_{A,B} = 0, \tag{12}$$

$$p(t)/_{A} = p^{атм} +$$
$$+\rho\frac{V_x^{\kappa}(t)^2 + V_y^{\kappa}(t)^2 + V_z^{\kappa}(t)^2}{2}\left(-sign\{V_z^{\kappa}(t)\}\right), \tag{13}$$

$$p(t)/_{B} = p^{атм} +$$
$$+\rho\frac{V_x^{\kappa}(t)^2 + V_y^{\kappa}(t)^2 + V_z^{\kappa}(t)^2}{2}sign\{V_z^{\kappa}(t)\}, \tag{14}$$

$$sign\{V_z^{\kappa}(t)\} = \begin{cases} 1, & если\ V_z^{\kappa}(t) \geq 0, \\ -1, & если\ V_z^{\kappa}(t) < 0, \end{cases} \tag{15}$$

где ρ – плотность воздуха; $V_x^{\kappa}(t), V_y^{\kappa}(t), V_z^{\kappa}(t)$ – проекции скорости колебаний, вычисляемые согласно выражениям (9) – (11).

Для численного решения системы уравнений (3) – (6) вводится сетка по осям координат X, Y, Z и по оси времени t. Сетка разбивки области Ξ на дискретные узлы имеет вид, приведенный на рис. 4. Узлы данной сетки имеют нумерацию (i, j, k, τ). Узлу с приведенным номером соответствует точка области Ξ с координатами: $x = i \cdot h$, $y = j \cdot l$, $z = k \cdot s$ и момент времени $t = \tau \cdot \Delta t$. Таким образом, сформулирована задача расчёта кинематических параметров воздушной массы, заключённой между двумя параллельными синхронно колеблющимися плоскостями. Рассматриваемая задача приведена к классу краевых задач для трёхмерного случая.

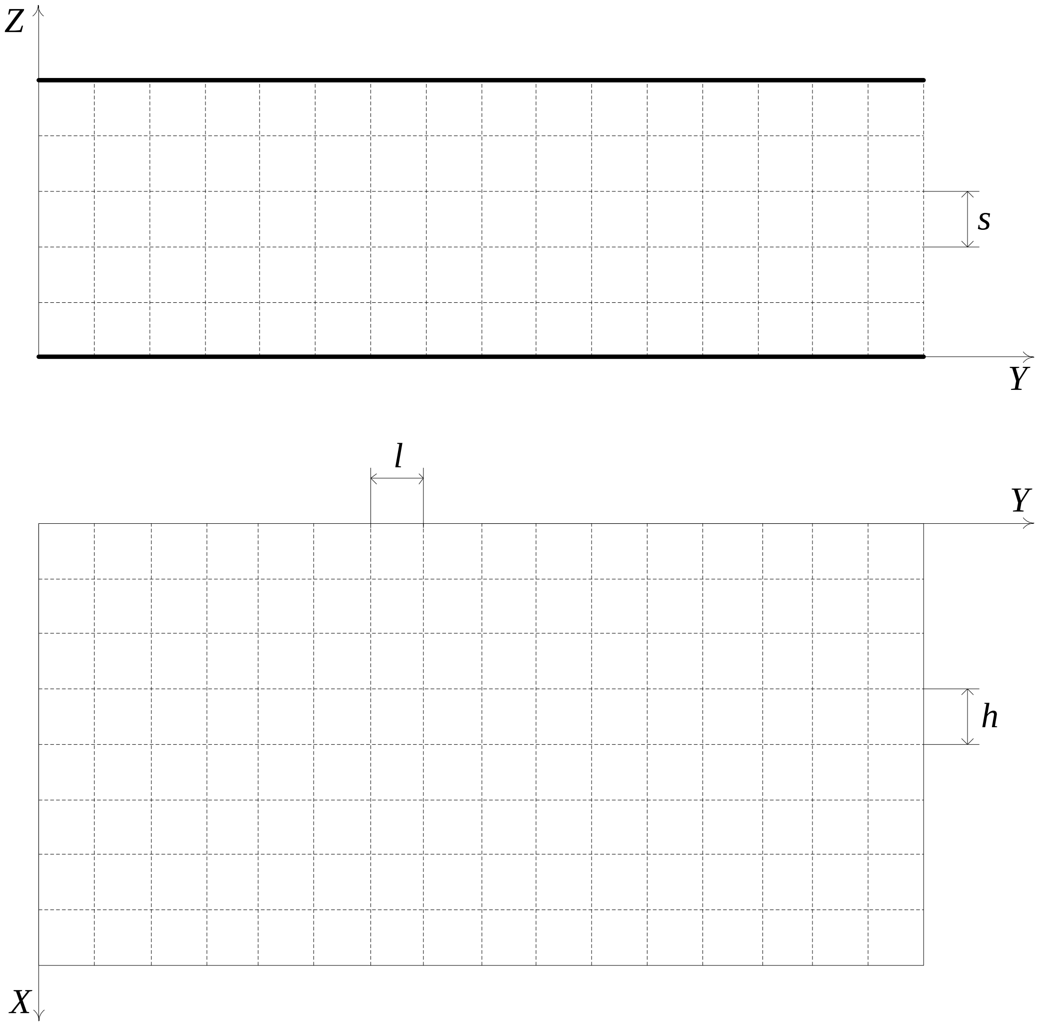

Рис. 4 – Сеточная область, используема для решения задачи

Выбор численного метода решения задачи. Численные методы решения задач гидрогазодинамики постоянно развиваются и находят своё применение во многих практических направлениях деятельности, связанных с проектированием летательных аппаратов, водных и наземных транспортных средств, различных агрегатов и устройств, при работе которых учитывается влияние окружающей воздушной (газовой) или водной среды.

Рассматриваемый метод прогонки нечувствителен к тому, каким образом формируется сетка разбивки области. При уменьшении шага разбивки всегда возрастает точность решения, которое сходится к определённому значению. Для обеспечения устойчивости решения не требуется каких-либо дополнительных мероприятий, например, использование форматов данных с увеличенным количеством разрядов.

Суть метода прогонки удобно показать путём сравнения его с другими методами, не обладающими устойчивостью и сходимостью получаемого решения по способу разбивки расчётной области, при решении одного и того же дифференциального уравнения.

Например, пусть необходимо решить линейное дифференциальное уравнение вида:

$$y'' = p(x)y + q(x), \tag{16}$$

где: $p(x), q(x)$ - непрерывные функции, $p(x) > 0$. С установленными граничными условиями следующего вида:

$$y'(a) = \alpha_0 y(a) + \alpha_1, \tag{17}$$

$$y'(b) = \beta_0 y(b) + \beta_1. \tag{18}$$

Из граничного условия (17) можно записать:

$$y(a) = \alpha;\ y'(a) = \alpha_0\alpha + \alpha_1. \tag{19}$$

Метод решения (16) – (18) обычным методом.

Отыскивается решение (16), (19) – $y_1(x)$, путём решения задачи Коши.

Общее решение уравнения (16) можно записать как:

$$y(x) = C_1 z_1(x) + C_2 z_2(x) + y_1(x), \tag{20}$$

где: $z_1(x),\ z_2(x)$ - линейно независимые решения уравнения:

$$z''(x) = p(x)z(x). \tag{21}$$

Так как для искомого решения $y(x)$ должно выполняться граничное условие (17), то тогда:

$$C_1 z_1'(a) + C_2 z_2'(a) + y_1'(a) = C_1\alpha_0 z_1(a) + C_2\alpha_0 z_2(a) + \alpha_0 y_1(a) + \alpha_1, \tag{22}$$

Или

$$C_1 z_1'(a) + C_2 z_2'(a) = \alpha_0\left[C_1 z_1(a) + C_2 z_2(a)\right]. \tag{23}$$

Таким образом, необходимо искать все решения (21), удовлетворяющие условию:

$$z'(a) = \alpha_0 z(a)\,. \tag{24}$$

Совокупность таких решений образует однопараметрическое семейство. Чтобы получить его, достаточно задать $z(a) = \gamma \neq 0$ и найти решение $\bar{z}(x)$ уравнения (21), удовлетворяющее условиям:

$$\bar{z}(a) = \gamma;\ \bar{z}'(a) = \alpha_0 \gamma\,. \tag{25}$$

При этом:

$$y(x) = y_1(x) + C\bar{z}(x)\,, \tag{26}$$

где: C подбирается так, что для $y(x)$ выполняется граничное условие (18).

Теоретически изложенный метод идеален по своей простоте. Но, однако, его использование может привести к большим вычислительным погрешностям. Как показывает функциональный анализ решения $\bar{z}(x)$ уравнения (21), величина $\bar{z}(x)$ возрастает по абсолютной величине при увеличении x и может достигать весьма больших значений при $x = b$. Отсюда, для получения $y(x)$ с допустимой точностью необходимо для $y_1(x)$ и $\bar{z}(x)$ использовать большое количество разрядов. Это накладывает некоторые ограничения при разработке расчётных алгоритмов, использующих такой подход.

Метод прогонки позволяет избегать данных трудностей. Суть метода состоит в следующем.

На основании (26) можно утверждать, что совокупность решений дифференциального уравнения (16), удовлетворяющих граничному условию (17), есть семейство, зависящее от одного параметра. Следует разыскивать линейное дифференциальное уравнение первого порядка вида:

$$y'(x) = \alpha_0 y(x) + \alpha_1(x) \tag{27}$$

такое, что каждое решение (11), принадлежит к числу решений (27). Естественно, при $x = a$ должно выполняться условие (17), и поэтому:

$$\alpha_0(a) = \alpha_0\,,\ \alpha_1(a) = \alpha_1\,. \tag{28}$$

Так как (26) должно удовлетворять (27), то:

$$y_1' + C\bar{z}' \equiv \alpha_0(x) y_1 + C\alpha_0(x)\bar{z} + \alpha_1(x)\,. \tag{29}$$

Это тождество, выполняющееся при любом значении C. Поэтому:

$$\bar{z}' = \alpha_0(x)\bar{z}; \quad y_1' = \alpha_0(x)y_1 + \alpha_1(x). \tag{30}$$

Дифференцируя первое из этих равенств и используя (21), может быть получено:

$$\bar{z}'' = p(x)\bar{z} = \alpha_0'(x)\bar{z} + \alpha_0(x)\bar{z}' = \left[\alpha_0'(x) + \alpha_0^2(x)\right]\bar{z}\ , \tag{31}$$

или

$$\alpha_0'(x) + \alpha_0^2(x) = p(x). \tag{32}$$

Точно так же, дифференцируя второе из равенств (30) и используя (16), может быть получено:

$$\alpha_1'(x) + \alpha_0(x)\alpha_1(x) = q(x). \tag{33}$$

Таким образом, задача свелась к отысканию функций $\alpha_0(x)$ и $\alpha_1(x)$, удовлетворяющих системе дифференциальных уравнений:

$$\left.\begin{aligned} \alpha_0'(x) + \alpha_0^2(x) = p(x), \\ \alpha_1'(x) + \alpha_0(x)\alpha_1(x) = q(x) \end{aligned}\right\} \tag{34}$$

и начальным данным (18). Сначала интегрируется первое уравнение из системы уравнений (34), а затем второе. Найдя $\alpha_0(x)$ и $\alpha_1(x)$, можем получить:

$$y'(b) = \alpha_0(b)y(b) + \alpha_1(b). \tag{35}$$

Этим самым совершена прямая прогонка, когда граничное условие (17) перегнано с левого конца на правый.

Полученная система уравнений:

$$\left.\begin{aligned} \alpha_0(b)y(b) + \alpha_1(b) = y'(b)\ , \\ \beta_0 y(b) + \beta_1 = y'(b) \end{aligned}\right\} \tag{36}$$

используется для определения $y(b)$ и $y'(b)$. Уравнения (36) могут совпадать, и тогда краевая задача имеет бесчисленное множество решений, представленных формулой (26). Если уравнения (36) несовместны – тогда краевая задача не имеет решения. Если же (36) имеет единственное решение, то на правом конце получены данные Коши для уравнения (16). Однако, лучше использовать не (16), а (27), находя его решение на отрезке $[a, b]$. Этот процесс называется обратной прогонкой.

Исследование характера изменения решений уравнений системы (34) (прямая прогонка) и системы (36) (обратная прогонка) показывает, что они, при продвижении от исходного к финишному краю области, будут претерпевать незначительные изменения [16]. То есть, метод прогонки обеспечивает устойчивость и сходимость решения.

Приведенный пример, иллюстрирующий преимущества метода прогонки, рассматривает одномерный случай, когда исследуемая область измеряется только абсциссой x. Для двух и трёхмерного случая вид уравнений (30), а значит и систем (34), (36) будет более сложным. Это вносит некоторую трудность для использования метода прогонки при решении уравнений газодинамики, где рассматривается система дифференциальных уравнений в частных производных относительно трёх осей декартовой системы координат.

Заключение

1. В статье приведена детальная постановка краевой задачи расчёта поля скоростей и давлений для объёма воздуха, находящегося под воздействием двух параллельных синхронно колеблющихся плоскостей вибрационной машины.
2. В качестве математической модели, описывающей процесс движения воздушной массы, используется уравнение Эйлера и уравнение неразрывности, применимые в случае идеального газа.
3. Проведена сравнительная оценка численных методов, с помощью которых может быть решена сформулированная краевая задача. На основании сравнительного анализа наиболее приемлемым методом представляется метод прогонки, который обладает лучшей сходимостью и устойчивостью при решении краевых задач.
4. Метод прогонки в отличие от широко применяемых метода сеток и метода образующих (Массо) позволяет получать устойчивое решение вне зависимости от способа разбивки исследуемой области. Это, несмотря на кажущуюся сложность метода в аналитическом отношении, обеспечивает его универсальность при ведении расчётов в различных технических областях, связанных с аэродинамическими (гидродинамическими) процессами.
5. Известные авторам постановки краевых задач, решаемых методом прогонки, распространены только на одномерный и двумерный случаи. Трёхмерный случай потребует усложнения расчётных формул.

Список использованных источников

1. Анискин В.И. О повышении качества семян способами послеуборочной и предпосевной обработки / В.И. Анискин // Подготовка семян при интенсивном зернопроизводстве: Сб. науч. тр. ВИМ.– 1987.– Т.112.– с.3 – 20.
2. Анискин В.И. Основные проблемы послеуборочной обработки и хранения зерна в хозяйствах / В.И. Анискин – Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983, № 12, с.15 – 18.
3. Козаченко А.В. Обоснование параметров техно-логического процесса очистки и сортирования семян та-бака и махорки на вибрационной семеочистительной машине / А.В. Козаченко // Диссертация на соискание уч. ст. канд. техн. наук – Харьков, институт механизации и электрификации сельского хозяйства – 1987. – 210 с.
4. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. Т. 2. – М.: Гос. изд. физ. мат. лит., 1959. – 620 с.
5. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные методы решения задач газовой динамики: Учеб. пособие: Для вузов – 3-е изд., доп. – М.: Наука. Гл. ред.

физ. мат. лит., 1992. – 424 с.
6. Гольдин А.В. О влиянии воздушной среды на процесс вибрационного перемещения сыпучего материала. В кн. Динамика, прочность и надёжность тракторов и сельскохозяйственных машин. Сб. н. трудов МИИСП. – М., 1976. – С. 78 – 83.

Анотація

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДА ПРОГОНКИ ПРИ РОЗРАХУНКУ ТРИВИМІРНОГО ПОЛЯ ШВИДКОСТЕЙ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА, ЩО ЗНАХОДЯТЬСЯ МІЖ ДВОХ СИНХРОННО КОЛИВАЛЬНИХ РОБОЧИХ ПЛОЩИН ВІБРОМАШИНИ

Лук'яненко В.М., Никифоров А.О., Никифорова А.П.

У роботі представлена детальна постановка задачі розрахунку тривимірного поля відносних швидкостей повітряного середовища, між двома синхронно коливальними площинами вібраційної машини. У постановці завдання використана модель руху ідеального газу, що описується за допомогою рівняння Ейлера, а також рівняння нерозривності. У координатній формі дані рівняння представляються у вигляді системи диференціальних рівнянь в приватних похідних. Рішення даної системи диференціальних рівнянь можливе з використанням чисельних методів на основі встановлюваних крайових умов, які залежать від режиму роботи вібраційної машини. Як чисельного методу розв'язання задачі в статті пропонується використовувати метода прогонки, який дозволяє забезпечити збіжність і стійкість розрахункових схем незалежно від кроку і інших параметрів використовуваної сітки.

Abstract

USING THE RUNNING METHOD FOR CALCULATING THE THREE-DIMENSIONAL FIELD OF AIR-RATE SPEEDS BETWEEN TWO SYNCHRONOUS VIBRATING VIBROMASHIN

V. Lukynenko, A. Nikiforov, A. Nkiforova

The article presents a detailed formulation of the problem of calculating the three-dimensional field of relative velocities of the air environment, concluded between two synchronously oscillating planes of a vibration machine. In the formulation of the problem, a model of motion of an ideal gas is used, which is described using the Euler equation, as well as the continuity equation. In coordinate form, these equations are represented as a system of partial differential equations. The solution of this system of differential equations is possible using numerical methods on the basis of established boundary conditions, which depend on the mode of operation of the vibration machine. As a numerical method for solving the problem, the article proposes to use the sweep method, which allows to ensure the convergence and stability of the computational schemes, regardless of the step and other parameters of the grid used.