

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО КОЛЕСА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСЕЙ

Мохнаткин Виктор Германович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологическое и энергетическое оборудование»

Солонщиков Павел Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологическое и энергетическое оборудование»

ФГБОУ ВО Вятская ГСХА

610014, г. Киров, Октябрьский проспект, 133; тел./ факс: (8332) 54-86-33,

e-mail: solon-pavel@yandex.ru

Ключевые слова: установка, рабочее колесо, скорость, траектория, параметр, система, схема, уравнение, частица, размер, движение.

В статье рассматривается проблема повышения эффективности средств механизации для приготовления кормов в животноводстве. На современном этапе развития аграрного сектора в условиях рыночной экономики это предполагает не рост дополнительных вложений на единицу площади и голову животного, а необходимость разработки и создания новых прогрессивных технологий, обеспечивающих непрерывный процесс производства при минимальных затратах. По проведенному анализу конструкций смесителей и установок предложена опытная конструкция, позволяющая охватить весь спектр представленных устройств, но при этом дополнительно нужна замена вспомогательного оборудования, необходимого для стабильного протекания процесса. Для обоснования конструкции проведены теоретические расчеты, позволяющие определить скорость движения частицы в рабочей камере. По результатам теоретических исследований получена система уравнений, позволяющих получить скорость и траекторию движения частицы при ее движении в рабочем колесе до взаимодействия и после взаимодействия с неподвижными лопатками. Анализ уравнений показал, что движение частицы зависит от размера окна на основном диске с лопатками. Оптимальная ширина окна $x_0 = 0,035$ м, но данный размер ограничивается конструкцией рабочего колеса и его диаметром.

Введение

При выращивании молодняка крупного рогатого скота в качестве корма широко используют заменители цельного молока. Среди основных причин можно выделить следующие:

- достигнутое в результате селекции крупного рогатого скота содержание жира и протеина в молоке слишком высоко для теленка и может вызвать проблемы в пищеварительном тракте;

- содержание жира и протеина в коровьем молоке нестабильно и может изменяться в зависимости от сезона года;

- использование молока не в качестве корма, а на пищевые цели позволяет повысить рентабельность его производства.

Анализ мирового рынка показал, что большинство иностранных сельхозтоваропроизводителей используют для кормления заменители молока, а цельное молоко сдают на переработку. Подобная тенденция также прослеживается и в России.

Таким образом, получение на основе заменителей цельного молока кормовых молочных смесей, обладающих адаптированным к потребностям животных составом и снижающих

затраты при выращивании молодняка, является актуальной задачей.

При кормлении молодняка важно качественно приготовить заменитель цельного молока (ЗЦМ). Так как приготовление ЗЦМ достаточно сложный процесс, то и технология его производства должна быть механизирована и автоматизирована с целью обеспечения наилучшего качества корма и снижения затрат труда. Нарушения технологии приготовления кормовой смеси для молодняка могут привести к снижению привесов живой массы, резистентности организма и появлению ряда заболеваний желудочно-кишечного тракта. Ручное смешивание жидкого корма с водой не обеспечивает однородности корма, а неправильно приготовленный жидкий корм может вызвать диарею.

Разработка новых установок для приготовления и подачи жидких кормов в нашей стране почти не ведется, а в основном используется зарубежная техника, которая требует больших капиталовложений [1, 2].

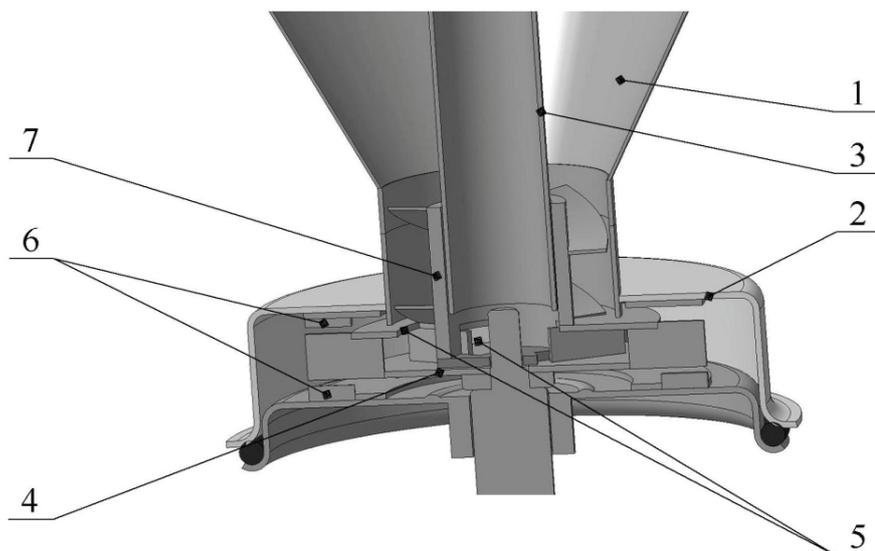
Объекты и методы исследований

В связи с обозначенными выше проблемами и поставленными задачами, на кафедре технологического и энергетического оборудо-

вания ФГБОУ ВО Вятская ГСХА создана установка, состоящая из рабочей камеры 2 (рис. 1), соединенной с загрузочной камерой 1, внутри которой расположено рабочее колесо нестандартного изготовления [3, 4].

При анализе работы установки для приготовления смесей мы пришли к выводу, что для выявления оптимальных условий её функционирования необходимо выполнить математическое описание протекающего в ней технологического процесса [5, 6].

Для оценки эффек-



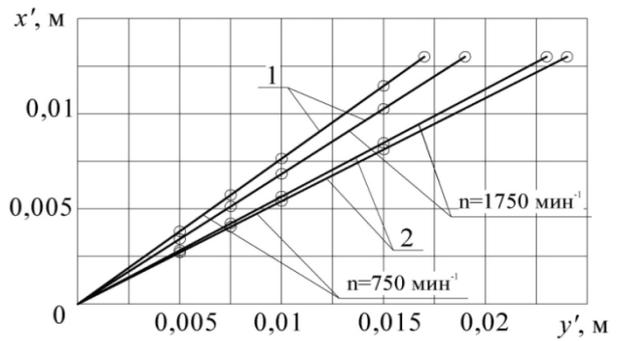
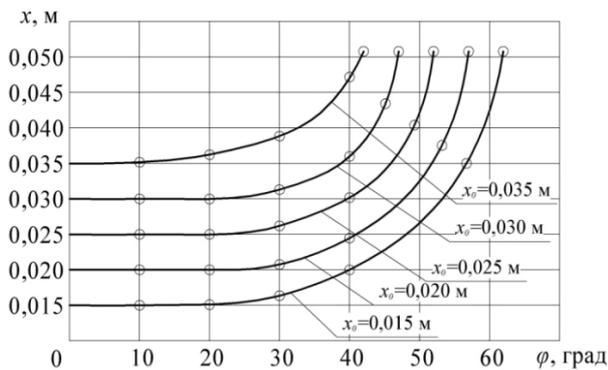
1 – загрузочная камера; 2 – рабочая камера; 3 – питающий патрубок; 4 – основной диск с лопатками; 5 – окна; 6 – неподвижные лопатки; 7 – втулка

Рис. 1 – Установка для приготовления смесей

Таблица 1

Системы уравнений, описывающие изменение скоростей u_x и u_y

Составляющая скорости u_x , м/с						
ω , с ⁻¹	x_0 , м					Уравнение
	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	
78,5	3,95	3,68	3,64	3,2	2,89	$u_x = -1371 \cdot x_0^2 + 16,57 \cdot x_0^2 + 4,0$ ($R^2=0,971$)
104,6	5,04	4,79	4,74	4,4	3,95	$u_x = -1971 \cdot x_0^2 + 47,17 \cdot x_0^2 + 4,75$ ($R^2=0,977$)
130,8	6,38	5,83	5,31	5,37	4,86	$u_x = -2457 \cdot x_0^2 + 43,25 \cdot x_0^2 + 6,34$ ($R^2=0,99$)
157	7,68	7,4	6,9	6,5	5,82	$u_x = -2114 \cdot x_0^2 + 12,51 \cdot x_0^2 + 8,0$ ($R^2=0,995$)
183,1	9,02	9,02	8,097	7,47	6,7	$u_x = -1885 \cdot x_0^2 - 18,11 \cdot x_0^2 + 9,691$ ($R^2=0,994$)
Составляющая скорости u_y , м/с						
ω , с ⁻¹	x_0 , м					Уравнение
	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	
78,5	0,096	0,09	0,086	0,082	0,074	$u_y = -11,42 \cdot x_0^2 - 0,468 \cdot x_0^2 + 0,105$ ($R^2=0,986$)
104,6	0,097	0,091	0,09	0,083	0,075	$u_y = -28,57 \cdot x_0^2 + 0,388 \cdot x_0^2 + 0,096$ ($R^2=0,974$)
130,8	0,099	0,093	0,091	0,084	0,076	$u_y = -25,71 \cdot x_0^2 + 0,185 \cdot x_0^2 + 0,101$ ($R^2=0,984$)
157	0,1	0,094	0,092	0,085	0,077	$u_y = -25,71 \cdot x_0^2 + 0,185 \cdot x_0^2 + 0,102$ ($R^2=0,984$)
183,1	0,098	0,096	0,093	0,086	0,078	$u_y = -45,71 \cdot x_0^2 + 1,285 \cdot x_0^2 + 0,008$ ($R^2=0,998$)



а

б

Рис. 2 – Изменение траектории движения частицы в зависимости от угла поворота ϕ (а) и траектория движения частицы при ее взаимодействии с неподвижными лопатками (б)

тивности конструкции установки следует рассмотреть движение частицы ЗЦМ по рабочему колесу.

Движение такой частицы описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k\dot{x} + \frac{kQ}{2\pi x h} + \omega^2 x \\ \ddot{y} = -k\dot{y} - 2\omega\dot{x} \end{cases}, \quad (1)$$

где k – коэффициент кинематической вязкости, с^{-1} ; $2\pi x h$ – длина окружности, радиуса x , на которой находится частица, м; \dot{x} и \dot{y} – скорость

движения частицы, м/с ; Q – расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; h – высота лопаток колеса, м; ω – угловая скорость, с^{-1} .

За начало движения частицы примем ее положение, которое она занимает на расстоянии $x_0 = 0,035$ м от начала окна. При этом частица попадает в окно на основном диске с лопатками 4 (рис. 1) рабочего колеса. В нашем случае координата x_0 будет характеризовать ширину окна на диске 4 от центра вращения рабочего колеса [7, 8].

Результаты исследований

Результаты измерения абсолютной скорости движения частицы по осям x и y представлены в таблице. Траекторию движения частицы рассчитывали на персональном компьютере с помощью программы «MathCad V15». Полученные значения скоростей обработали по методу наименьших квадратов и представили в виде системы уравнений (таблица 1).

Из приведенных уравнений видно, что абсолютные скорости движения частицы по осям x и y возрастают прямо пропорционально увеличению угловой скорости рабочего колеса.

Если размер x_0 будет увеличиваться, то есть окна будут ближе к периферии колеса, то, соответственно, скорости убывают. Скорость u_x будет иметь большее значение при $x_0 < x$, таким образом, движение части-

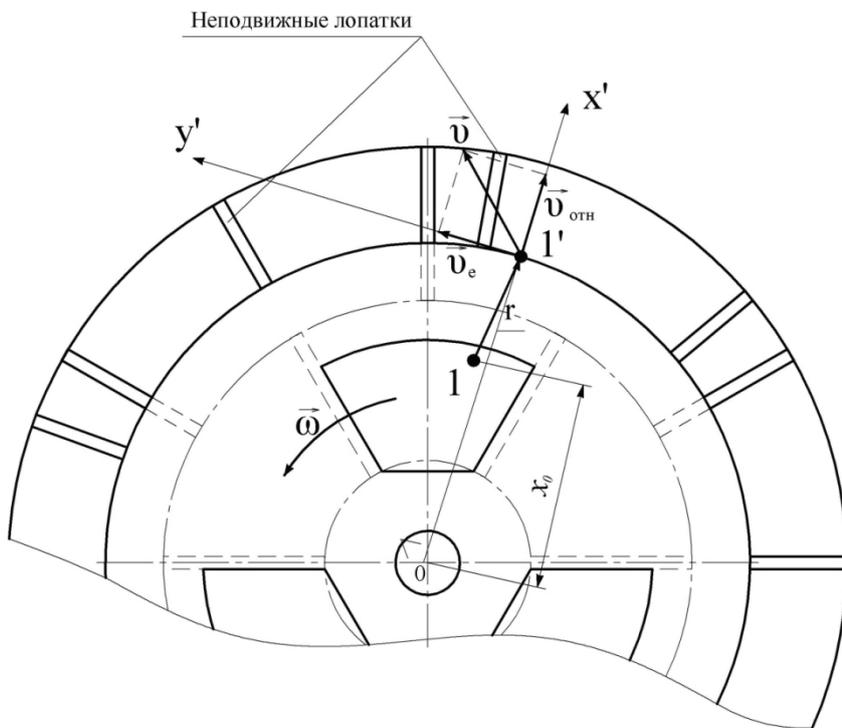


Рис. 3 – Движение частицы при взаимодействии с неподвижными лопатками в рабочем колесе установки

цы радиальное. При этом составляющая скорости v_y в 100 раз меньше скорости v_x , то есть частица не будет смещаться по второй оси.

Двигаясь радиально по лопасти, частица в конечном итоге достигает края рабочего колеса. Построим график изменения траектории движения частицы в зависимости от угла поворота $\phi = \omega t$ (рис. 2, а). Приведенный график подтверждает, что частица двигается по одной и той же траектории независимо от частоты вращения рабочего колеса. Но когда она достигнет края рабочего колеса при начальном положении $x_0 = 0,015$ м, угол поворота ϕ будет составлять 62...64 градуса. Соответственно, второй ряд лопастей будет придавать большую скорость частице, и она быстрее окажется на периферии. При начальном положении $x_0 = 0,035$ м угол поворота рабочего колеса ϕ равен 40...42 градусам. Увеличение размера x_0 приведет к тому, что частица не будет активно взаимодействовать со вторым рядом лопаток. Поэтому будет преобладать относительное движение, которое эвакуирует частицу из рабочей камеры.

После второго ряда лопаток частица проходит через неподвижные лопатки (рис. 3), а уравнение ее движения примет вид:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k\dot{x} + \frac{kQ}{2\pi(x+r)h} \\ \ddot{y} = -k\dot{y} \end{cases}, \quad (2)$$

где r – радиус рабочего колеса, м.

Переносная сила инерции и Кориолисова сила в неподвижной системе будут равны нулю, а так как частица попала в неинерционную систему, то ее движение замедляется.

Полученная траектория движения частицы (рис. 2, б) показывает, что частица смещается по оси y в 1,3 раза больше, чем по оси x , то есть радиального движения нет. Второй ряд лопаток перемещает материал в окружном направлении, но при этом имеет место некоторое торможение частиц вследствие влияния неподвижных лопаток. За счет такого торможения происходит изменение расхода смешиваемых материалов с высокой частотой. Это вызывает вихреобразование, которое способствует лучшему перемешиванию, что необходимо для данной установки.

Выводы

По результатам теоретических исследований получены уравнения (1) и (2), позволяющие определить скорости и траекторию движения частицы при ее движении в рабочем колесе

до взаимодействия и после взаимодействия с неподвижными лопатками. Анализ уравнений показал, что движение частицы зависит от размера окна на основном диске с лопатками. Оптимальная ширина окна $x_0 = 0,035$ м, но данный размер ограничивается конструкцией рабочего колеса и его диаметром.

Библиографический список

1. Солонщиков, Павел Николаевич. Совершенствование конструкции и оптимизация параметров установки для приготовления жидких кормовых смесей на базе лопастного насоса: дис. ... канд. технических наук / П.Н.Солонщиков . - Киров, 2013. – 217 с.
2. Патент на полезную модель 104022 РФ, МПК А23С11/00, А01J11/16. Устройство для приготовления смесей / В.Г. Мохнаткин, В.Н. Шулятьев, А.С. Филинков, П.Н. Солонщиков [и др.]. – № 2010152132/10; заявл. 20.12.2010 ; опубл. Бюл. № 13.
3. Мохнаткин, В.Г. Исследование движения частицы в рабочем колесе установки для приготовления жидких кормовых смесей / В.Г. Мохнаткин, А.С. Филинков, П.Н. Солонщиков // Вестник НГИЭИ. Серия « Технические науки». – Княгинино НГИЭИ, 2014.- Выпуск 2 (33). – С. 132–140.
4. Анализ движения материала в рабочем колесе устройства для приготовления смесей / В.Г. Мохнаткин, А.С. Филинков, А.В. Алёшкин, П.Н. Солонщиков // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания. Материалы VI Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение». – Киров: Вятская ГСХА, 2013. – Выпуск 11. - С.233 – 237.
5. Солонщиков, П.Н. Исследование устройства для приготовления смесей / П.Н. Солонщиков // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. - № 9. – С. 50-53.
6. Солонщиков, П.Н. Разработка конструкции смесителя для приготовления жидких кормовых смесей / П.Н. Солонщиков // Основные направления развития техники и технологии в АПК. Материалы и доклады VII Всероссийской научно-практической конференции. – Княгинино: НГИЭУ, 2016. – С. 313-315.
7. Солонщиков, П.Н. Анализ функционирования конструкции смесителя для приготовления кормовых смесей / П.Н. Солонщиков // Вестник НГИЭИ. Технические науки. – Княгинино: НГИЭИ, - 2016. - Выпуск №2 (57) - С. 81-88.
8. Мохнаткин, В.Г. Теоретическое опреде-

ление гидравлических характеристик лопастного колеса установки для приготовления жидких кормовых смесей/ В.Г. Мохнаткин, А.С. Филин-

ков, П.Н. Солонщиков // Вестник НГИЭИ. Серия «Технические науки». – Княгинино: НГИЭИ, 2014. - Выпуск 6 (37) . - С. 79–88.

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF THE WORKING WHEEL OF A DEVICE FOR MIXTURE PREPARATION

Mokhnatkin V.G., Solonschikov P.N.
FSBEI HE Vyatka State Agricultural Academy
610014, Kirov, Oktyabrsky av., 133,
phone / fax: (8332) 54-86-33 E-mail: solon-pavel@yandex.ru

Keywords: device, wheel, speed, track, parameter, system, scheme, equation, particle, size, motion.

The article deals with the problem of increasing the efficiency of mechanization aids for preparing feeds in animal breeding. At the current stage of development of the agricultural sector, in the conditions of market economy, this does not imply the growth of additional investments per unit area and head of animal, but there is a need to develop and create new progressive technologies that ensure an uninterrupted production process at minimum cost. According to design analysis of mixers and devices, an experimental design has been proposed that allows to cover the whole spectrum of the presented devices, but at the same time it can also replace the service equipment necessary for stable process. To justify the construction, theoretical calculations have been carried out to determine the velocity of the particle in the process chamber. Based on the results of theoretical studies, a system of equations has been obtained that allows to calculate the velocities and track of the particle as it moves in the wheel before and after the impact with fixed blades. Analysis of the equations showed that the motion of the particle depends on the size of the window on the main disk with blades. Appropriate window width is $x_0 = 0,035$ m, but this size is limited by the wheel design and its diameter.

Bibliography

1. Solonschikov Pavel Nikolaevich. Design and parameter improvement of the device for fluid feed mixture preparation on the basis of a blade pump: dissertation of Candidate of Technical Sciences / P.N. Solonschikov. - Kirov, 2013. - 217 p.
2. Device for mixture preparation. Patent for utility model 104022 RF, IPC A23C11/00, A01J11/16. / V.G. Mokhnatkin, V.N. Shulyatyev, A.S. Filinkov, P.N. Solonschikov and others (RF). - No. 2010152132/10; appl. 20.12.2010 // publ. Bul. № 13, 2011.
3. Mokhnatkin, V.G. Research of particle track in the wheel of a device for fluid feed mixture preparation / V.G. Mokhnatkin, A.S. Filinkov, P.N. Solonschikov // Vestnik of NNEEU: A series of technical sciences. Issue 2 (33) - Knyaginino NNEEU, 2014. – P. 132-140.
4. Analysis of the material movement in the wheel of the device for mixture preparation / V.G. Mokhnatkin, A.S. Filinkov, A.V. Alyoshkin, P.N. Solonschikov // Performance improvement of internal combustion engines. Materials of the VI International Scientific and Practical Conference "Science - Technology - Resource Saving": Collection of scientific papers. - Kirov: Vyatka State Agricultural Academy, 2013. - Issue. 11. - P.233 - 237.
5. Solonschikov, P.N. Research of the device for mixture preparation / P.N. Solonschikov // Vestnik of Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. - 2013. - № 9. - P. 50-53.
6. Solonschikov, P.N. Elaboration of a mixer design for fluid feed mixture preparation / P.N. Solonschikov // The main trends of engineering development and technology development in AIC: materials and reports of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference. - Knyaginino: NNEEU, 2016. – P. 313-315.
7. Solonchikov, P.N. Functioning analysis of the mixer design for feed mixture preparation / P.N. Solonschikov // Vestnik of the NNEEU. Technical science. Issue № 2 (57). - Knyaginino: NNEEU, - 2016. - P. 81-88.
8. Mokhnatkin, V.G. Theoretical definition of hydraulic characteristics of the blade wheel of the device for fluid feed mixture preparation / V.G. Mokhnatkin, A.S. Filinkov, P.N. Solonschikov // Vestnik of NNEEU. A series of technical sciences. Issue 6 (37). - Knyaginino: NNEEU, 2014. - P. 79 -88.