

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ КОРМОВЫХ КОМПОНЕНТОВ В СМЕСИТЕЛЕ БАРАБАННОГО ТИПА

Иван Ревенко, Оксана Ачкевич

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Ivan Revenko, Oksana Achkevich

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Проведен анализ перемещения материала внутри камеры при смешивании и определены качественных показателей комбикормовых смесей, полученных в наклонных барабанных смесителях с регулируемым расположением оси камеры.

Ключевые слова: комбикорма, смешивание, барабан, лопатка, частота вращения, угол наклона, равномерность смешивания.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Среди различных видов кормов ведущее место занимают комбинированные корма, которые являются не только насыщенным источником питательных веществ, но и средством балансирования рационов в соответствии с нормами кормления животных [1, 3, 6, 7, 15, 20]. В последние десятилетия доминирующее производство комбикормов постепенно перемещается от специализированных комбикормовых заводов непосредственно в сельскохозяйственные предприятия. Создано и изготавливается значительное количество комбикормовых агрегатов, работа которых базируется на использовании собственного зернового сырья и закупленных смесей белково-минерально-витаминных добавок (БМВД). При этом стоимость комбикормов, приготовленных непосредственно в хозяйствах, на 15-25% ниже, чем изготовленных специализированными предприятиями [11,12,19,21,22].

Расширению производства комбикормов в хозяйствах и получения от этого максимальной отдачи при использовании в животноводстве сдерживается несовершенством существующих механизированных технологий и недостаточностью технических средств по приготовлению смесей добавок с высокой равномерностью распределения компонентов.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ конструкторских решений смесителей сыпучих материалов, проведенный в направлении выявления их технологического соответствия для получения смесей добавок, показал целесообразность применения смесителей с вращающейся камерой, которые в отличие от других технических решений позволяют в процессе перемешивания возвращать в общий перемешиваемый поток осевшие на дне камеры более тяжелые частички материала [10, 13, 17]. Рядом авторов также проводились исследования [4, 8, 18] по использованию горизонтальных барабанных смесителей для приготовления комбикормов. Однако результаты сравнительной оценки технико-экономических показателей барабанных смесителей показали [2], что горизонтально расположенные барабаны уступают наклонным по интенсивности перераспределения потоков и равномерности смешивания компонентов в получаемом продукте.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данных исследований является повышение эффективности перемещения компонентов и качественных показателей (равномерность перераспределения) комбикормовых смесей, полученных в наклонных барабанных смесителях с регулируемым расположением оси камеры.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Барабанный смеситель с цилиндрической формой камеры, ось симметрии которого смещена относительно горизонтальной оси вращения, схематически представлен на рис.

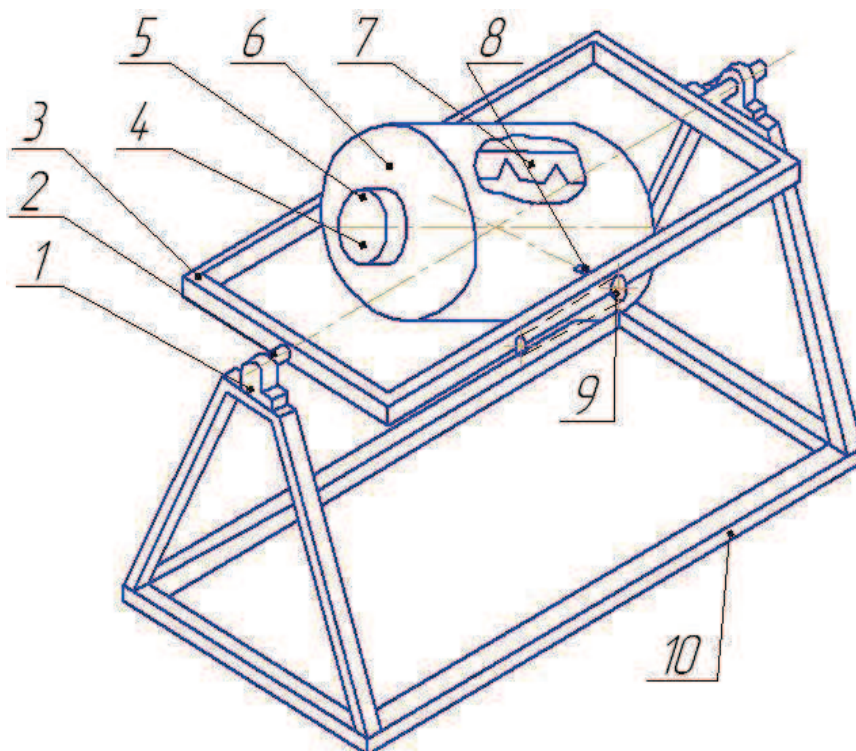


Рис. 1. Конструкторская схема барабанного смесителя с наклонной камерой:
1 – подшипниковые узлы; 2 – цапфа рамки; 3 – рамка; 4 – крышка; 5 – окно; 6 – камера смешивания; 7 – лопатка; 8 – цапфа камеры; 9 – механизм регулирования угла наклона камеры; 10 – опорная рама

Fig. 1. Designer chart of tumbler-blender with a sloping chamber

Кроме активного перемешивания в плоскости поперечного сечения, в радиальном и угловом направлениях камеры, такая конструкция позволяет получать знакопеременные потоки материала также в продольном направлении барабана.

Изучение характера перемещения частиц в прозрачной камере показало, что после вхождения в циркуляционное движение весь материал можно разделить на участки подъема $ACBM$ и скатывания $ACBQ$ (рис. 2). Точка C – центр циркуляции, вокруг которого сыпучий материал движется по замкнутому контуру. На отрезке AC происходит переход частичек из участка подъема в участок скатывания, а на отрезке CB , наоборот, из участка скатывания в участок подъема. Граница раздела участков несимметрична относительно центра циркуляции. Причем большая часть материала располагается на участке подъема, т.е. ниже центра циркуляции, над которым образуется прогиб.

При вращении камеры с гладкой поверхностью взаимного перемещения частиц материала в зоне подъема не происходит, по-

этому корм на этом участке можно рассматривать как монолитную массу [16].

Перераспределение частиц материала между собой в цилиндрической камере, оснащенной лопатками, характеризуется следующими переходными процессами:

- отрыв частиц от внутренней поверхности камеры,
- движение частиц по открытой поверхности сегмента материала,
- перемещение частиц по лопатке,
- свободное падение частиц после отрыва от лопатки.

Целесообразно рассмотреть функциональные зависимости положения частицы на граничных участках указанных переходных процессов.

Движение частицы по открытой поверхности сегмента начинается в тот момент, когда эта поверхность будет наклонена к горизонту под углом α_ω , величина которого зависит от угла трения α_c ($\alpha_\omega > \alpha_c$), угловой скорости вращения барабана ω и коэффициента заполнения его материалом k .

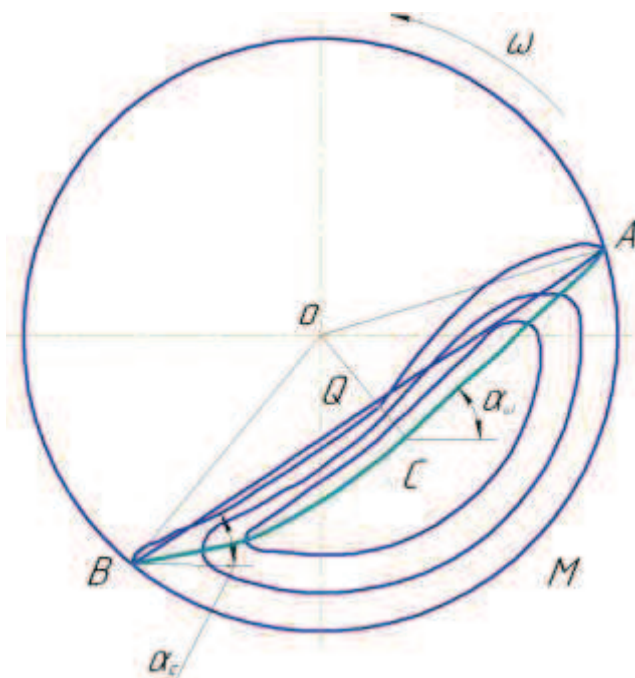


Рис. 2. Схема движения материала в гладкой камере
Fig. 2. Chart of motion of material is in smooth chamber

На верхнюю частицу материала, приведенную к системе координат XAY, действуют силы (рис. 3): гравитации – mg , нормальная реакция рабочей поверхности камеры – N , трения по поверхности барабана fN и

центробежная сила – $m\omega^2 R$ (здесь m – масса частицы; g – ускорение силы тяжести; f – коэффициент трения материала; R – радиус вращения частицы).

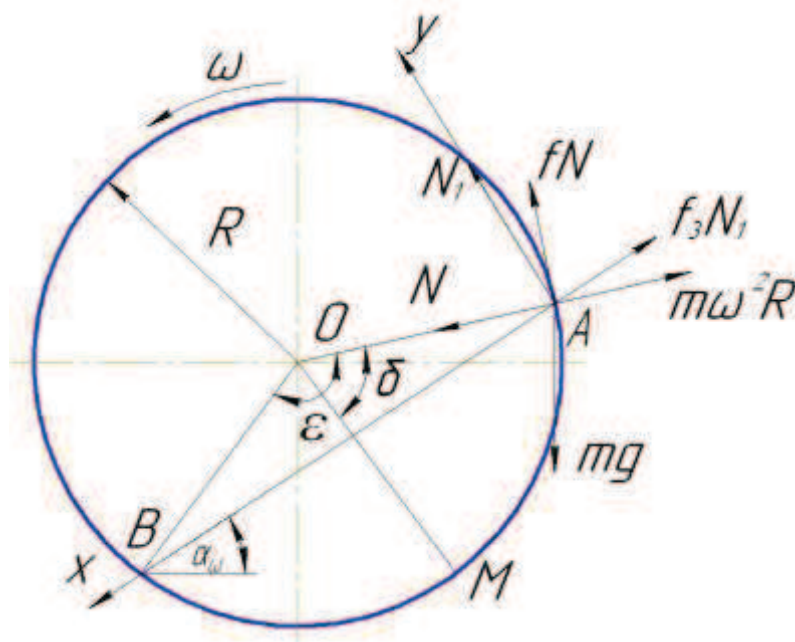


Рис. 3. Схема действия сил на материал при подъеме его поверхностью камеры и скатывании

Fig. 3. Chart of action of forces on material at getting up by his surface of chamber and rolling

Уравнения состояния частицы в момент отрыва имеют вид:

$$mg \sin \alpha_\omega + N \sin \delta = m\omega^2 R \sin \delta + fN \cos \delta; \quad (1)$$

$$fN \cos \delta + N \cos \delta = m\omega^2 R \cos \delta + mg \cos \delta. \quad (2)$$

Откуда значение угла α_ω , при котором начинается движение по свободной поверхности сегмента, определяется таким образом:

$$\alpha_\omega = \arccos \sqrt{\frac{\omega^4 R^2 [\sin^2 \delta (f \sin \delta - \cos \delta)^2 + f^2 \cos^4 \delta - \sin^2 \delta \cos^2 \delta] - g(f \sin \delta + \cos \delta)}{g^2 [(f \sin \delta - \cos \delta)^2 - \sin^2 \delta + f^2 \cos^2 \delta]}}. \quad (3)$$

После прохождения частицей точки А начинается скатывание ее в нижнюю зону. С учетом действующих на частицу сил при скатывании – нормальная реакция материала N_1 , направленная по оси Y и трения $f_3 N_1$ по поверхности барабана – движение частицы можно записать следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mg \sin \alpha_\omega - f_3 N_1; \\ m\ddot{y} = N_1 - mg \cos \alpha_\omega, \end{cases} \quad (4)$$

где: f_3 – коэффициент трения по зерновому шару.

Решение системы (4) позволяет найти время $t_{ц.п}$ движения к центральному сечению, измеряемое половиной длины хорды АВ, и скорость v прохождения этого сечения:

$$t_{ц.п} = \sqrt{\frac{2R \sin \delta}{g(\sin \alpha_\omega - f_3 \cos \alpha_\omega)}}; \quad (5)$$

$$v = \sqrt{2R \sin \delta (\sin \alpha_\omega - f_3 \cos \alpha_\omega)}. \quad (6)$$

Если на участке разгона угол α_ω больше величины угла трения частицы по поверхности скатывания, то на участке замедления, в результате искривления поверхности, угол α_ω становится меньше угла трения и частичка останавливается [14].

Движение по поверхности радиально установленной лопатки начинается после выхода ее из монолита материала и поворота на определенный угол θ относительно горизонтали. В этот момент на частицу, расположенную на расстоянии l_1 от поверхности цилиндра, действуют силы нормальной реакции N_2 поверхности лопатки и обусловленная ею сила трения – fN_2 (рис. 4).

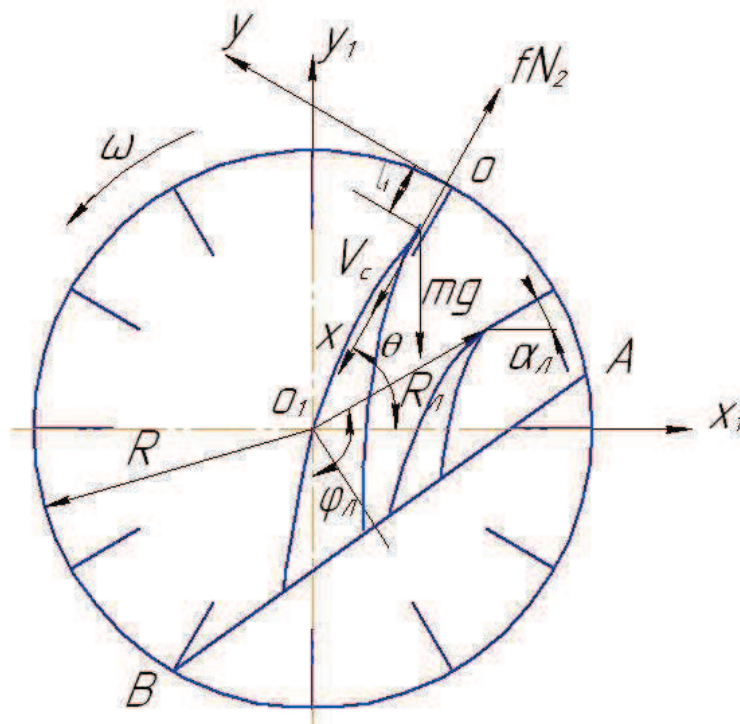


Рис. 4. Схема действия сил при движении материала по лопатке и падения с нее

Fig. 4. Chart of action of forces at motion of material on a shoulder-blade and falling from its

Уравнение движения частицы, перемещающейся по лопатке относительно системы координат XOY, запишется так:

$$m\ddot{x} = fmg \cos \theta - mg \sin \theta. \quad (7)$$

Последовательным интегрированием получаем скорость частицы v_{ck} и пройденный ею путь:

$$v_{ck} = gt (\sin \theta - f \cos \theta) + \omega(R - l_1); \quad (8)$$

$$x = 0.5gt^2(\sin \theta - f \cos \theta) + \omega(R - l_1)t + l_1. \quad (9)$$

Величина скорости v_{ck} , приобретенная частицей при схождении с лопатки, является начальной при дальнейшем ее движении – свободном падении в незаполненном пространстве камеры до опускания на поверхность рабочего сегмента материала.

После схода с лопатки частицы падают по параболическим траекториям. Траектория положения каждой частицы в свободном падении, относительно системы координат X_1OY_1 , может быть подана так:

$$\begin{cases} x_1 = R_l \left(\varphi_l - \frac{\pi}{2} \right) - v_o t \cos \alpha_l; \\ y_1 = R_l \left(\varphi_l - \frac{\pi}{2} \right) - v_o t \sin \alpha_l - \frac{gt^2}{2}, \end{cases} \quad (10)$$

где: R_l – радиус траектории движения края лопатки; φ_l – угол поднимания лопатки; v_o – начальная скорость; α_l – угол наклона лопатки.

Скатывание частиц с верхнего слоя материала, вынесенного лопаткой, начинается при превышении угла наклона этого слоя величины угла трения материала. И для решения системы (10) можно дополнительно использовать уравнение связи по координатам x_l и y_l , составленное для описания верхней границы завала и имеющее следующий вид:

$$y = x_1 tg \alpha - \frac{R \cos \delta}{\cos \alpha}. \quad (11)$$

Совместное решение уравнений (10) и (11) позволяет найти время падения t_n частицы с лопатки до момента достижения ею верхней границы завала:

$$t_n = \sqrt{\frac{2}{g} \left[R_l \sin \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) + \frac{R \cos \delta}{\cos \alpha} - R_l \cos \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) tg \alpha \right]}. \quad (12)$$

Для повышения равномерности смешивания необходимо организовать потоки материала вдоль камеры. В исследуемом смесителе это достигается за счет отклонения оси цилиндра от оси вращения. При перехо-

де камеры с крайних левого или правого положения до вертикального происходит изменение направления движения частичек в зоне скатывания. Причем, расположение линии максимального скатывания в пространстве смешивания будет определяться углом $\alpha_{\omega z}$ между траекторией движения и ее проекцией на поперечное сечение, а также коэффициентом внутреннего в слое f_3 . Средняя скорость перемещения в продольном направлении будет составлять:

$$v_{cp.j} = \sqrt{gR(\sin \alpha_{\omega z} - f_3 \cos \alpha_{\omega z}) \sin \delta}. \quad (13)$$

С приведенной зависимости (13) при известных значениях коэффициентов трения и заполнения камеры, а также ее размеров можно получить количественную характеристику объемов потоков, которые циркулируют в осевом направлении. Качество смеси в наклонном барабане регулируется расположением оси камеры.

Для оценки показателя равномерности p смешивания были проведены исследования с реализацией плана многофакторного эксперимента. В качестве основных были выделены следующие факторы:

- угол смещения оси вращения относительно оси симметрии барабана (угол наклона барабана) - β ;
- ширина перемешивающей лопатки - S ;
- количество лопаток на внутренней поверхности барабана - z ;
- отклонение плоскости лопатки от радиального положения (наклон лопатки) - α ;
- коэффициент заполнения камеры смешивания - k ;
- длительность периода смешивания - t .

Экспериментальные исследования выполнены на лабораторной установке, являющейся моделью натурального смесителя. Полученные результаты приведены к параметрам типоразмерного ряда натуральных образцов смесителей с объемом камеры смешивания на 50, 200 и 500 л.

В результате обработки данных относительно совокупного влияния указанных выше технологических и конструктивных параметров барабанного смесителя на равномерность смешивания компонентов комбикормов была получена такая математическая модель:

$$P = 77,78 - 10,38 \cdot k - 3,20 \cdot k^2 - 0,87 \cdot z + 1,31 \cdot k \cdot z - 0,01 \cdot z^2 + 0,04 \cdot S + 0,35 \cdot k \cdot S +$$

$$\begin{aligned}
 &+ 0,009 \cdot z \cdot S - 0,003 \cdot S^2 + 0,09 \cdot t - 0,004 \cdot k \cdot t + 0,0001 \cdot z \cdot t + 0,00004 \cdot S \cdot t - 0,0001 \cdot t^2 - \\
 &- 23,18 \cdot \alpha - 3,15 \cdot k \cdot \alpha + 0,27 \cdot z \cdot \alpha + 0,06 \cdot S \cdot \alpha + 0,02 \cdot t \cdot \alpha + 9,87 \cdot \alpha^2 + 72,51 \cdot \beta - 16,04 \cdot k \cdot \beta + \\
 &+ 0,57 \cdot z \cdot \beta - 0,35 \cdot S \cdot \beta - 0,35 \cdot S \cdot \beta - 0,5 \cdot t \cdot \beta + 22,57 \cdot \alpha \cdot \beta - 68,13 \cdot \beta^2.
 \end{aligned} \tag{14}$$

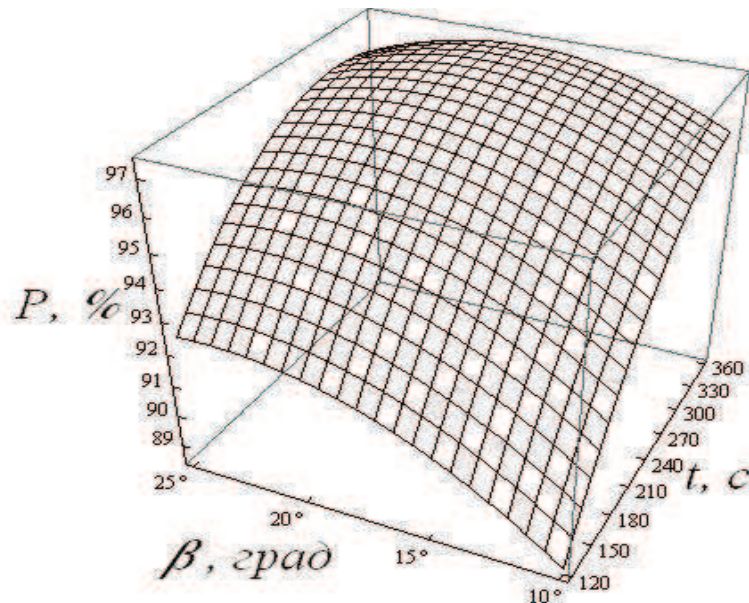


Рис. 5. Пространственная зависимость однородности смеси p от угла наклона β оси барабана и периода смешивания t при:

$$k = 0,6; S = 30 \text{ мм}, z = 9 \text{ шт} \alpha = 15 \text{ град}$$

Fig. 5. Spatial dependence of homogeneity of mixture of p on the angle of slope β of axis of drum and period of mixing of t

На рис.5 изображена поверхность отклика, показывающая зависимость равномерности смешивания от угла наклона барабана β и продолжительности процесса t . Зона максимальных значений равномерности приходится на сочетание нижних границ интервала угла наклона и длительности периода смешивания. С увеличением этих параметров поверхность отклика приобретает выпуклую форму, а при их верхних границах наблюдается тенденция уменьшения равномерности. Причем, на рост показателя равномерности более существенно влияет длительность смешивания. В диапазоне выбранных границ параметров равномерность может варьировать от 89% до 97%. Экстремальный участок поверхности отклика располагается вблизи точки $\beta = 19$ град и $t = 300$ с.

На рис. 6 приведена пространственная зависимость равномерности смешивания от одновременно действующих коэффициента заполнения камеры k и ширины рабочей плоскости лопатки S . Особенность поверхности отклика в том, что она имеет перекал в

центральной зоне величин параметра S . То есть, зависимость равномерности смешивания от коэффициента заполнения камеры носит линейный характер со сменным на противоположное значение угловым коэффициентом функции. Рост коэффициента заполнения при малых значениях ширины лопатки приводит к относительному уменьшению массы активных потоков скатывания материала в поверхностных зонах, вызывает ухудшения условий массообмена в камере, а с увеличением ширины лопатки и повышением коэффициента заполнения камеры возрастает количество материала, которое выносится над поверхностью скатывания, что приводит к резкому улучшению показателя равномерности. Границы варьирования величины равномерности располагаются на интервале от 95,3% до 96,4%.

Совместное влияние угла наклона α перемешивающей лопатки и количества лопаток N образуют поверхность отклика с возрастающей величиной показателя однородности при повышении значений других переменных параметров (рис. 7).

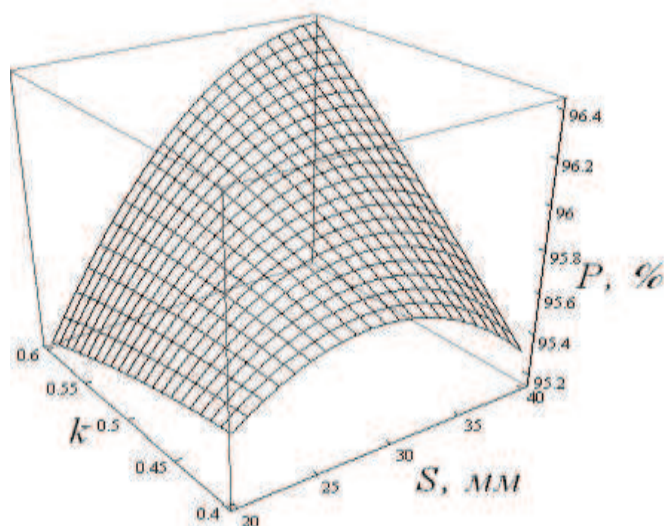


Рис. 6. Пространственная зависимость однородности смеси p от коэффициента заполнения камеры k и ширины лопатки S при $\beta = 17,5$ град.; $z = 9$ шт.; $\alpha = 15$ град.; $T = 240$ с
Fig. 6. Spatial dependence of homogeneity of mixture of p on the fill factor of chamber of k and widths of shoulder-blade of S at $\beta = 17,5$ hail.;
 $z = 9$; $\alpha = 15$ hail.; $T = 240$ c

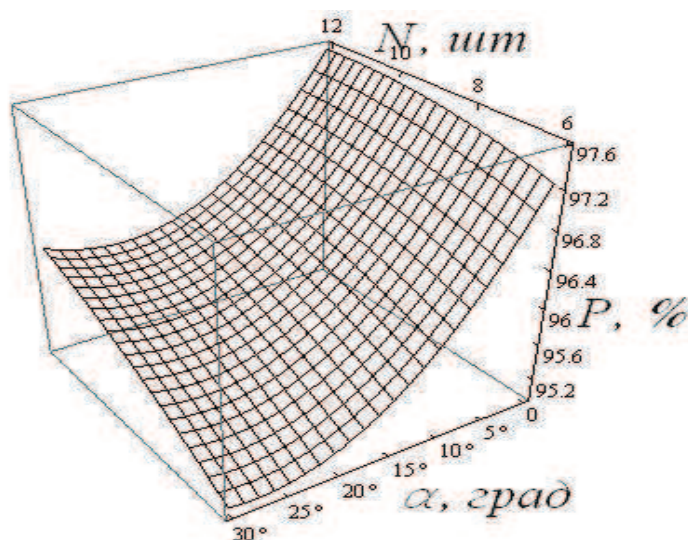


Рис. 7. Пространственная зависимость однородности смеси p от угла наклона лопатки α и их количества z при $\beta = 17,5$ град.; $S = 30$ мм; $k = 0,5$; $t = 240$ с
Fig. 7. Spatial dependence of homogeneity of mixture of p on the angle of slope of shoulder-blade α and their amount of z at $\beta = 17,5$ град.; $S = 30$ мм; $k = 0,5$; $t = 240$ с

С увеличением угла наклона от радиального положения равномерность смешивания интенсивно снижается, что вызвано уменьшением массы материала, поднятого над поверхностью скатывания и сужением пучка траекторий свободного падения частиц с лопатки при значительном заполнении камеры и увеличенных наклонах ее оси к горизонту. Увеличение количества лопаток на всем промежутке углов ее наклона несколько улучшает равномерность перемешивание и может достигать 97,5% при радиальном рас-

положении лопаток. Для определения рациональных параметров и режимов работы барабанной камеры были построены плоские сечения поверхностей отклика. Поскольку рассмотренная пространственная зависимость (рис. 5) указывает, что на качество смеси p наиболее существенно влияют угол наклона β оси барабана и период смешивания t . Поэтому рассмотрение графиков изменения однородности следует начать именно с зависимостей p от β и t .

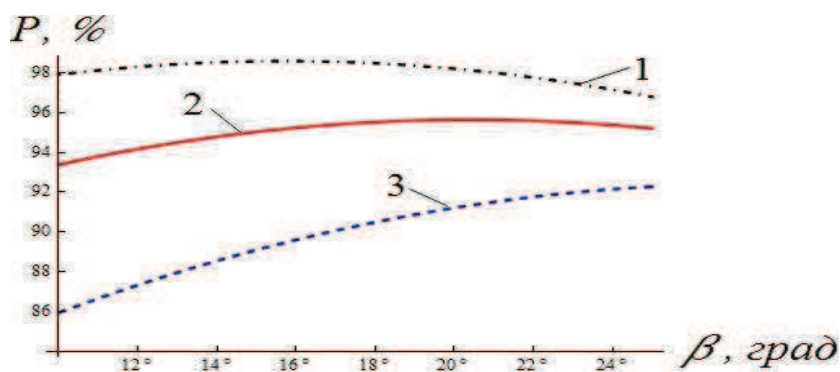


Рис. 8. Зависимость однородности смеси p от угла наклона оси барабана β при следующих сочетаниях фиксированных факторов:

- 1 - $S = 30$ мм; $z = 12$ шт; $\alpha = 0$ град; $k = 0,55$; $t = 360$ с;
- 2 - $S = 40$ мм; $z = 8$ шт; $\alpha = 15$ град; $k = 0,45$; $t = 240$ с;
- 3 - $S = 20$ мм; $z = 6$ шт; $\alpha = 25$ град; $k = 0,4$; $t = 120$ с.

Fig. 8. Dependence of homogeneity of mixture of p on the angle of slope of axis of drum β at next combinations of the fixed factors:

Из рис. 8 и рис. 9 видно, что с увеличением угла наклона β оси барабана и продолжительности t смешивания интенсивность улучшения равномерности p смешивания снижается.

Графические зависимости представляют собой пучок слегка выпуклых кривых, сближающихся между собой с вдоль оси абсцисс. Диапазон изменения углов 16-20 град можно считать зоной насыщения во времени не менее 240 с. С увеличением угла наклона оси камеры наблюдается уменьшение показателя равномерности. Вероятно влияет явление сползания отдельных порций материала, расположенных на лопатках до наступления

их отрыва и свободного падения. При значениях углов $\beta = 16-20$ град. можно достичь равномерности 95-98%, что удовлетворяет зоотехническим требованиям для всех групп животных. Длительность смешивания проявляет наиболее доминирующее влияние на равномерность. В интервале периода смешивания 240-360 с и при угле наклона 10, 15 и 20 град полученная равномерность для всех исследуемых вариантов значений фиксированных факторов, располагается в пределах 92-98%. Таким образом, диапазон изменения фактора угла и периода смешивания могут быть рекомендован таким: $\beta = 15-20$ град, $T = 240-360$ с.

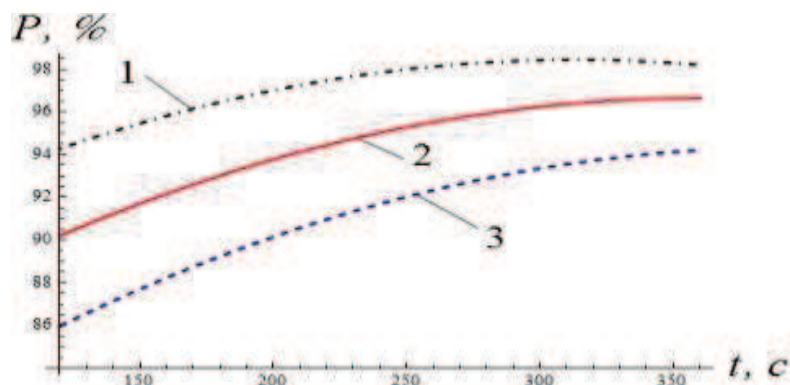


Рис. 9. Зависимость равномерности смешивания p от продолжительности процесса t при следующих сочетаниях фиксированных факторов:

Fig. 9. Dependence of evenness of mixing of p on duration of process of t at next combinations of the fixed factors:

- 1 - $S = 35$ мм; $z = 10$ шт; $\alpha = 0$ град; $k = 0,55$; $\beta = 20$ град;
- 2 - $S = 40$ мм; $z = 8$ шт; $\alpha = 15$ град; $k = 0,45$; $\beta = 15$ град;
- 3 - $S = 20$ мм; $z = 6$ шт; $\alpha = 25$ град; $k = 0,4$; $\beta = 10$ град

Приведенные пространственные изображения поверхностей отклика и графические зависимости, полученные из результатов табулирования математической модели, не дают возможности определить показатель равномерности смешивания по всему пространству влияния воздействующих факторов. Но поскольку показатель однородности, согласно зоотехнических требований, является основным критерием оценки качества приготовленного комбикорма, то целесообразно иметь значение и характер изменения равномерности по всей области исследуемого пространства. Такое решение дает построение линий равного отклика. Пользуясь пространственными поверхностями отклика равномерности смеси в зависимости от объединенных факторов $[\beta, t]$, $[k, S]$, $[\alpha, N]$ на горизонтальную плоскость были спроектированы линии равного значения показателя p . Один из них $p = F[\beta, t]$ приведен на рис. 10. Нанесенные на рис. 10 линии изменения равномерности, соответствующие переменным β и t , подтверждают, что по сравнению с другими сочетаниями факторов они дают больше возможностей улучшить качество полученной смеси.

При работе камеры, наклоненной на угол 10 град, уже через 120 с показатель равно-

мерности составляет 89%. Дальнейшее увеличение продолжительности смешивания и роста угла наклона оси камеры приводит к улучшению распределения компонентов в смеси, причем фактор времени влияет более интенсивно, на что указывает угол наклона касательных к контурам, проведенных в точках пересечения их с линией направления движения в зону оптимума. Участок, очерчен показателем равномерности $p = 97\%$, определяется пределами наклона камеры $\beta = 14,5-23$ град, а нижний предел продолжительности смешивания составляет $t \geq 280$ с. Полученные контуры равного значения функции отклика, что позволяет выбирать величины β и t при заданном ограничительном значении показателя равномерности.

В целом построение и анализ графиков равного значения показателя равномерности подтверждает, что в рамках заданных конструктивных и режимных параметров обеспечивается соблюдение качества полученной смеси в пределах оговоренных зоотехнических нормам.

Перерасчет величин рациональных параметров лабораторной установки применительно к смесителям типоразмерного ряда представлен в таблице 1.

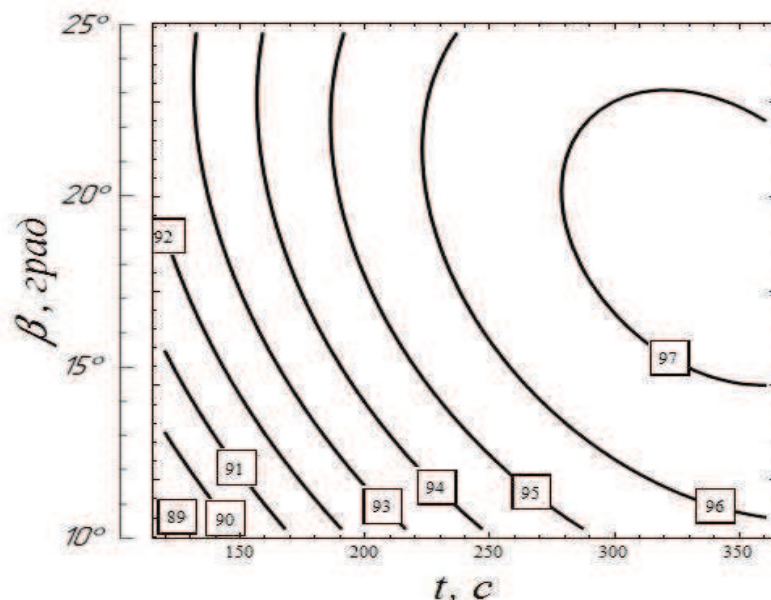


Рис. 10. Линии равного значения показателя однородности процесса смешивания p при переменных β и t . Фиксированные величины:

Fig. 10. Lines of equal value of index of homogeneity of process of mixing of p at variables β and t .

Fixed sizes:

$k = 0,6$; $S = 30$ мм; $N = 9$ шт; $\alpha = 15$ град

Таблица 1. Характеристика параметров барабанных смесителей
Table 1. Description of parameters of tumbler-blenders

Наименование параметров смесителя	Значение параметров для типоразмеров смесителей		
	1-ый	2-й	3-ий
Объем камеры смешивания, л	50	200	500
Диаметр камеры, мм	350	550	800
Длина камеры, мм	520	830	1400
Коэффициент заполнения	0,45 – 0,55		
Частота вращения барабана, с ⁻¹	0,45-0,48	0,29-0,32	0,2-0,22
Угол наклона барабана, град	16 - 20		
Количество лопаток, шт	9	12	15
Ширина лопатки, мм	70	115	160
Длительность смешивания, с	320		

ВЫВОДЫ

1. Получены функциональные зависимости для определения коэффициента заполнения камеры, условий связи с поверхностью и начала скатывания частичек по свободной поверхности материала в камере, длительности смешивания, круговой скорости перемещения потоков, скорости материала в поперечном направлении.

2. Определены рациональные величины технологических и конструктивных параметров установки, приведенные в соответствии к рекомендуемым вариантам типоразмерного ряда смесителей.

3. Рекомендованные значения параметров смешивания обеспечивают технологическую надежность и равномерность распределения компонентов в смеси, установленную зоотехническими требованиями. Показатель равномерности распределения компонентов составляет 95-98%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Achkevich O.M. 2008: Istorichni aspekti stanovlennya biotekhnologichnikh ta tekhniko-ekonomichnikh peredumov rozvitku mekhanizovanikh tekhnologiy godivli tvarin kormosumishkami /Materialy IV mezinarodni vedecko-prakticka konference/ Vedesky prumuslev ropskenokontinentu 2008/ Dil 11. – Praha: Publishing House “Educationand Science”. – 27-28.

2. Achkevich O.M. 2012: Obgruntuvannya viboru tipu zmishuvacha kombikormovikh dobavok /O.M. Achkevich //Naukoviy visnik natsionalnogo universitetu bioresursiv i priroдокористuvannya Ukraini. Seriya: tekhnika ta yenergetika APK – K.: – Vip. 170, ch. 2. – 263-271.

3. Belyayevskiy Yu.I. 1981: Kormosmesi i kormovyye dobavki v molochnom zhivotnovodstve / Yu.I. Belyayevskiy, T.N. Sazonova. – M.: Rosselkhozizdat. – 205.

4. Boyko L.Ya. 1976: Issledovaniye protsessa smeshivaniya belkovo-vitaminnykh dobavok : avtoref. diss. na soisk. nauchn. step. kand. tekhn. nauk : spets. 05.410 «Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva» /L.Ya. Boyko. – M.: – 19.

5. Denisko Ye. 2012: Obosnovaniye parametrov vibratsionnogo shelushitelya zerna /E. Denisko, A. Tkachuk // MOTROL: International jornal onoreration of farmandagri-foodindustry machinery. Lublin: – 2012. – Vol. 14, No. 3. – 78-86.

6. Denisov N.I. 1970: Proizvodstvo i ispolzovaniye kombikormov / N.I. Denisov. – M.: Kolos. – 239.

7. Dmitrochenko A.D. 1961: Kormleniye selskokhozyaystvennykh zhivotnykh / A.D. Dmitrochenko, P.D. Pshenichnyy. -L.-M.: Selkhozizdat. – 5-9.

8. Yevseyenkov S.V. 1980: Osnovy rascheta protsessa smeshivaniya komponentov sypuchikh materialov: avtoref. diss. na soisk. nauchn. step. kand. tekhn. nauk: spets. 05.410

- «Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva» /S.V. Yevseyenkov. – Chelyabinsk: – 22.
9. Kovbasa V. 2012: Analiz protsessa podachi zerna v rabochuyu kameru izmelchitelya / V. Kovbasa, V. Solomka, O. Solomka //MOTROL: International jornal onoreration of farmandagri-foodindustry machinery. Lublin: – Vol. 14, No. 3. – 47-55.
10. Korotych V.I. 1962: Dvizheniye sypuchego materiala vo vrashchayushchemsya barabane / V.I. Korotych // Stal. – №8. – 680-686.
11. Koshelev A.N. 1986: Proizvodstvo kombikormov i kormovykh dobavok / A.N. Koshelev, L.A. Glebov. –M.: Agropromizdat. – 176.
12. Lobanovskiy G.A. 1973: Tekhnologiya virobnitstva kombikormiv / G.A. Lobanovskiy. – K.: Urozhay. – 136.
13. Makarov Yu.I. 1973: Apparaty dlya smesheniya sypuchikh materialov / Yu.I. Makarov. – M.: Mashinostroyeniye. – 216.
14. Makevnin M.P. 1984: Raschet vremeni padeniya chastits sypuchego materiala v barabannykh sushilkakh s lopastnoy nasadkoy / M.P. Makevnin, V.F. Pershin, M.M. Sviridov // Khimicheskoye i neftyanoye mashinostroyeniye. – 1984. –№9. – 31-32.
15. Nering K. 1959: Kormleniye selskokhozyaystvennykh zhivotnykh i kormovyie sredstva / K.Nering. – M.: Selkhozizdat. – 9-14, 485-487.
16. Pershin V.F. 2009: Pererabotka sipuchikh materialov v mashinakh barabannogo tipa / V.F. Pershin, V.G. Odnolko, S.V. Pershina –M.: Mashinostroyeniye. – 220.
17. Pershin V.F. 1988: Raschet raspredeleniya sypuchego materiala v gladkom vrashchayushchemsya barabane / V.F. Pershin // Khimicheskoye i neftyanoye mashinostroyeniye. – M.: – 21-26.
18. Petrova S.S. 2004: Povysheniye kachestva smeshivaniya kormov s obosnovaniyem konstruktivno-rezhimnykh parametrov barabannogo smesitelya: avtoref. na soisk. nauch. step. kand. tekhn. nauk: spets. 05.05.11 «Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva» / S.S. Petrova. – Penza: – 16.
19. Sorokin V.M. 2008: Analiz funktsionalnikh skhem prigotovannya kombikormiv v umovakh gospodarstv i perspektivni napryami ikh vdoskonalennya / V.M. Sorokin. // Visnik Lvivskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu: Agroinzhenerni doslidzhennya. – Lviv: Lvivskiy natsionalniy agrouniversitet, – №12. – T.1. – 228-234.
20. Sokolov A.Ya. 1970: Kombikormovyie zavody / A.Ya. Sokolov. –M.: Kolos. – 152-154.
21. Syrovatka V.I. 1976: Proizvodstvo kombikormov v kolkhozakh i sovkhozakh / V.I. Syrovatka. –M.: Rosselkhozizdat. – 61.
22. Chernyayev N.P. 1985: Tekhnologiya kombikormovogo proizvodstva / N.P. Chernyayev. – M.: Agropromizdat. – 256.

ANALYSIS OF MIXING FEED INGREDIENTS IN MIXER DRUM

Summary. The analysis of the material flow within the chamber during mixing and Quality indicators feed mixtures obtained in tilted drum mixer with adjustable position chamber axis.

Key words: feed, mixing, drum, blade, speed, angle, uniform mixing.