

**С.М. Ведищев**, *д-р техн. наук, профессор,*  
**А.И. Завражнов**, *д-р техн. наук, профессор, академик РАН,*  
**А.В. Прохоров**, *канд. техн. наук, доцент,*  
*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,*  
*г. Тамбов*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ШНЕКОВОГО СМЕСИТЕЛЯ С АКТИВНЫМ КАНАЛОМ ОБРАТНОГО ХОДА

**Ключевые слова:** время, объем, подача, смеситель, шнек.

**Key words:** time, volume, feed, mixer, auger

**Аннотация:** Проведенные исследования показали, что перспективной конструктивно-технологической схемой смесителя является тихоходный шнековый смеситель периодического действия, загрузочная и выгрузная части которого соединены активным каналом обратного хода, имеющий участки взаимопроникновения компонентов кормовой смеси.

Установлено, что время цикла складывается из времени прохождения компонентов смеси по участкам шнековой навивки, тангенциальных лопаток и в канале обратного хода под действием дополнительного шнека. Время нахождения смеси на шнековом участке и в канале обратного хода определяется длиной каждого участка, конструктивными параметрами навивки, углом установки корпуса к горизонту и частотой вращения рабочего органа. При определении времени нахождения на участке взаимопроникновения компонентов смеси необходимо учитывать коэффициент заполнения канала обратного хода и физико-механические свойства компонентов смеси.

Выявлено оптимальное соотношение между диаметрами шнека и дополнительного шнека из условия максимальной объемной производительности смесителя. Моделирование объемной подачи позволило оценить влияние на объемную подачу смесителя в зависимости от отношения шага витка шнека к его диаметру количество витков шнека.

**Abstract.** The conducted studies have shown that a promising design and technological scheme of the mixer is a low-speed screw mixer of periodic action, the loading and unloading parts of which are connected by an active return channel having areas of interpenetration of feed mixture components.

It is established that the cycle time consists of the time of passage of the components of the mixture through the sections of the screw winding, tangential blades and in the return channel under the action of an additional screw. The time spent by the mixture on the screw section and in the return channel is determined by the length of each section, the design parameters of the winding,

the angle of installation of the housing to the horizon and the rotation frequency of the working body. When determining the time spent on the interpenetration site of the components of the mixture, it is necessary to take into account the filling factor of the return channel and the physico-mechanical properties of the components of the mixture.

The optimal ratio between the diameters of the auger and the additional auger from the condition of the maximum volumetric capacity of the mixer is revealed. Modeling of the volumetric feed allowed us to estimate the effect on the volumetric flow of the mixer depending on the ratio of the pitch of the screw turn to its diameter of the number of screw turns.

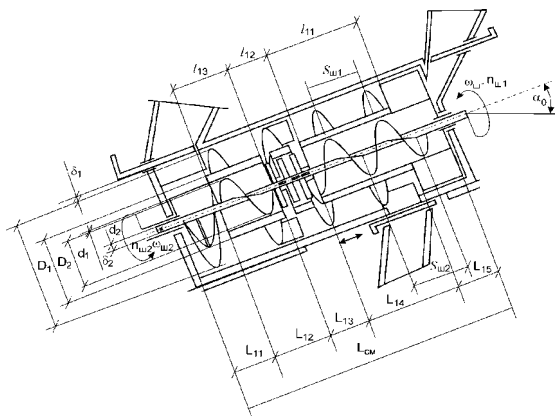
В основу конструктивно-технологической схемы кормосмесителя были положены следующие решения [2, 3, 4, 5, 9]: смешивающий орган, который представляет собой шнек, загрузочная и выгрузная части которого соединены каналом обратного хода; внутри канала обратного хода установлен дополнительный шнек с валом, имеющий участки взаимопроникновения компонентов кормовой смеси с плоскими лопатками вдоль вала: напротив лопаток в канале обратного хода имеются отверстия в виде щелей шириной, превышающей размер характерных частиц корма; напротив отверстий в канале обратного хода на валу шнека установлены плоские лопатки; в конце шнека закреплены тангенциально лопасти с наклоном навстречу движения корма; механизм изменения угла наклона корпуса к горизонту.

Время нахождения кормовой смеси на каждом из участков смесителя определяется ее осевой скоростью [1].

Время цикла будет складываться из времени прохождения компонентов смеси по участкам рабочего органа и определится по выражению (рис. 1):

$$t_{ц} = t_{ш1} + t_{оиф1} + t_{ш2} + t_{тан} + t_{дон1} + t_{оиф2} + t_{дон2}, \quad (1)$$

где  $t_{ш1}$  - время нахождения смеси в шнековой навивке на участке  $(L_{11}+L_{12})$ , с;  $t_{оиф1}$  - время нахождения смеси в шнековой навивке на участке  $L_{13}$ , с;  $t_{ш2}$  - время нахождения смеси в шнековой навивке на участке  $L_{14}$ , с;  $t_{тан}$  - время нахождения смеси на участке тангенциальных лопаток  $L_{15}$ , с;  $t_{дон1}$  - время нахождения смеси в дополнительном шнеке на участке  $L_{14}$ , с;  $t_{оиф2}$  - время нахождения в канале обратного хода в зоне перемеши- вающих лопаток  $L_{13}$ , с;  $t_{дон2}$  - время нахождения смеси в дополнительном шнеке на участке  $L_{12}$ , с.



**Рисунок 1. Расчетная схема смесителя**

Время нахождения смеси в шнеке определится:

$$t_{ш1} + t_{оф1} + t_{ш2} = \frac{L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14}}{g_{ш1}} = \frac{L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14}}{D_1 \cdot n_{ш1} \cdot K_{ш1} \cdot K_{\alpha 1}} \quad (2)$$

где  $g_{ш1}$  - осевая скорость кормового потока, м/с;  $D_1$  - внутренний диаметр шнека, м;  $n_{ш1}$  - частота вращения шнека,  $c^{-1}$ ;  $K_{ш1}$  - отношение шага к диаметру шнека;  $K_{\alpha 1}$  - коэффициент, учитывающий влияние угла наклона шнека к горизонту.

За один оборот шнека корм, находящийся в межвитковом пространстве, поступает в зону тангенциальных лопаток, которые за это же время должны всю поступившую кормовую массу пересыпать в канал обратного хода. Исходя из этого, время нахождения кормовой смеси в зоне тангенциальных лопаток определится по выражению:

$$t_{ман} = \frac{1}{n_{ш1}}, \quad (3)$$

где  $t_{ман}$  - время нахождения смеси в зоне  $L_{15}$  тангенциальных лопаток, с.

Время нахождения смеси в канале обратного хода дополнительного шнека определится:

$$t_{доп1} + t_{оф2} + t_{дон2} = \frac{L_{12} + L_{13} + L_{14}}{g_{дон2}} = \frac{2(L_{12} + L_{13} + L_{14})}{d_1(n_{дон1} + n_{ш1}) \cdot K_{дон1} \cdot K_{\alpha 2}}, \quad (4)$$

где  $d_1$  - наружный диаметр дополнительного шнека, м;  $g_{дон2}$  - осевая скорость кормового потока в дополнительном шнеке на участке  $L_{14}$ , м/с;  $n_{дон1}$  - частота вращения вала дополнительного шнека,  $c^{-1}$ ;  $K_{дон1}$  - отношение шага к диаметру дополнительного шнека;  $K_{\alpha 2}$  - коэффициент, учитывающий влияние угла наклона оси дополнительного шнека к горизонту.

Подача корма через выгрузное окно будет соответствовать подаче кормовой смеси шнековой навивкой [6]:

$$Q_{\text{выг}} = Q_{\text{ул}} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \cdot D_1 \cdot n_{\text{ул}} \cdot K_{\text{ул}} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{\text{ул}} \cdot K_{\alpha 1} \quad (5)$$

Анализ выражений подачи и времени нахождения смеси на каждом из участков смесителя, показывает, что их подача зависит от конструктивных параметров (наружный и внутренний диаметры винтовых рабочих органов, шаг шнека, длина участка), режимных параметров (частота вращения), физико-механических свойств смешиваемых компонентов кормов, угла наклона корпуса к горизонту, коэффициентов заполнения рабочих органов.

Наиболее загруженным участком смесителя с активным каналом обратного хода является участок  $L_{12}$ .

При малом зазоре между наружной кромкой винта дополнительного шнека и каналом обратного хода, а также толщины стенки канала обратного хода относительно небольшой можно принять, что

$$D_2 \approx d_1 \quad (6)$$

Для исключения смещения кормовой смеси в канале обратного хода вал дополнительного шнека и канал обратного хода должны вращаться в противоположных направлениях, причем [7, 8]

$$2n_{\text{ул}} = n_{\text{дон}2} \quad (7)$$

Тогда из условия непрерывности потока и исключения застойных зон можно записать [10]:

$$Q_{\text{ул}} = Q_{\text{дон}2} \quad (8)$$

или

$$\begin{aligned} \frac{\pi(D_1^2 - D_2^2)}{4} \cdot D_1 \cdot n_{\text{ул}} \cdot K_{\text{ул}} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{\text{ул}} \cdot K_{\alpha 1} &= \\ &= \frac{\pi(d_1^2 - d_2^2)}{4} \cdot d_1 \cdot K_{\text{дон}2} \cdot n_{\text{дон}2} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{\text{дон}2} \cdot K_{\alpha 2} \end{aligned} \quad (9)$$

С учетом принятых допущений максимальная производительность смесителя будет определяться следующим соотношением конструктивных параметров:

$$K_L = \frac{D_1}{d_1} \leq \sqrt{1 + \frac{K_{\text{дон}2}}{K_{\text{ул}} \cdot K_{\alpha 1}^2}} \quad (10)$$

где  $K_L$  - соотношение между наружным диаметром шнека и дополнительного шнека.

Производительность смесителя ( $Q_{\text{см}}$ ) определяется его полезным объемом, свойствами кормов, временем приготовления смеси и коэффициентом заполнения смесительной камеры. Увеличение коэффициента ( $\varphi_n$ ) заполнения смесительной камеры и полезного объема позволит увеличить подачу рабочих органов на каждом из участков смесителя.

Увеличение длины участков  $L_{11}$  и  $L_{12}$  позволяет увеличить коэффициент заполнения смесителя, и, как следствие, производительность смесителя.

Для эффективной подачи кормовой смеси количество витков шнековой навивки необходимо принимать кратным целому числу и не менее одного полного витка, т.е.  $L_i = k_S S_i$ , где  $k_S = 1, 2, 3, \dots, n$  – количество витков шнека.

Так как наибольшее значение коэффициента заполнения будет на участках  $L_{11}$  и  $L_{12}$ , а минимальное значение на участках  $L_{13}$  и  $L_{14}$  и с учетом размеров загрузочного окна, то можно принять следующие параметры участков:

$$L_{11} = L_{13} = L_{14} = S_{ш2} = S_{ш1} \quad (11)$$

Увеличение объема смешиваемой кормовой смеси можно достигнуть увеличением длины участка  $L_{12}$ , но при этом будет увеличиваться продолжительность цикла  $t_{ц}$ , что скажется на производительности.

Объем порции кормовой смеси определится как сумма объемов на каждом из участков смесительной камеры:

$$\begin{aligned} V_{см} = & \frac{\pi}{4} \left[ (D_1 + \delta_2)^2 - d_2^2 \right] \cdot L_{11} \cdot \varphi_{ш1} + \frac{\pi}{4} \left[ (D_1 + \delta_1)^2 - D_2^2 \right] \cdot L_{12} \cdot \varphi_{ш1} + \\ & + \frac{\pi}{4} \left[ (D_1 + \delta_1)^2 - D_2^2 \right] \cdot L_{13} \cdot \varphi_{ш2} + \frac{\pi}{4} \left[ (D_1 + \delta_1)^2 - D_2^2 \right] \cdot L_{14} \cdot \varphi_{ш2} + \\ & + \frac{\pi}{4} \left[ (D_1 + \delta_1)^2 - d_2^2 \right] \cdot L_{15} \cdot \varphi_{ман} + \frac{\pi}{4} \left[ (d_1 + \delta_2)^2 - d_2^2 \right] \cdot L_{14} \cdot \varphi_{дон1} + \\ & + \frac{\pi}{4} \left[ (d_1 + \delta_2)^2 - d_2^2 \right] \cdot L_{13} \cdot \varphi_{дон2} + \frac{\pi}{4} \left[ (d_1 + \delta_2)^2 - d_2^2 \right] \cdot L_{12} \cdot \varphi_{дон2} \end{aligned} \quad (12)$$

где  $\delta_1$  - зазор между наружной кромкой винта и корпусом смесителя, м;  $\delta_2$  - зазор между наружной кромкой винта дополнительного шнека и каналом обратного хода, м.

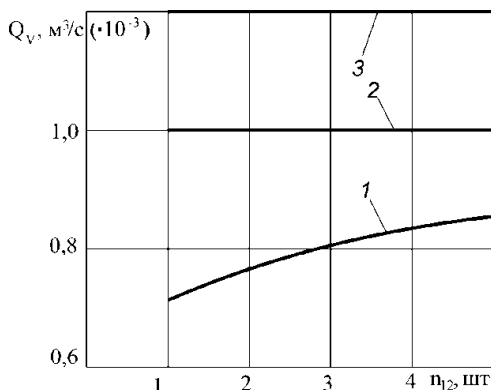
Объемная производительность смесителя за цикл определится по выражению:

$$Q_V = \frac{V_{см}}{t_{ц}}, \quad (13)$$

где  $Q_V$  - объемная производительность смесителя за цикл,  $м^3/с$ .

Моделирование объемной подачи позволило оценить влияние на объемную подачу смесителя в зависимости от отношения шага витка шнека к его диаметру, представленную на рисунке 4, влияния количества витков шнека на участке  $L_{13}$ .

Анализ зависимостей (рис. 2) показывает, что при количестве витков шнека на участке  $L_{12}$  более четырех – объемная подача не увеличивается. Это связано с тем, что увеличение количества витков шнека приводит к увеличению полезного объема смесителя, но при этом возрастает продолжительность перемещения кормовой смеси, и, как следствие, времени смешивания. Рациональное количество витков шнека на участке  $L_{12}$  должно составлять четыре витка.



**Рисунок 2. Зависимость изменения цикловой подачи от количества витков шнека на участке  $L_{12}$  при  $K_{ш} = 1 - 0,4; 2 - 0,6; 3 - 0,8$**

В результате проведенных исследований:

- предложена конструктивно-технологическая схема шнекового смесителя с активным каналом обратного хода;
- получены выражения для определения времени цикла, времени загрузки и времени полной разгрузки готовой кормовой смеси;
- получены выражения для определения подачи рабочих органов на каждом участке шнекового смесителя с активным каналом обратного хода;
- определено рациональное количество витков шнека из условия объемной подачи смесителя за цикл.

### Список использованной литературы

1. Борисова, М. В. Аналитическое описание показателей работы смесителя сыпучих материалов с винтовыми лопастями / М. В. Борисова, В. В. Новиков, В. В. Коновалов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1. – С. 69–78.
2. Ведищев, С. М. Анализ малогабаритных комбикормовых агрегатов / С.М. Ведищев, А.А. Кажияхметова, Н.В. Хольшев // Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья [Электронный ресурс] : материалы I Всерос. конф. с междунар. участием / под общ. ред. Ю. В. Родионова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – С. 135–151.
3. Ведищев, С.М. Смесители-дозаторы сухих рассыпных кормов / С.М. Ведищев, А.И. Завражнов, А.Н. Зазуля, В.П. Капустин // Промышленность и сельское хозяйство. – №12(17). – 2019. – С. 10–14.
4. Ведищев, С.М. Технология получения комбикормов в хозяйствах / С.М. Ведищев, М.Е. Выгузов, П.Д. Плохих, А.В. Прохоров, А.С. Ткачев // Инновационные подходы к разработке технологий производства, хране-

ния и переработки продукции растениеводческого кластера: материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Мичуринск, Издательство: Мичуринский государственный аграрный университет, 2020. – С. 144–149.

5. Ведищев, С.М. Шнековый дозатор с каналом обратного хода / С.М. Ведищев, А.И. Завражнов, Д.Н. Балахонова, В.В. Сорокин, М.А. Гарина, А.В. Козлов // Наука в центральной России. – 5(17). – 2015. – С. 29–33.

6. Влияние угла установки барабана смесителя на качество смеси / К. П. Фудин, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев, В. В. Коновалов // Наука в центральной России. – 2020. – № 3(45). – С. 12-19. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-3-12-19.

7. Влияние частоты вращения мешалки и длины ее лопаток на качество смеси / М. В. Фомина, А. В. Чупшев, В. П. Терюшков, В. В. Коновалов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1. – С. 63–69.

8. Влияние частоты вращения мешалки и количества её лопастей на качество приготавливаемой смеси тихоходным смесителем / М. В. Борисова, В. В. Новиков, А. Ю. Титов, В. В. Коновалов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3(77). – С. 136–141.

9. Кажияхметова, А.А. Моделирование процесса смешивания в шнековом смесителе с активным каналом обратного хода для получения экологически безопасных смесей / А.А. Кажияхметова, А.И. Завражнов, С.М. Ведищев, А.В. Прохоров, М.Е. Выгузов // Цифровизация агропромышленного комплекса [Электронный ресурс] : сборник научных статей II Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х т. Тамбов, 21 – 23 октября 2020 г. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. Т. II. – С. 320–324.

10. Регрессионная модель производительности опорожнения тихоходного смесителя / М. В. Борисова, А. Ю. Титов, В. В. Новиков, В. В. Коновалов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2(50). – С. 103-108. – DOI 10.31563/1684-7628-2019-50-2-103-109.

**УДК 537.6/6.8**

**Щурин К.В., д-р техн. наук, профессор,**

**Паньш Ю.Н., магистрант**

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный  
технический университет»*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЖИДКИХ ДИАМАГНЕТИКОВ**

**Ключевые слова:** магнетизм, магнитная индукция, проращивание семян, магнитная обработка воды, накипь, жёсткость воды, бетон.