

УДК 631.636.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОЛОПАСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ

Хольшев Николай Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис», ФГБОУ ВО Тамбовский ГТУ.

392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106.

E-mail: msh@nnn.tstu.ru

Мухин Виктор Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Механизация и технология животноводства», ФГБОУ ВО «Саратовский аграрный университет им. Н. И. Вавилова».

440012, г. Саратов, Театральная пл., 1.

E-mail: fmshsgau@mail.ru

Петрова Светлана Станиславовна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механика и инженерная графика», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: ssaariz@mail.ru

Ключевые слова: шнеколопастной, смеситель, шнек, навивка, лопасть, лопатка.

Цель исследований – совершенствование оборудования для смешивания сухих рассыпных кормов с обоснованием конструктивно-режимных параметров. В результате анализа состояния вопроса и существующих конструктивных схем смесителей было установлено, что многие из машин, применяемых для приготовления комбикормов, сложны по конструкции и не надежны в работе, качество получаемой кормовой смеси не всегда соответствует зоотехническим требованиям; применяемые серийные и экспериментальные смесители комбикормов из-за несовершенства технологического процесса и рабочих органов имеют высокую удельную энергоёмкость. Перспективным направлением в совершенствовании конструкций смесителей кормов является создание универсального тихоходного смесителя периодического действия с неподвижным прямоугольным корпусом и двумя горизонтально расположенными принудительно смешивающими комбинированными рабочими органами. В задачи исследования входило разработать конструктивно-технологическую схему шнеколопастного тихоходного смесителя периодического действия; определить влияние конструктивно-технологических и технологических параметров смесителя на его производительность; выявить рациональные конструктивно-режимные параметры шнеколопастного смесителя по показателю времени цикла. Методика исследований предусматривала теоретическое обоснование параметров смесителя по показателю времени цикла смешивания. Представлены выражения для определения производительности на участках: шнековом, первом и втором перемешивающе-транспортирующих лопаток, перебрасывающих лопастей. Получены выражения определения времени цикла от угла установки перемешивающе-транспортирующих лопаток и частоты вращения рабочих органов. Полученные и приведенные выражения для определения времени цикла от угла установки перемешивающе-транспортирующих лопаток и частоты вращения рабочих органов позволяют определить минимальное время цикла, то есть выбрать оптимальные угол установки лопаток и частоту вращения рабочего органа.

DETERMINATION OF AUGER-BLADE MIXER RATIONAL PARAMETERS

Khol'shev N. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Operation of road transport and car service», FSBEI HE Tambov STU.

392000, Tambov, Sovetskaya street, 106.

E-mail: msh@nnn.tstu.ru

Mukhin V. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department «Mechanization and technology of animal husbandry», FSBEI HE «Saratov Agrarian University named N. I. Vavilov».

440012, Saratov, Theatral'naya square, 1.

E-mail: fmshsgau@mail.ru

Petrova S. S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Mechanics and engineering graphics», FSBEI HE Samara SAA.

446442, Samara region, settlement Ust'-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.

E-mail: ssaariz@mail.ru

Keywords: auger, mixer, auger conveyor, winding, blade.

The purpose of the study is to improve the equipment for mixing dry crumbled feed with regard to the basic operation condition or parameters. As a result of the issue analysis and the existing mixers structure, it was found that many machines used for the preparation of compound feeds are complex in the structure and not reliable in operation, the feed mixture quality does not always meet the zootechnical requirements; the applied standard and experimental mixers of compound feeds because of imperfection of technological process and working parts contained, possess high specific power consumption. The construction of a universal low-speed batch mixer with a fixed rectangular case and combined two forcibly mixing working parts mounted horizontally is an advanced study direction for feed mixers improving. The study objectives incorporated the development of structural and technological specification of a low-speed auger-blade mixer of batch action; the assessment of the impact of design parameters above mentioned of the mixer on its performance; to identify the rational structural and operating specification of the auger-blade mixer taking into consideration the cycle duration time. The research methodology provided the theoretical justification of specification of the mixer taking into account the cycle duration period of the blending. Expressions to determine the performance efficiency along the following stages were provided: involving auger conveyor, the first and the second mixing transporting and throwing blades. Formulas are obtained for estimation the cycle period from the installation angle of the mixing-transporting blades and the rotation frequency of the working parts. Data obtained and given for estimation the cycle time from the installation angle of the mixing-transporting blades and the speed of the working parts allow to operate during the minimum cycle time, that is, to choose the optimal angle of installation of the blades and the speed of rotation of the working parts.

Краткий анализ состояния вопроса и актуальности проблемы приготовления сухих рассыпных кормов, конструкций существующих смесителей кормов и перспективных путей совершенствования их конструкций позволяет сделать следующие выводы:

1. В настоящее время наибольшее распространение при кормлении сельскохозяйственных животных получило кормление полнорационными кормовыми смесями, в составе которых значительную долю имеют сухие рассыпные корма.

2. Почти половина сухих рассыпных кормосмесей приготавливается непосредственно на сельскохозяйственных предприятиях при помощи малогабаритных комбикормовых агрегатов.

3. Одной из важных операций при приготовлении комбикормов является смешивание, обеспечивающее однородность смеси в соответствии с зоотехническими нормами и определяющее, в конечном итоге, продуктивность животных, качество мяса и эффективность использования кормов, и как следствие снижение себестоимости продукции.

4. В результате анализа существующих конструктивных схем смесителей было установлено, что многие из машин, применяемых для приготовления комбикормов, сложны по конструкции и не надежны в работе; качество получаемой кормовой смеси не всегда соответствует зоотехническим требованиям; применяемые серийные и экспериментальные смесители комбикормов из-за несовершенства технологического процесса и рабочих органов имеют высокую удельную энергоёмкость.

5. Повышение эффективности смесителей кормов направлено на модернизацию существующих типов смесителей за счет организации максимального упорядоченного перемещения частиц путем использования дополнительных устройств и способов смешивания.

6. Перспективным направлением в совершенствовании конструкций смесителей кормов является создание универсального тихоходного смесителя периодического действия с неподвижным прямоугольным корпусом и двумя горизонтально расположенными принудительно смешивающими комбинированными рабочими органами.

Цель исследований – совершенствование оборудования для смешивания сухих рассыпных кормов с обоснованием конструктивно-режимных параметров.

Задачи исследований – разработать конструктивно-технологическую схему шнеколопастного тихоходного смесителя периодического действия; определить влияние конструктивно-технологических и технологических параметров смесителя на его производительность; выявить рациональные конструктивно-режимные параметры шнеколопастного смесителя по показателю времени цикла.

Материалы и методы исследований. Все факторы, влияющие на процесс смешивания, можно разделить на три группы [9]: 1) методы смешения (распыливание, пересыпание, перелопачивание, наслаивание компонентов, смешение компонентов в «кипящем» слое и т. д.);

2) конструктивные особенности смесителей и их режимы работы (степень заполнения, скорость и характер циркуляции материала внутри смесителя, конструкция размешивающего органа, скорость вращения этого органа и т. д.); 3) физико-механические характеристики смеси компонентов (соотношение компонентов, их гранулометрический состав, объемные массы, коэффициент внутреннего трения и т. д.).

Методы смешивания в большинстве случаев ограничиваются условиями приготовления смеси, ее физико-механическими свойствами, а также принятой технологией приготовления.

Во многом качество приготовления смесей зависит от конструкции смесителя и скорости вращения рабочих органов, степени наполнения смесительной камеры и угла установки лопастей. К концу процесса смешивания смесь остается без изменения, достигнув к этому моменту некоторого предела однородности Θ_{np} , характерной для данной смеси и конструкции смесителя. В смесителе со шнековым рабочим органом $\Theta_{np} = 93...96\%$ можно считать вполне удовлетворительной. В смесителе с лопастным рабочим органом качество смешивания выше: $\Theta_{np} = 98\%$. Предельная однородность смеси находится в обратно пропорциональной зависимости от степени наполнения смесительной камеры. При увеличении степени наполнения с 0,095 до 0,270 предельная однородность смеси снижается с 95,6 до 93,2%. Поэтому при использовании шнека в качестве рабочего органа смесителя непрерывного действия величину этого параметра следует принимать равной 0,10...0,15. Для порционных шнековых смесителей коэффициент наполнения при горизонтальном расположении шнека составляет 0,3...0,4, а при вертикальном – 0,7...0,8 [9]. В смесителе с лопастным рабочим органом степень наполнения мало влияет на качество смешивания и может быть увеличена до 0,3...0,5, поэтому производительность такого смесителя выше. Увеличение скорости рабочих органов смесителя влечет за собой некоторое повышение качества смешивания, причем наиболее существенное влияние на однородность смеси оказывают скорости от 0,6 до 1,5 м/с. Дальнейшее увеличение окружной скорости рабочего органа почти не сказывается на качестве смешивания, но при этом значительно возрастает производительность машины. Таким образом, с учетом фактора увеличения производительности оптимальная окружная скорость рабочих органов смесителя должна быть 1,5...2 м/с. Более высокие скорости приводят к значительному распылу смешиваемых материалов. Изменение угла установки лопастей также оказывает заметное влияние на качество работы смесителя. Так, установка лопастей под углами от 10 до 90° изменяет однородность смеси на 1,5%. Наибольшая величина предельной однородности смеси – 97...98% – соответствует углам установки лопастей 35...70°. Более высокая производительность смесителя достигается при углах установки лопастей 30...50°, что не меняет и высокие показатели однородности смеси [8].

На качество смешивания, кроме рассмотренных конструктивных и технологических факторов, оказывают влияние также физико-механические свойства компонентов. При смешивании компонентов большую роль играет соотношение их объемных масс. Чем оно ближе к единице, тем быстрее происходит процесс смешивания и достигается требуемая степень однородности. Чем меньше размер частиц компонентов и чем больше эти размеры выровнены, тем быстрее получается заданная степень однородности смеси. При уменьшении соотношения компонентов быстрее достигается заданная степень однородности [11, 14]. Так, увеличение отношения удельных масс компонентов с 1,09 до 2,28 вызывает снижение предельной однородности смеси соответственно с 95,1 до 92% [8]. При смешивании сухих компонентов с влажными и увеличении относительной влажности до 14,5% растет степень однородности. Для дальнейшего повышения влажности необходимо увеличение времени смешивания [9].

Результаты исследований. На основании анализа конструкций смесителей и теоретических исследований разработана конструктивно-технологическая схема шнеколопастного тихоходного смесителя периодического действия, представленная на рисунке 1. Смеситель состоит из бункера 1, пультов управления мотор-редукторами 2, двух мотор-редукторов 3, двух рабочих органов 4, цепных передач 5; каждый рабочий орган состоит из двух частей, вращающихся в противоположные стороны; на рабочих органах размещены участки шнековой навивки 6 длиной L_w , перемешивающе-транспортирующих лопаток 7 и 8 длиной $L_{шл1}$ и $L_{шл2}$ соответственно, перебрасывающих лопастей 9 длиной L_l . Перемешивающе-транспортирующие лопатки имеют возможность поворота

относительно оси вала. Общая высота бункера равна $H_{общ.}$. Радиусы перебарывающих лопастей R_n , шнековой навивки R_w и перемешивающе-транспортирующих лопаток первой R_{nm1} и второй частей R_{nm2} рабочего органа равны между собой [5].

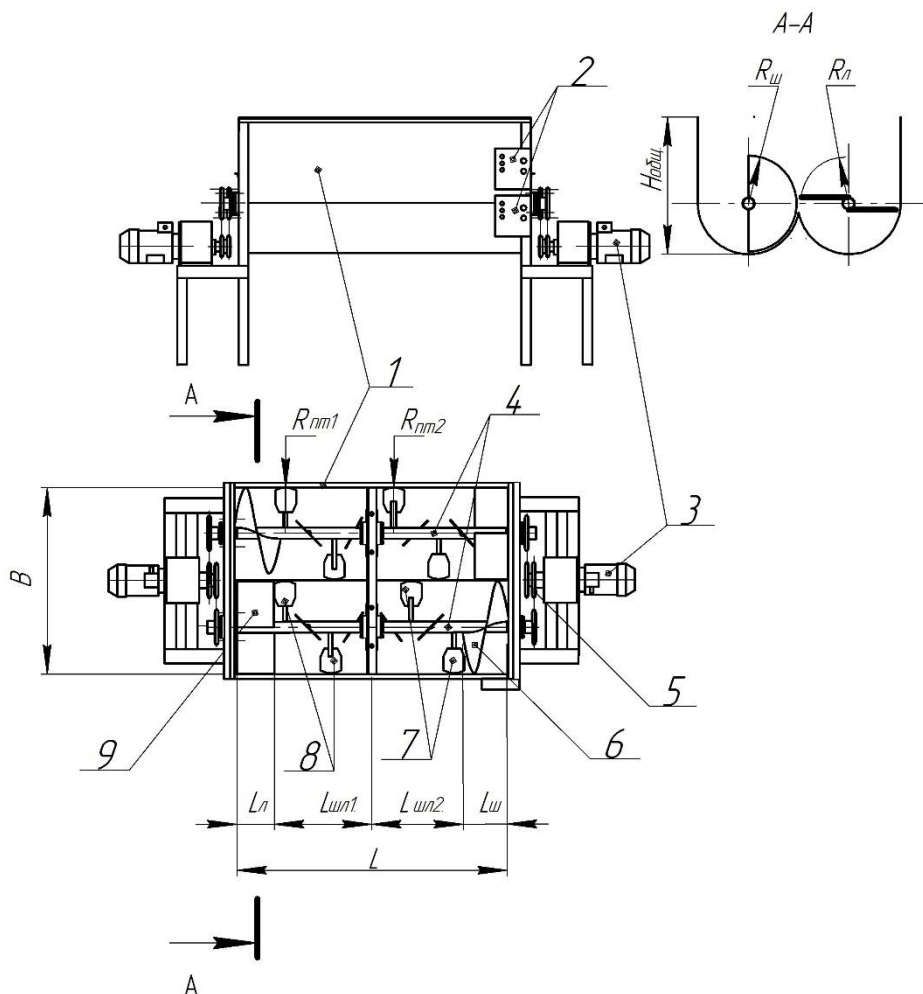


Рис. 1. Расчетная схема шнеколопастного смесителя кормов

Для возможности дальнейших теоретических исследований и изготовления экспериментального образца смесителя необходимо определить значения основных его конструктивных параметров и их взаимосвязь с учетом обеспечения эффективной работы смесителя.

Шнековая навивка должна обеспечивать интенсивное перемещение кормовой массы без ее зависания. Диаметр вала шнека принимают обычно равным 10% от диаметра D навивки, шаг навивки S принимается равным половине или $\frac{1}{4}$ диаметра D навивки шнека [9].

Угол подъема винтовой линии связан с шагом шнека и диаметром выражением [6]:

$$\operatorname{tg} \alpha = S / \pi D. \quad (1)$$

При невыгоднейшем угле подъема винтовых линий обеспечиваются максимальные осевая скорость и производительность при горизонтальном расположении шнека [8]:

$$\alpha_s = 45^\circ - \frac{\varphi_0}{2}, \quad (2)$$

где φ_0 – угол внутреннего трения смеси.

В лопастном смесителе реализация процесса смешивания происходит в основном за счет перераспределения частиц в осевом направлении под действием рабочих органов.

Число лопастей в ряду должно быть таким, чтобы в момент выхода одной лопасти из слоя сыпучего материала время до вхождения другой лопасти было минимальным. В противном случае происходит значительное периодическое изменение нагрузки на двигатель. При увеличении

коэффициента заполнения смесительной камеры от 0,3 до 0,65 время перепада нагрузки на вал также уменьшается [9].

Высоту лопатки H_{nm} определяют из соотношения [9]:

$$2b_{nm}^{\min} > H_{nm} > \frac{b_{nm}^{\min}}{2}, \quad (3)$$

где b_{nm}^{\min} – минимальная ширина лопатки из всех используемых в смесителе, м.

Высота должна быть более половины ширины лопасти из условия образования «застойной» области перед ней. В результате увеличения угла поворота лопасти наблюдается образование «застойной» области перед лопастью, необходимой для максимального перемещения частиц. Принимать значение высоты лопасти большее, чем три ширины лопасти, не целесообразно с точки зрения прочности. Дёминым О. В. экспериментально установлено, что при $H_{nm} > 2b_{nm}$ заметного увеличения переходов частиц из зоны воздействия лопасти в соседние ряды не наблюдается [9].

Ширина лопатки может быть определена по формуле [9]:

$$a = \frac{t_{nm.}}{\cos \alpha_{nm.}}, \quad (4)$$

где $t_{nm.}$ – шаг лопаток по длине смесителя, м;

$\alpha_{nm.}$ – угол поворота лопатки относительно оси вала, град.

Основное назначение участка перебрасывающих лопастей – перемещение кормосмеси на второй рабочий орган, в таком случае лопасти должны быть параллельны оси вала. Для повышения эффективности работы лопасти она должна быть сплошного сечения. Ширина B лопасти должна обеспечивать перебрасывание смеси, исключая ее прессование у торцевой стенки бункера, в таком случае:

$$B \geq \frac{v_o}{n_n z_n}, \quad (5)$$

где v_o – осевая скорость смеси при сходе с перемешивающе-транспортирующей лопатки, м/с;

n_n – частота вращения лопастей, с⁻¹;

z_n – число перебрасывающих лопастей в поперечном сечении, шт.

Осевую скорость можно определить по выражению [1]:

$$v_o = k_g \cdot k_n \cdot \omega_{nm.2} \cdot \frac{t_{nm.2}}{2\pi} \quad (6)$$

где k_g – коэффициент возврата смеси вследствие перемешивания, равный 0,68 ... 0,75;

k_n – коэффициент прерывистости винтовой поверхности;

$\omega_{nm.2}$ – угловая скорость второго участка лопаток, рад/с;

$t_{nm.2}$ – шаг перемешивающе-транспортирующих лопаток на втором участке, м.

$$k_n = \frac{b_{nm.2} \cos \alpha \cdot \cos \beta}{2\pi R_{nm.2}}. \quad (7)$$

Одними из главных характеристик смесителя являются его производительность за цикл и мощность.

Для расчета циклической производительности необходимо задаться временем смешивания $\tau_{см}$. Время может быть выбрано либо на основе опыта эксплуатации аналогичного аппарата, либо на основе требований, предъявляемых заказчиком, также оно может быть определено теоретически. При этом следует учитывать рекомендуемую степень заполнения смесительной камеры.

Корм под действием шнековой навивки (рис. 2) перемещается вдоль оси вала и к стенке бункера, на это уйдет время $\tau_{ш}$, на участке II под действием перемешивающе-транспортирующих лопаток корм движется к стенке бункера и вдоль оси вала, это займет время τ_{nm1} , на участке III корм перемещается вдоль оси вала за время τ_{nm2} и частично перебрасывается на другой рабочий орган

(участок II) за время τ_n , на участке IV происходит переборс корма окончательно за время τ_n . На втором рабочем органе рабочий процесс протекает аналогично и за тоже время [6].

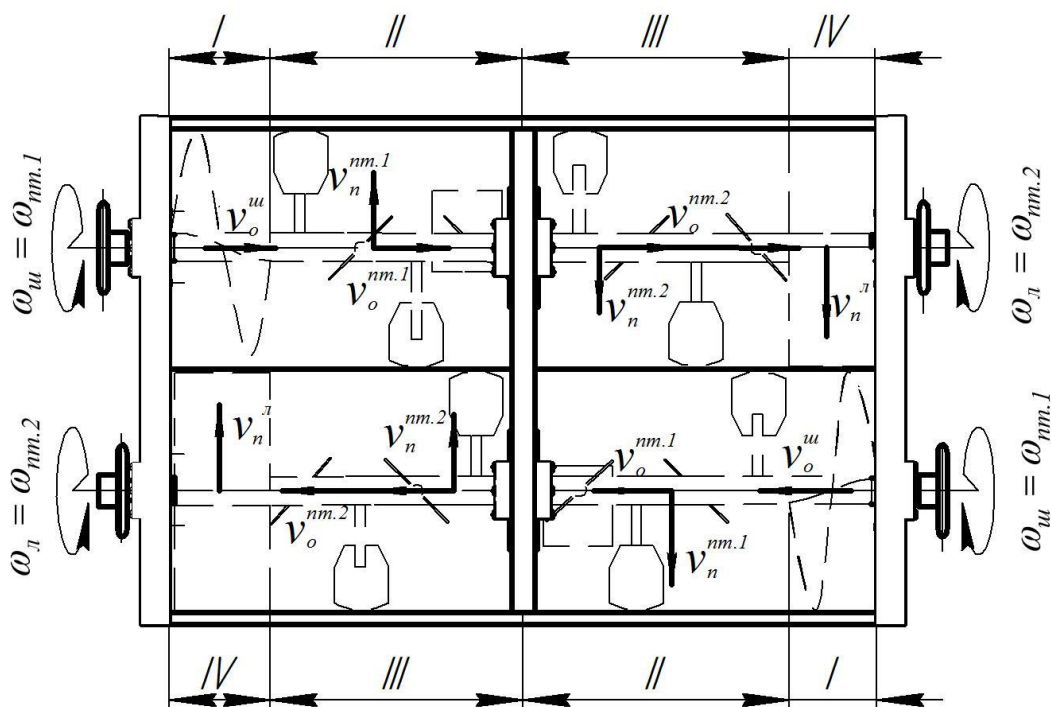


Рис. 2. Схема движения корма в смесителе:

I – участок шнековой навивки; II, III – участки перемешивающе-транспортирующих лопаток;
IV – участок перебрасывающих лопастей

Производительность смесителя периодического действия за цикл определяется в общем случае по формуле:

$$Q = \frac{V_{п.б.} \cdot \varphi_n \cdot \rho}{\tau_{см.} + \tau_{всп.}}, \quad (8)$$

где φ_n – коэффициент наполнения смесительной камеры;

$V_{п.б.}$ – полезный объем камеры смешивания, м³;

$\tau_{см.}$ – время смешивания, с;

$\tau_{всп.}$ – время вспомогательных операций, с.

Время вспомогательных операций определяется на основе опыта аналогичного оборудования эксплуатации. Оно состоит из времени загрузки, выгрузки, технического обслуживания и т.д. Время смешивания $\tau_{см.}$ зависит от времени цикла, которое равно времени прохождения компонентов смеси по всем участкам I-IV каждого рабочего органа (рис. 2). В таком случае можно записать:

$$\tau_{см.} = n_{ц} \tau_{ц}, \quad (9)$$

где $n_{ц}$ – количество циклов;

$\tau_{ц}$ – время цикла, с.

Теоретическое значение времени прохождения смеси по всем участкам каждого рабочего органа определится выражением:

$$\tau_{ц.} = 2(\tau_{uu} + \tau_{nm1} + \tau_n + \tau_{nm2} + \tau_l). \quad (10)$$

Для исключения застойных зон в смесителе необходимо, чтобы выполнялось условие на каждом рабочем органе [6]:

$$Q_{ш} = Q_{nm.1} + Q_n = Q_{nm.2} + Q_{nep.} = Q_l, \quad (11)$$

где $Q_{ш}$, $Q_{nm.1}$, $Q_{nm.2}$ – соответственно осевая подача шнекового участка, первого и второго участков перемешивающе-транспортирующих лопаток, кг/с;

$Q_{ш}$ – величина подпора, кг/с;

Q_l , $Q_{nep.}$ – величина поперечной подачи соответственно на участке перебрасывающих лопастей и втором участке перемешивающе-транспортирующих лопаток, кг/с.

Частицы корма участвуют в осевом и вращательном движении относительно рабочего органа.

Время нахождения смеси на участках рабочих органов зависит, прежде всего, от осевой подачи.

С учетом схемы движения корма, а также выражений (10) и (11) можно написать:

$$\tau_{ш.} = 2 \left(\frac{Q_{nm.2}}{Q_{nm.2} + Q_{nep.}} \left(\frac{m}{Q_{ш}} + \frac{m}{Q_l} \right) + \frac{m}{Q_{nm.1}} + \tau_n + \frac{m}{Q_{nm.2} + Q_{nep.}} \right), \quad (12)$$

где m – масса загруженного корма, кг.

Осевую подачу шнека рекомендуется определять по формуле [6, 9]:

$$Q_{ш.} = 0,25 \cdot \pi \cdot (D_{ш}^2 - d_{ш}^2) \cdot \omega_{ш} \cdot r_c \cdot \sin \alpha_c (\cos \alpha_c - f \sin \alpha_c) \cdot \rho \cdot \varphi_H^{ш}, \quad (13)$$

где $D_{ш}$ и $d_{ш}$ – диаметры соответственно шнека и его вала, м;

$\omega_{ш}$ – угловая скорость шнековой навивки, с⁻¹;

r_c – средний радиус шнековой навивки, м;

α_c – средний угол развертки шнековой навивки, град.;

f – коэффициент внешнего трения;

ρ – объемная масса корма, кг/м³;

$\varphi_H^{ш}$ – коэффициент заполнения сечения шнека.

Осевая подача участка перемешивающе-транспортирующих лопаток соответственно на первом и втором участках определится выражениями [6]:

$$Q_{nm.1} = \pi (R_{nm.1}^2 - r_{nm.1}^2) \varphi_H^{nm.1} \cdot b_{nm.1} \cdot (\cos \alpha_{nm.1}) \cdot n_{nm.1} \cdot \rho \cdot k_l^{nm.1}, \quad (14)$$

$$Q_{nm.2} = \pi (R_{nm.2}^2 - r_{nm.2}^2) \varphi_H^{nm.2} \cdot b_{nm.2} \cdot (\cos \alpha_{nm.2}) \cdot n_{nm.2} \cdot \rho \cdot k_l^{nm.2}, \quad (15)$$

где $R_{nm.1}$, $R_{nm.2}$, $r_{nm.1}$, $r_{nm.2}$ – максимальный и минимальный радиус перемешивающе-транспортирующей лопатки соответственно на первом и втором участках, м;

$\varphi_H^{nm.1}$, $\varphi_H^{nm.2}$ – коэффициент заполнения смесителя соответственно на первом и втором участках перемешивающе-транспортирующих лопаток;

$\alpha_{nm.1}$, $\alpha_{nm.2}$ – угол установки перемешивающе-транспортирующих лопаток к продольной оси смесителя соответственно на первом и втором участках, град.;

$b_{nm.1}$, $b_{nm.2}$ – ширина перемешивающе-транспортирующих лопаток соответственно на первом и втором участках, м;

$n_{nm.1}$, $n_{nm.2}$ – частота вращения вала смесителя соответственно на первом и втором участках, с⁻¹;

$k_l^{nm.1}$, $k_l^{nm.2}$ – коэффициент, учитывающий обтекание лопатки смешиваемой массой в осевом направлении, соответственно на первом и втором участках перемешивающе-транспортирующих лопаток.

Поперечная подача на втором участке перемешивающе-транспортирующих определится выражением:

$$Q_{nep.} = \pi (R_{nm.2}^2 - r_{nm.2}^2) \varphi_H^{nm.2} \cdot b_{nm.2} \cdot (\sin \alpha_{nm.2}) \cdot n_{nm.2} \cdot \rho \cdot k_{л.р.}^{nm.2}, \quad (16)$$

где $k_{л.р.}^{nm.2}$ – коэффициент, учитывающий обтекание лопатки смешиваемой массой на втором участке в радиальном направлении.

Поперечная подача перебрасывающих лопастей:

$$Q_l = \pi 0,25 \cdot b_l \cdot \varphi_H^l \cdot n_l \cdot z_l (D_l^2 - d_l^2) \cdot \rho \cdot k_l^l, \quad (17)$$

где b_l – ширина лопасти, м;

φ_n^l – коэффициент заполнения на участке перебрасывающих лопастей;

n_l – частота вращения вала смесителя на лопастном участке, с⁻¹;

Z_l – число перебрасывающих лопастей в поперечном сечении, шт.

D_l, d_l – максимальный и минимальный диаметр лопастей соответственно, м;

k_l^l – коэффициент, учитывающий обтекание лопасти смешиваемой массой.

Подставив в (8) выражения (12-17) можно получить выражение для определения теоретической производительности шнеколопастного смесителя.

Для упрощения расчета теоретических показателей работы шнеколопастного смесителя в соответствии с предложенной методикой расчета была составлена программа на языке программирования «Delphi 7.0». Внешний вид рабочего окна программы представлен на рисунке 3.

ВВЕДИТЕ:

Плотность, кг/м

Масса корма, кг

Частота вращения:

- первой части рабочего органа, 1/мин

- второй части рабочего органа, 1/мин

Угол установки перемешивающе-транспортирующих лопаток:

- на первом участке, град.

- на втором участке, град.

Коэффициент внешнего трения

Коэффициент внутреннего трения

Число перемешивающе-транспортирующих лопаток:

- на первом участке, шт.

- на втором участке, шт.

Число перебрасывающих лопастей, шт.

Количество циклов, шт.

Коэффициент заполнения на участке:

- шнековым:

- перемешивающе-транспортирующих лопаток первом:

- перемешивающе-транспортирующих лопаток втором:

- перебрасывающих лопастей:

Подача на участке:

- шнековым осевая, кг/с:

- перемешивающе-транспортирующих лопаток первом, осевая, кг/с:

- перемешивающе-транспортирующих лопаток втором, осевая, кг/с:

- перемешивающе-транспортирующих лопаток втором, поперечная, кг/с:

- перебрасывающих лопастей, кг/с:

Время нахождения смеси за цикл на участке:

- шнековым, с:

- перемешивающе-транспортирующих лопаток первом, с:

- перемешивающе-транспортирующих лопаток втором, с:

- перебрасывающих лопастей, с:

Время цикла, с:

Время смешивания, с:

Мощность, расходуемая на участке:

- шнековым, Вт:

- перемешивающе-транспортирующих лопаток, Вт:

- перемешивающе-транспортирующих лопаток втором, Вт:

- перебрасывающих лопастей, Вт:

Мощность на привод одного рабочего органа, Вт:

Рис. 3. Внешний вид рабочего окна программы для расчета теоретических значений показателей работы шнеколопастного смесителя

При помощи разработанной программы был произведен поиск оптимального соотношения частоты вращения разных частей рабочих органов, а также оптимального соотношения углов установки перемешивающе-транспортирующих лопаток на первом и втором участках. Оптимизация проводилась с точки зрения минимального времени цикла. По полученным данным были построены поверхности отклика. При определении оптимального соотношения частот вращения частей рабочих органов при угле установки лопаток 30° поверхность имела вид, представленный на рисунке 4, а поверхность оптимизации соотношения угла установки лопаток при частоте вращения 20 мин⁻¹ представлена на рисунке 5. Из рисунка 4 видно, что в независимости от соотношения частоты вращения на первой и второй частях рабочего органа происходит снижение времени цикла, меняется только интенсивность его уменьшения. Общая закономерность снижения времени цикла за счет изменения частоты вращения частей рабочих органов состоит в назначении максимально допустимой частоты вращения рабочих органов. Выявить точное соотношение по данным графика невозможно, следует ввести дополнительное условие, как, например, мощность на привод.

Анализ рисунка 5 показывает, что достигнув некоторого минимума при определенном соотношении углов установки перемешивающе-транспортирующих лопаток, время цикла снова начинает расти. Лучшим значением для угла на первом участке перемешивающе-транспортирующих лопаток является $\alpha_{пт.1}=30^\circ$. В первом приближении можно сделать вывод, что следует устанавливать

значение угла перемешивающе-транспортирующих лопаток на первом участке меньше, чем на втором.

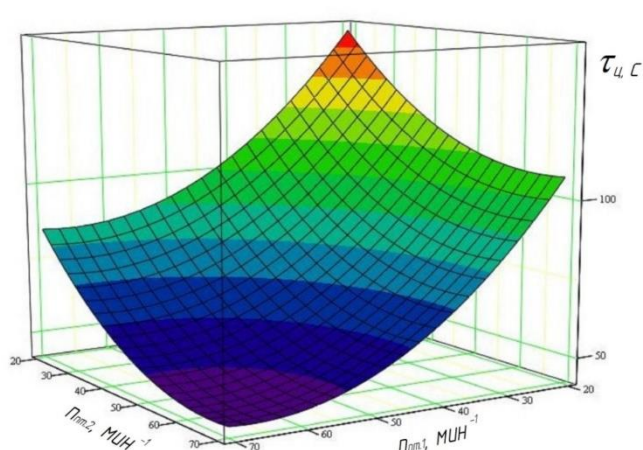


Рис. 4. Поверхность при определении оптимального соотношения частот вращения частей рабочих органов при угле установки лопаток 30°

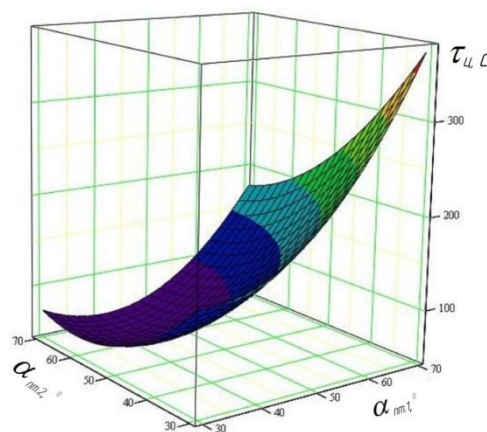


Рис. 5. Поверхность при определении оптимального соотношения углов установки лопаток на разных участках при частоте вращения рабочих органов 20 мин^{-1}

Значения оптимального соотношения углов установки и соотношения скоростей можно найти по уравнению поверхности, определив точку экстремума, так, например, при частоте 20 мин^{-1} оптимальные углы составят $\alpha_{пт.1}=39,62^\circ$, $\alpha_{пт.2}=63,92^\circ$, время цикла 51 секунда, а при постоянном угле установки перемешивающе-транспортирующих лопаток, равном 60° , теоретические значения частот составят – $n_{пт.1}=63,69^\circ \text{ мин}^{-1}$ и $n_{пт.2}=60,21^\circ \text{ мин}^{-1}$, время цикла 34 с. Расчет при других углах установки перемешивающе-транспортирующих лопаток показывает, что оптимально отношение $(n_{пт.1}/n_{пт.2}) \approx 1,05$. Определение оптимального соотношения углов перемешивающе-транспортирующих лопаток при других значениях частоты вращения рабочих органов показывает, что отношение $(\alpha_{пт.1}/\alpha_{пт.2}) \approx 0,62$ и не зависит от угловой скорости лопаток.

Полученные соотношения оптимальны в плане минимального времени цикла, но в плане быстрого достижения высокой однородности смеси могут быть и не оптимальны. Верность сделанных расчетов следует проверить экспериментально.

Заключение. В результате проведения теоретических исследований были получены следующие результаты: разработана конструктивно технологическая схема шнеколопастного смесителя для приготовления сухих рассыпных кормосмесей и обоснованы основные конструктивные параметры его рабочих органов; получены эмпирические выражения, позволяющие определить производительность смесителя и время цикла в зависимости от физико-механических свойств кормов и конструктивно-режимных и технологических параметров; определены теоретические оптимальные соотношения углов установки лопаток на разных участках рабочих органов и их частот вращения с точки зрения минимального времени цикла. Полученные соотношения требуют экспериментальной проверки и уточнения в плане обеспечения требуемого качества смеси.

Библиографический список

1. Астапов, С. Ю. Повышение эффективности смешивания в мобильном раздатчике-смесителе за счет совершенствования шнекового аппарата : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Астапов Сергей Юрьевич. – Мичуринск, 2007. – 179 с.
2. Ведищев, С. М. Исследование влияния конструктивно-режимных параметров шнеколопастного смесителя на его качественные показатели / С. М. Ведищев, Н. В. Хольшев // Вопросы современной науки и практики. – 2011. – №3 (34). – С. 32-34.
3. Ведищев, С. М. Обоснование конструкции смесителя кормов / С. М. Ведищев, А. В. Прохоров, М. М. Свиридов, Н. В. Хольшев // Наука на рубеже тысячелетий : сборник материалов 5 Международной научно-практической конференции 26-27 октября 2008 г. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2008. – С.181-183.

4. Ведищев, С. М. Теоретическое исследование влияния конструктивно-режимных параметров шнеколопастного смесителя на его производительность / С. М. Ведищев, Н. В. Хольшев // Вестник Мичуринского аграрного университета. – 2011. – Ч. 2, №2. – С. 23-26.
5. Ведищев, С. М. Управление подачей дозатора с изменяющимся шагом шнека / С. М. Ведищев, Н. В. Хольшев // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-27 : сб. трудов XXVII Международной науч. конф. – Тамбов : Тамбовский ГТУ, 2014. – Т. 6. – С. 25-28.
6. Гатаулин, А. М. Система прикладных статистико-математических методов обработки экспериментальных данных в сельском хозяйстве / А. М. Гатаулин. – М. : Издательство МСХА, 1992. – Ч. 1. – 192 с.
7. Дёмин, О. В. Оперативное управление процессом смешения / О. В. Дёмин, Д. О. Смосин, В. Ф. Першин // Вопросы современной науки и практики. – 2012. – № 4 (42). – С. 356-366.
8. Иванова, А. П. Интенсификация и оптимизация процесса смешения компонентов при приготовлении сыпучих кормов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05. 20. 01 / Иванова Анастасия Петровна. – Оренбург, 2000. – 20 с.
9. Киямов, И. М. Разработка и обоснование параметров пространственного планетарного смесителя кормовых компонентов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05. 02. 18 / Киямов Ильдус Минахметович. – Казань, 1998. – 24 с.

References

1. Astapov, S. Yu. (2007). Povysheniye effektivnosti smeshivaniya v mobilnom razdatchike-smeshivatela za schet sovershenstvovaniya shnekovogo apparata [Improving the efficiency of mixing in the mobile distributor-mixer using improved auger apparatus]. *Candidate's thesis*. Michurinsk [in Russian].
2. Vedishchev, S. M., & Khol'shev, N. V. (2011). Issledovaniye vliyaniya konstruktivno-rezhimnykh parametrov shnekolopastnogo smesitelya na ego kachestvennyye pokazateli [Investigation of the influence of design-mode parameters of the screw-bladed mixer on its quality indicators]. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo – Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*, 3 (34), 32-34 [in Russian].
3. Vedishchev, S. M., Prokhorov, A. V., Sviridov, M. M., & Khol'shev, N. V. (2008). Obosnovaniye konstrukcii smesitelya kormov [Grounding for the design of the mixer feeds]. *Science at the turn of the Millennium '08: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya (26-27 oktyabrya 2008 goda) – International scientific and practical conference*. (pp. 181-183). Tambov: Publishing Pershina R. V. [in Russian].
4. Vedishchev, S. M., & Khol'shev, N. V. (2011). Teoreticheskoye issledovaniye vliyaniya konstruktivno-rezhimnykh parametrov shnekolopastnogo smesitelya na ego proizvoditel'nost' [Theoretical study of the influence of design-mode parameters of the screw-bladed mixer on its performance]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*, p. 2, 2, 23-26. [in Russian].
5. Vedishchev, S. M., & Khol'shev, N. V. (2014). Upravleniye podachei dozatora s izmenyayushchimsya shagom shneka [Control of supply of the dispenser with the changing step auger]. *Mathematical methods in technics and technologies – ММТТ-27 '14: – XXVII International scientific conference*. (pp. 25-28). Tambov: Tambovskiy GTU [in Russian].
6. Gataulin, A. M. (1992). *Sistema prikladnykh statistiko-matematicheskikh metodov obrabotki eksperimentalnykh dannykh v sel'skom hozyaystve [Applied statistics and mathematical methods of processing of experimental data in agriculture]*. M. : Publishing house of MAA [in Russian].
7. Demin, O. V., Smosin, D. O., & Pershin, V. F. (2012). Operativnoye upravleniye processom smesheniya [Operational management of the process of mixing]. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo – Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*, 4 (42), 356-366 [in Russian].
8. Ivanova, A. P. (2000). Intensifikatsiya i optimizatsiya processa smesheniya komponentov pri prigotovlenii syuchih kormov [Intensification and optimization of the process of mixing of components in the preparation of bulk feed]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Orenburg [in Russian].
9. Kiyamov, I. M. (1998). Razrabotka i obosnovaniye parametrov prostranstvennogo planetarnogo smesitelya kormovykh komponentov [Development and justification of parameters of the spatial planetary mixer of feed components]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kazan [in Russian].