

В. Г. МОХНАТКИН, П. Н. СОЛОНЩИКОВ, А. С. ФИЛИНКОВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В РАБОЧЕМ КОЛЕСЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЖИДКИХ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ

**Ключевые слова:** скорость, траектория, рабочее колесо, частица, частота вращения.

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено движение частицы в рабочем колесе установки для приготовления жидких кормовых смесей. Определены абсолютные скорости движения частицы, и построена траектория ее движения.

Материал, прошедший по питающему устройству, перемещается по винтовому каналу в окно на покрывном диске, где попадает на первую ступень рабочего колеса. Затем он взаимодействует со второй ступенью и с неподвижными лопатками. Поэтому необходимо рассмотреть модель движения частицы в поле центробежных сил и за пределами ее действия.

Составим схему (рис.1) сил, действующих на частицу материала, движущуюся в рабочем колесе [1, с. 233].

Составим сумму проекций всех внешних сил, которые действуют на частицу (материал), в векторной форме:

$$m\vec{w} = m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{\Phi}_e + \vec{\Phi}_c + \vec{R}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса частицы, кг;  $\vec{w}$  – ускорение частицы;  $m\vec{g}$  – сила тяжести,

Н;  $\vec{R}$  – сила сопротивления частицы Н;  $\vec{F}_A$  – сила Архимеда, Н.

$$|\vec{F}_A| = \rho g V, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – объём тела, м<sup>3</sup>;  $\vec{\Phi}_e$  – переносная сила инерции, Н.

$$\Phi_e = m\omega^2 x, \quad (3)$$

где  $\vec{\Phi}_c$  – Кориолисова сила инерции, Н:

$$|\vec{\Phi}_c| = |-2m\vec{\omega} \times \vec{v}_r|. \quad (4)$$

Кориолисова сила инерции запишется как

$$\Phi_{cy} = -2m\omega \dot{x}, \quad (5)$$

где  $\dot{x}$  – скорость частицы, м/с;

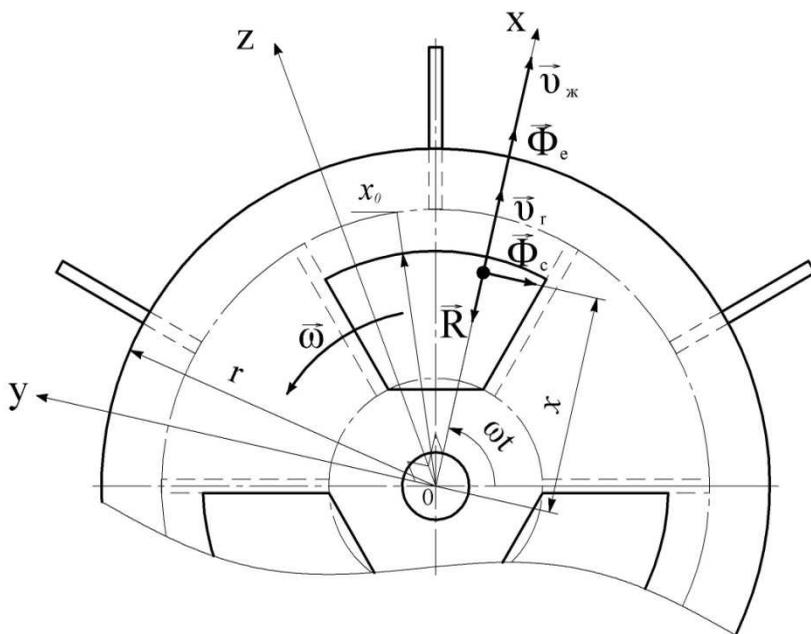


Рисунок 1 – Схема внешних сил, действующих на частицу в рабочем колесе установки

Так как рабочее колесо выполнено с покрывающим диском, то сила тяжести  $m\vec{g}$  и сила Архимеда  $\vec{F}_A$  будут незначительны, поэтому при расчетах можно принять их равными  $m\vec{g} = \vec{F}_A = 0$ .

Приняв допущение, что частица материала находится в произвольной точке на рабочем колесе, движение частицы происходит без взаимодействия с водой. Учитываем, что сила сопротивления  $\vec{R}$

направлена противоположно радиальной скорости частицы  $\vec{v}_r$ .

В проекциях на оси координат сила сопротивления будет равна следующей системе уравнений:

$$\begin{cases} R_x = -mk \cdot (\dot{x} - v_{жс}) \\ R_y = -mk\dot{y} \end{cases}, \quad (6)$$

где  $v_{жс}$  – скорость жидкости в межлопастном канале, м/с;

$k$  – коэффициент кинематической вязкости,  $c^{-1}$ .

Скорость движения жидкости  $v_{жс}$  в межлопастном канале определится по формуле:

$$v_{жс} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot x \cdot h}, \quad (7)$$

где  $Q$  – подача устройства,  $m^3/c$ ;  $2\pi x$  – длина окружности, на которой находится частица, м.;  $h$  – глубина канала или высота лопатки, м.;  $2\pi x h$  – площадь сечения выходных каналов,  $m^2$ ;  $x$  – текущее положение частицы относительно центра вращения, м.

В проекциях на декартовы оси координат  $x$  и  $y$  получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -mk \cdot (\dot{x} - v_{жс}) + m\omega^2 x \\ m\ddot{y} = -mk\dot{y} - 2m\omega\dot{x} \end{cases}. \quad (8)$$

Преобразуя систему уравнений (2.67) получим следующее:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k \cdot (\dot{x} - v_{жс}) + \omega^2 x \\ \ddot{y} = -k\dot{y} - 2\omega\dot{x} \end{cases}. \quad (9)$$

После несложных преобразований получим:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k\dot{x} + kv_{жс} + \omega^2 x \\ \ddot{y} = -k\dot{y} - 2\omega\dot{x} \end{cases}. \quad (10)$$

Подставляя в уравнение (10) скорость движения жидкости  $v_{жс}$ , определяемую по формуле (7), делаем допущение, что  $\dot{x} \gg \dot{y}$ , то есть движение чисто радиальное, и значение Кориолисовой силы  $\Phi_c$  незначительно, тогда частица будет двигаться по траектории:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k\dot{x} + \frac{kQ}{2\pi x h} + \omega^2 x \\ \ddot{y} = -k\dot{y} - 2\omega\dot{x} \end{cases}. \quad (11)$$

Решая систему дифференциальных уравнений (11), получим траекторию движения частицы в подвижной системе, вращающейся

вокруг неподвижного центра  $O$  до взаимодействия с неподвижными лопатками. Расчет траектории проводили численно на персональном компьютере с помощью программы «MathCad V15». Изучение влияния различных параметров на процесс движения частицы проводили по данной программе, которая позволяет не применять трудоемкий процесс программирования.

Дополняя полученную систему дифференциальных уравнений (11) начальными условиями, получим следующее:

$$\begin{cases} x(0) = x_0; & y(0) = y_0; \\ \dot{x}(0) = \dot{x}_0; & \dot{y}(0) = \dot{y}_0. \end{cases} \quad (12)$$

Задаваясь начальными значениями координат, получим следующее значение скоростей по осям  $x$  и  $y$  в зависимости от начального положения  $x_0$  (рис.2, 3).

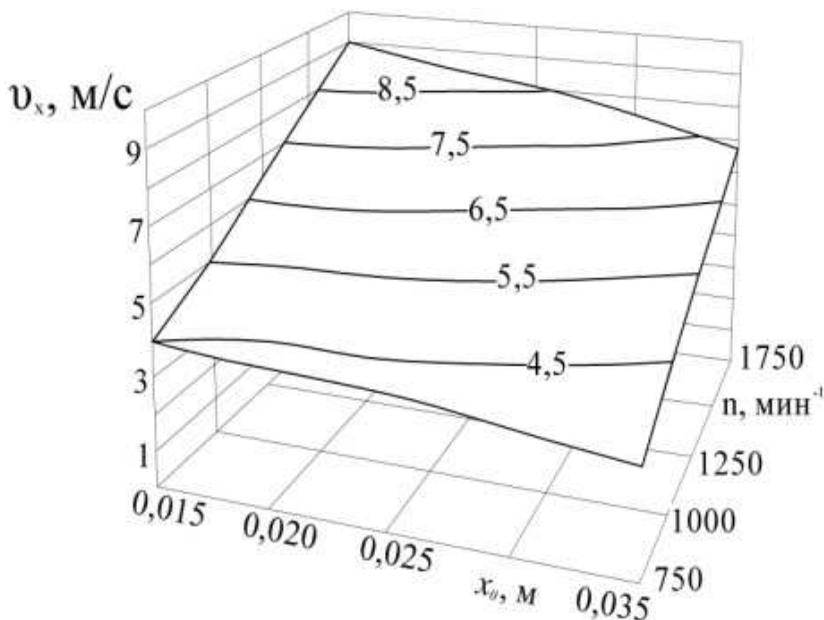


Рисунок 2 – График изменения абсолютной скорости частицы от частоты вращения вала рабочего колеса  $n$  и начального положения частицы  $x_0$  в окне на покрывающем диске по оси  $x$

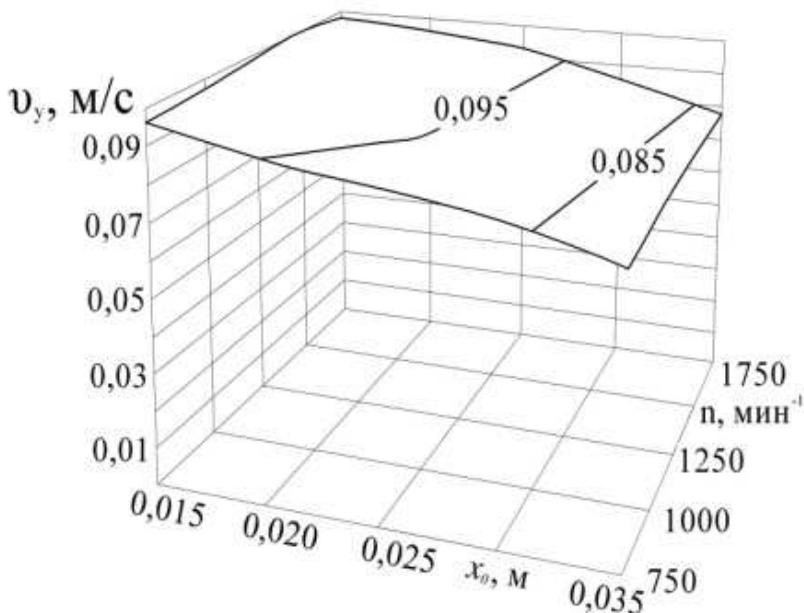


Рисунок 2 – График изменения абсолютной скорости частицы от частоты вращения вала рабочего колеса  $n$  и начального положения частицы  $x_0$  в окне на покрывающем диске по оси  $y$

Начальное положение  $x_0$  характеризует начальную координату частицы в окне на покрывающем диске. Как видно из рисунков 2–3, скорость частицы будет увеличиваться, если она будет ближе к центру вращения при увеличении частоты вращения рабочего колеса  $n$ .

Как видно из приведенных графиков, скорости по осям  $x$  и  $y$  увеличиваются при увеличении частоты вращения рабочего колеса. Если увеличивать начальное значение положение  $x_0$ , то абсолютные скорости снижаются. Скорость  $v_x$  будет иметь большее значение, то есть предположение, что движение радиальное подтверждается, а скорость  $v_y$  в 100 раз меньше. Частица при различной частоте вращения рабочего колеса  $n$  и начальном положении  $x_0$  будет двигаться по прямой, поэтому можно сказать, что абсолютная скорость частицы  $v \approx v_x$ .

Изменение скорости в начальный и конечный момент времени представим при частотах вращения вала рабочего колеса  $n = 750; 1000; 1250; 1500$  и  $1750 \text{ мин}^{-1}$ , и при начальном положении частицы  $x_0$  от  $0,015$  до  $0,035$  м (рис 3).

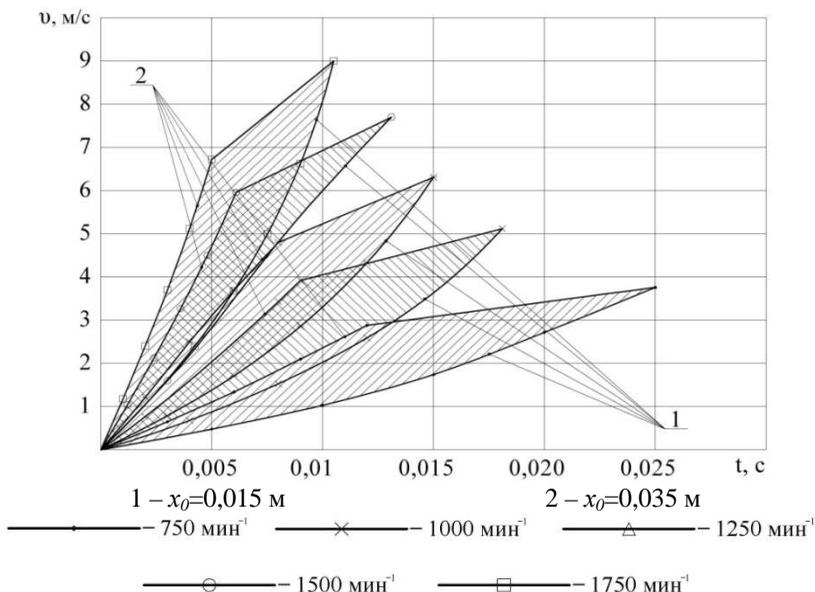


Рисунок 3 – График изменения скорости частицы от частоты вращения вала рабочего колеса  $n$  и начального положения частицы  $x_0$  в окне на покрывающем диске

Как видно из полученных графиков, скорость частицы будет иметь большее значение при положении частицы  $x_0 = 0,015$  м, но за более долгое время  $t$ , чем при  $x_0 = 0,035$  м.

Движение (траектория) частицы будет описываться следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases} \quad (13)$$

Траекторию движения частицы (рис 4) построим в границах 750 и 1750  $\text{мин}^{-1}$ . Так как из предыдущего графика (рис.3) значения изменяются прямо пропорционально, соответственно остальные частоты вращения будут находиться в границе заданного диапазона.

Как видно из рисунка 4, частица будет смещаться по оси  $x$  на очень большое значение, поэтому движение происходит практически радиально, так как перемещение по оси  $y$  меньше в 150 раз. При частоте

вращения  $n=750 \text{ мин}^{-1}$  частица будет больше смещаться к лопатке рабочего колеса. Можно сказать, что при малой частоте вращения рабочего колеса частица будет прижиматься к лопатке и только через некоторый промежуток времени выйдет на периферию.

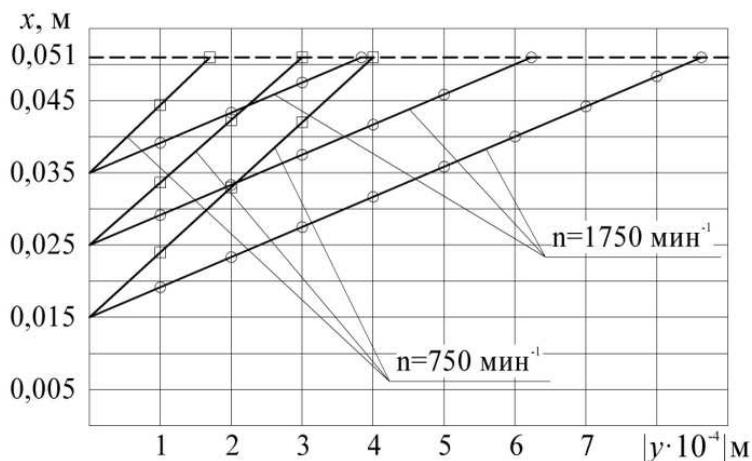


Рисунок 4 – Расчётная траектория движения частицы

Зная конечное время  $t$ , за которое частица закончит движение, то есть достигнет края рабочего колеса перед зоной с неподвижными лопатками, можно определить угол  $\varphi$ , на который повернется колесо по формуле  $\varphi = \omega t$ .

Построим траекторию движения частицы в зависимости от угла поворота  $\varphi$  (рис. 5).

По рисунку 5 видно, что независимо от величины частоты вращения рабочего колеса частица будет двигаться по одной траектории в зависимости от угла поворота  $\varphi$ . В свою очередь, когда частица достигает края рабочего колеса при начальном положении  $x_0 = 0,015 \text{ м}$ , угол поворота составит  $\varphi = 62...64^\circ$ , что соответствует тому, что второй ряд лопаток будет намного быстрее уносить частицу на периферию, и, соответственно, при  $x_0 = 0,035 \text{ м}$  угол поворота составит  $\varphi = 40...42^\circ$ . Увеличение начального положения  $x_0$  приведет к тому, что частица не будет активно взаимодействовать со вторым рядом лопаток. Поэтому будет преобладать относительное движение, которое будет эвакуировать частицу из рабочей камеры.

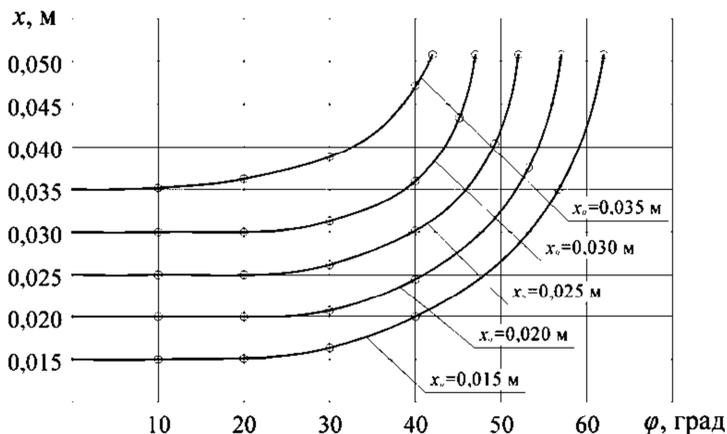


Рисунок 5 – График изменения траектории движения частицы в зависимости от угла поворота  $\varphi$

При этом определяем максимальный размер окна на покрывающем диске рабочего колеса, позволяющий равномерно подавать материал, при этом радиус от центра вращения должен быть равен  $x_0 = 0,035$  м.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мохнаткин В. Г., Филинков А. С., Алёшкин А. В., Солонщиков П. Н. Анализ движения материала в рабочем колесе устройства для приготовления смесей // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания. Материалы VI Международной научно – практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение»: Сборник научных трудов. Киров: Вятская ГСХА, 2013. Вып. 11. С. 233–237.

## STUDY OF PARTICLE MOTION IN THE IMPELLER INSTALLATION FOR THE PREPARATION OF LIQUID FEED MIXTURES

*Keywords:* particle, impeller, trajectory, speed, speed.

*Annotation.* This paper considers the motion of a particle in the impeller installation for the preparation of liquid feed mixtures. The absolute velocity of the particles, and built its motion trajectory.

---

**МОХНАТКИН ВИКТОР ГЕРМАНОВИЧ** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологического и энергетического оборудования, ФГБОУ ВПО Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Россия, г. Киров, ([mohnatkin@vgsha.info](mailto:mohnatkin@vgsha.info)).

**МОКННАТКИН ВИКТОР ГЕРМАНОВИЧ** – doctor of technical sciences , professor, head of the chair of technological and energy equipment , Vyatka State Agricultural Academy, Russia , Kirov , ([mohnatkin@vgsha.info](mailto:mohnatkin@vgsha.info)).

**СОЛОНЩИКОВ ПАВЕЛ НИКОЛАЕВИЧ** – ассистент кафедры технологического и энергетического оборудования, ФГБОУ ВПО Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Россия, г. Киров, ([solon-pavel@yandex.ru](mailto:solon-pavel@yandex.ru)).

**SOLONSHIKOV PAVEL NIKOLAEVICH** – assistant of the chair of technological and energy equipment, Vyatka State Agricultural Academy, Russia, Kirov, ([solon-pavel@yandex.ru](mailto:solon-pavel@yandex.ru)).

**ФИЛИНКОВ АНДРЕЙ СЕРГЕЕВИЧ** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологического и энергетического оборудования, ФГБОУ ВПО Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Россия, г. Киров, ([filin-a@yandex.ru](mailto:filin-a@yandex.ru)).

**FILINKOV ANDREW SERGEEVICH** – candidate of technical sciences, docent of the chair of technology and energy equipment, Vyatka State Agricultural Academy, Russia , Kirov , ([filin-a@yandex.ru](mailto:filin-a@yandex.ru)).

---