

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ АППАРАТЕ С РАДИАЛЬНОЙ ЛОПАСТНОЙ МЕШАЛКОЙ

Н.А. Чернецкая, С.А. Кантор, Ю.А. Шапошников

Рассмотрены вопросы динамики процесса перемешивания туков с водой в горизонтальном аппарате с радиальной лопастной мешалкой с целью определения условий ресурсосберегающего процесса, обеспечивающего минимальные затраты энергии и времени при сохранении высокого качества питательной смеси жидких минеральных удобрений. Определен характер влияния факторов на скорость и ускорение движения частицы по поверхности лопасти и выбран наилучший режим работы аппарата.

Ключевые слова: ресурсосберегающий процесс, горизонтальный аппарат, радиальная лопастная мешалка, режим работы, жидкие минеральные удобрения.

Постановка проблемы, цель и задачи исследования

В тепличном растениеводстве для достижения высоких урожаев применяют смеси жидких минеральных удобрений. Базовую высококонцентрированную смесь туков и воды приготавливают в смесителе с механической мешалкой. Механизированное приготовление смесей повышает себестоимость тепличной продукции. Необходимо найти условия ресурсосберегающего процесса, обеспечивающего минимальные затраты энергии и времени при сохранении высокого качества питательной смеси. С этой целью рассмотрена динамика процесса перемешивания туков с водой в горизонтальном аппарате с радиальной лопастной мешалкой. Задача сводится к исследованию характеристик движения частицы туков по поверхности лопасти, т.е. следует определить скорость и ускорение, выявить влияющие факторы, а также выбрать наилучший режим работы аппарата.

Описание объекта исследования, условия и методы исследования

Горизонтальный аппарат с механической мешалкой обеспечивает полное и равномерное перемешивание без образования мертвых зон в емкости. Конструкция аппарата проста по устройству, обладает малой металло- и энергоемкостью, удобна в эксплуатации и обслуживании [1]. Мешалка состоит из горизонтального вала с лопастями, установленными по винтовой линии под углом φ к плоскости вращения; длина лопасти составляет не менее 90% радиуса основания емкости U-образного поперечного сечения; ширина лопасти равна диаметру вала мешалки;

лопасти равномерно распределяются по длине вала.

При вращении мешалки каждая из лопастей перемещается в некотором объеме, равном диаметру смесительной емкости и ширине лопасти. Частицы туков находятся в контакте с поверхностью лопасти, а именно, перемещаются по определенной траектории, затем сходят, увлекаются потоком жидкости, попадают на другую лопасть, перемещаются по ее поверхности, сходят и продолжают такое перемещение по лопастям до полного растворения растворимой части туков [2].

Схема относительного движения частицы по поверхности плоской лопасти при вращении мешалки представлена на рисунке 1. Неподвижная (абсолютная) система координат $K_0(O, \xi, \eta, \zeta)$ связана с осью вращения лопастного вала, а подвижная система координат $K_1(O, x, y, z)$ связана с лопастью и вращается вместе с ней. Движение центра масс M частицы является относительным в системе K_1 , переносным вместе с лопастью, абсолютным по отношению к системе K_0 . Положение точки M относительно подвижной системы отсчета определяется радиус-вектором \vec{r}_1 , проведенным в точку M из начала этой системы O , или тремя координатами x, y, z в этой системе:

$$\vec{r}_1 = \vec{i}x + \vec{j}y + \vec{k}z.$$

Начало отсчета времени t соответствует моменту встречи частицы с лопастью в начальной точке соединения лопасти и вала.

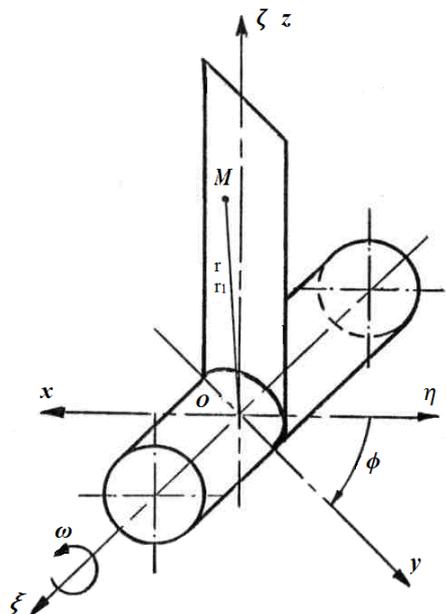


Рисунок 1 - Схема относительного движения частицы по поверхности плоской лопасти при вращении мешалки

На частицу находящуюся, на вращающейся лопасти действуют следующие силы: P - вес частицы; N - реакция поверхности лопасти; F_T - сила трения частицы по поверхности лопасти; Φ_K - сила инерции Кориолиса; Φ_H - относительная сила инерции. Начальные условия на координаты:

$$\begin{cases} x = x_0, -R \leq x_0 \leq R; \\ y = 0; \\ z = R \sqrt{1 - \frac{x_0^2}{R^2}} \end{cases}, \quad (1)$$

где R - радиус вала; R_1 - длина большей полуоси эллипса.

Начальные условия на скорость V точки M в подвижной системе координат:

$$\begin{cases} V_{x_0} = \omega \cos \varphi z_0 = \dot{x}_0; \\ V_{y_0} = \omega \sin \varphi z_0 = \dot{y}_0; \\ V_{z_0} = -\omega \cos \varphi x_0 - \omega \sin \varphi y_0 = \dot{z}_0 \end{cases} \quad (2)$$

С учетом уравнений проекций сил на координатные оси подвижной системы, начальных условий и текущих преобразований, уравнения движения точки имеют вид:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -f|N| \times \\ \times \frac{\dot{x} + \omega \cos \varphi z}{\sqrt{(\dot{x} + \omega \cos \varphi z)^2 + (\dot{z} - \omega \cos \varphi x)^2}} + \\ + m \omega^2 \cos^2 \varphi x - 2m \omega \cos \varphi \dot{z} \\ |N| = -m \omega^2 \sin \varphi \cos \varphi x + 2m \omega \sin \varphi \dot{z} \\ m\ddot{z} = -mg - f|N| \times \\ \times \frac{\dot{z} - \omega \cos \varphi x}{\sqrt{(\dot{x} + \omega \cos \varphi z)^2 + (\dot{z} - \omega \cos \varphi x)^2}} + \\ + m \omega^2 z + 2m \omega \cos \varphi \dot{x} \end{cases} \quad (3)$$

Задача Коши (1) - (3) решалась методом Фельберга 4(5) с использованием системы MATLAB. В результате получили координаты $x(t)$ и $z(t)$ положения частицы на лопасти, проекции скорости частицы $dx(t)/dt$ и $dz(t)/dt$, проекции ускорения $d^2x(t)/dt^2$ и $d^2z(t)/dt^2$ на координатные оси, абсолютную скорость $V(t)$ и абсолютное ускорение $A(t)$ частицы при различных значениях угловой скорости ω вала и угла φ наклона лопасти к плоскости вращения. Расчеты производили для значений угловой скорости вала, изменяющихся от $\omega = 6$ рад/с до $\omega = 10$ рад/с, что соответствует граничным значениям интервала рабочего режима аппарата. Значение величины угла φ изменяли от 10° до 90° [3].

Результаты исследования и их обсуждение

По мере вращения вала, частица совершает вращательное движение вместе с лопастью и удаляется от центра, сходя с лопасти в некоторый момент времени t .

Результаты расчета представили в виде графиков зависимостей абсолютной скорости (рис. 2) и абсолютного ускорения (рис. 3) частицы от угла φ и угловой скорости ω лопастного вала.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ АППАРАТЕ С РАДИАЛЬНОЙ ЛОПАСТНОЙ МЕШАЛКОЙ

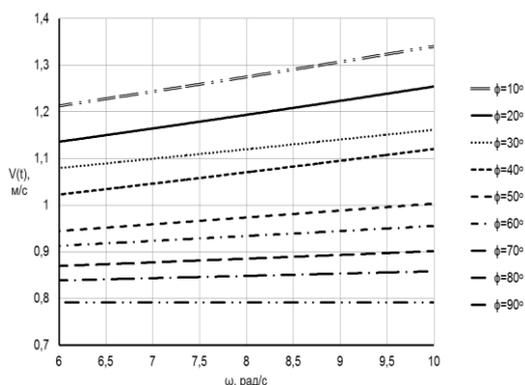


Рисунок 2 - Зависимость скорости частицы от угла φ и угловой скорости ω

Из графика на рисунке 2 следует, что скорость $V(t)$ движения частицы увеличивается с увеличением угловой скорости ω вала и уменьшением величины угла φ наклона лопасти к плоскости вращения. При $\varphi = 10^\circ$ наблюдается наиболее высокая скорость частицы. Чем больше увеличивается угол φ наклона лопасти к плоскости вращения вала, тем ниже темп увеличения скорости и при $\varphi = 90^\circ$ скорость движения частицы остается наименьшей и постоянной для любых угловых скоростей ω из интервала рабочего режима аппарата.

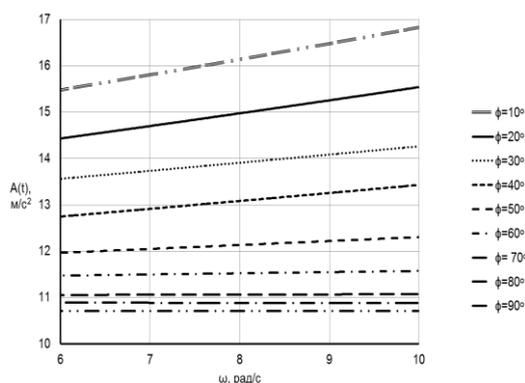


Рис. 3. Зависимость ускорения частицы от угла φ и угловой скорости ω

Абсолютное ускорение $A(t)$ частицы имеет такой же характер влияния угловой скорости ω и угла φ , что показывает график на рисунке 3. Однако величина ускорения остается постоянной при любых значениях угловой скорости ω вала уже при $\varphi = 70^\circ$.

Следовательно, с наибольшей скоростью $V(t) = 1,37 \text{ м/с}$ и ускорением $A(t) = 16,95 \text{ м/с}^2$ частица будет перемещаться по поверхности лопасти при $\omega = 10 \text{ рад/с}$ и $\varphi = 10^\circ$. Процесс приготовления смеси туков с водой в таком режиме работы будет осуществляться с меньшими затратами энергии и времени. Снижение расхода ресурсов происходит за счет того что частицы туков наиболее быстро перемещаются по лопастям, при этом активно взаимодействуют с водой, растворяются, а нерастворимая часть равномерно распределяется по всему объему смеси. Каждая дозированная в поливную воду порция полученной смеси будет иметь одинаковую концентрацию питательных веществ, что соответствует агротехническим требованиям и способствует получению высоких урожаев возделываемых тепличных культур.

Выводы

1. Характер влияния факторов на взаимодействие частицы и лопасти заключается в том, что значения абсолютной скорости $V(t)$ и абсолютное ускорение $A(t)$ движения частицы по лопасти прямо пропорциональны изменению угловой скорости ω вращения лопастного вала и обратно пропорциональны изменению угла φ наклона лопасти к плоскости вращения.

2. В процессе приготовления смеси частицы туков равномерно распределяются по всему объему смеси, не выходят из зоны активного перемешивания с водой и растворяются без образования мертвых зон в емкости. Это сокращает затраты энергии и времени на приготовление смеси жидких минеральных удобрений.

3. Условиям ресурсосберегающего процесса, обеспечивающего минимальные затраты энергии и времени при сохранении высокого качества питательной смеси соответствует режим работы аппарата с угловой скоростью вращения лопастного вала $\omega = 10 \text{ рад/с}$ и углом наклона лопасти к плоскости вращения $\varphi = 10^\circ$ при котором частица перемещается по поверхности лопасти со скоростью $V(t) = 1,37 \text{ м/с}$ и ускорением $A(t) = 16,95 \text{ м/с}^2$. Приготовленная смесь жидких минеральных удобрений будет иметь равномерное распределение всех питатель-

ных веществ в соответствии с агротехническими требованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернецкая Н.А. К вопросу анализа аппаратов с механическими перемешивающими устройствами. Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы всероссийской научно-технической конференции 27 – 28 апреля 2006 г. Часть I /Рубцовск, Рубцовский индустриальный институт. – 2006. – С. 113 – 114.

2. Чернецкая Н.А., Шапошников Ю.А. Выбор ресурсосберегающего режима приготовления раствора минеральных удобрений по результатам исследования динамической модели взаимодействия частицы и лопасти. Materiały VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami - 2011» Volume 47. Rolnictwo.: Przemysł. Nauka i studia – str 3 - 7.

3.

Чернецкая Н.А., Фокеев А.К. Исследование движения частицы в аппарате с механической мешалкой. Известия ТулГУ. Сер. Проблемы сельскохозяйственного машиностроения. Вып. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. – С. 25 – 31.

Чернецкая Н.А., к.т.н., доцент,
e-mail: Hatajib9_a@mail.ru;
Рубцовский индустриальный институт
(филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова,
Кантор С.А., к.ф.-м.н., профессор,
Шапошников Ю.А., д.т.н., профессор,
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»