Тип статьи: научная
УДК 631.363.7
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-50-59

# ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ

***Анатолий Тимофеевич Лебедев[1], Бадма Катинович Салаев[2], Баатр Канурович Болаев[3], Юрий Немеевич Арылов[4], Павел Анатольевич Лебедев[5], Николай Александрович Рыбалкин[6]***
[1,2,3,4] *Калмыцкий государственный университет, Республика Калмыкия, г. Элиста*
[5,6] *Ставропольский государственный аграрный университет, Ставропольский край, г. Ставрополь*
[5]zoya_lebedeva@mail.ru

Автор ответственный за переписку: Павел Анатольевич Лебедев, zoya_lebedeva@mail.ru
Corresponding author: Pavel Lebedev, zoya_lebedeva@mail.ru

***Реферат.*** *Качество и надежность технологического процесса приготовления кормовых смесей оказывает существенную роль как на свойства изготавливаемого продукта, так и на продуктивность животных. Применение стандартных конструкций смесителей, как правило не обеспечивает качества смесей, экономичности, эффективности и приводит к увеличению энергетических затрат на реализацию технологического процесса. Не смотря на наличие большого разнообразия в конструкциях смесителей, необходимость новых разработок смесителей остается актуальной проблемой, связанной с постоянным повышением требований к однородности кормовых смесей. При приготовлении комбинированных кормов собственного производства степень однородности должна составлять 90…95%. Исследование процесса смешивания выполнены для двухвального лопастного смесителя непрерывного действия. При проведении исследований были рассмотрены три варианта работы лопастного смесителя, отличающихся друг от друга количеством и размерами лопастей. Наибольшая интенсивность смесеобразования была в смесителе с лопастями меньшей ширины, но при этом период сегрегации составлял более 50%. Во всех вариантах 30…50% времени затрачивается на конвективное смешивание. Качественное смесеобразование будет обеспечиваться за счет увеличения количества силовых воздействий лопастей в элементарных зонах смешивания, которые определяют общую длину смесителя непрерывного действия. Получена новая теоретическая зависимость кинетики смешивания в лопастном смесителе непрерывного действия. Формула показывает, что повышение однородности готовой кормосмеси можно осуществить за счет управления процессом смесеобразования и усовершенствованием рабочих органов смесителей. Эффективность процесса смешивания обеспечивается сначала созданием предварительного значения однородности смеси $\Theta_0$, за пределами камеры смешивания, и последующей вариацией параметров смесителя для обеспечения требуемого качества кормосмеси. Полученная зависимость положена в основу нового способа гравитационного смешивания и устройства для его осуществления.*

***Ключевые слова:*** *качество, корм, кормовая смесь, смешивание, смеситель, лопастной смеситель.*

# INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF MIXING FEED MIXTURES

***Anatoly Lebedev [1], Badma Salaev [2], Baatr Bolaev [3], Jury Arylov [4], Pavel Lebedev [5], Nikolai Rybalkin[6]***
[1,2,3,4] *Kalmyk State University, Republic of Kalmykia, Elista city*
[5,6] *Stavropol State Agrarian University, Stavropol Territory, Stavropol city*
[5]zoya_lebedeva@mail.ru

***Abstract.*** *The quality and reliability of the technological process of preparing feed mixtures has a significant role both on the properties of the manufactured product and on the productivity of animals. The use of standard mixer designs, as a rule, does not ensure the quality of mixtures, economy, efficiency and leads to an increase in energy costs for the implementation of the technological process. Despite the presence of a wide variety in mixer designs, the need for new mixer developments remains an urgent problem associated with the constant increase in requirements for the uniformity of feed mixtures. When preparing combined feeds of own production, the degree of uniformity should be 90...95%. The study of the mixing process was carried out for a two-shaft bladed mixer of continuous operation. During the research, three variants of the operation of the paddle mixer were considered, differing from each other in the number and size of the blades. The greatest intensity of mixing was in a mixer with smaller blades, but at the same time the segregation period was more than 50%. In all variants, 30...50% of the time is spent on convective mixing. High-quality mixing will be ensured by increasing the number of force impacts of the blades in the elementary mixing zones, which determine the total length of the continuous mixer. A new theoretical dependence of the mixing kinetics in a continuous-action paddle mixer is obtained. The formula shows that increasing the uniformity of the finished feed mixture can be achieved by controlling the mixing process and improving the working bodies of mixers. The efficiency of the mixing process is ensured first by creating a preliminary value of the homogeneity of the mixture* $\Theta_0$*, outside the mixing chamber, and then by varying the mixer parameters to ensure the required quality of the feed mixture. The obtained dependence is the basis for a new method of gravitational mixing and a device for its implementation.*

***Keywords:*** *quality, feed, feed mixture, mixing, mixer, paddle mixer.*

**Для цитирования:** Лебедев А.Т., Салаев Б.К., Болаев Б.К., Арылов Ю.Н., Лебедев П.А., Рыбалкин Н.А. Интенсификация процесса смесеобразования кормовых смесей // Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 50-59. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-50-59.

**For citation:** Lebedev A., Salaev B., Bolaev B., Arylov J., Lebedev P., Rybalkin N. Intensification of the process of mixing feed mixtures. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 50-59. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-50-59.

**Введение.** В настоящее время перед сельскохозяйственными предприятиями, занимающихся животноводством, стоит основная задача по обеспечению кормов, следующим параметрам: питательность, вкус, чистота, легкая перевариваемость и хорошая усвояемость. Наличие в кормах и кормовых смесях вредных примесей или веществ, которые могут оказать негативное влияние на здоровье или будут оказывать негативные последствия на конечное качество выращиваемой продукции животноводства, - не допустимо.

Известно, что организм животных способен перерабатывать в продукцию лишь 20...25% энергии корма. Повышение продуктивности до 10%, а также снижение расхода корма до 20% на единицу продукции, обеспечивается при кормлении животных с использованием кормовых смесей.

Комбикормовая промышленность изготавливает корма, которые обогащены микроэлементами, витаминами, а также различными лечебными и профилактическими препаратами. Для того, чтобы создать не только надежную, но и сбалансированную кормовую базу, необходимо учитывать важность операции смешивания компонентов. Качество и надежность процесса приготовления кормовых смесей оказывает существенную роль как на качество изготавливаемого продукта, так и на продуктивность животных.

Технологический процесс смешивания кормовых смесей реализуется за счет применения технических средств – смесителей. В настоящее время существует большое количество типов и модификаций используемых смесителей, но у всех имеющихся конструкций имеется ряд недостатков, в том числе относящихся к качеству изготавливаемых смесей. Основной причиной низкого качества смесей, приготавливаемых в имеющихся смесителях, является большое количество факторов, которые оказывают влияние на смешивание сыпучих материалов, а также недостаточная теоретическая подготовка. Возникающие трудности приводят к получению смеси имеющей низкое качество, полученной с большими энергетическими затратами и высокой

металлоёмкостью конструкции смесителя, что также влияет на низкую экономическую эффективность.

Применение стандартных конструкций смесителей, как правило не обеспечивает качества смесей, экономичности, эффективности и приводит к увеличению энергетических затрат на реализацию технологического процесса.

Не смотря на наличие большого разнообразия в конструкциях смесителей, необходимость новых разработок смесителей остается актуальной проблемой, связанной с постоянным повышением требований к однородности кормовых смесей. Развивающаяся животноводческая отрасль старается достичь повышения качества конечной продукции и продуктивности животных, что в свою очередь невозможно без обеспечения высококачественными сбалансированными кормовыми смесями.

Производство продукции животноводства сопровождается рядом затрат, основная доля которых приходится на корм. По различным источникам, в структуре себестоимости единицы продукции животноводства на корм или кормовые смеси приходится до 75%. В настоящее время доказано, что применение сбалансированных кормовых смесей позволяет увеличить продуктивность животных до 30%. Кроме того, использование кормовых смесей обеспечивает снижение расхода корма до 20%. Сухие кормовые смеси составляют основной рацион таких групп животных, как свиней до 90%, для птиц до 100%. Меньшую долю сухих кормов можно наблюдать в рационе крупного рогатого скота, которая составляет не более 30%. Высокое качество и эффективность сухих кормовых смесей обеспечивается за счет большого количества компонентов, входящих в состав кормовой смеси, и как правило, в разном процентном соотношении. Для получения максимального качества кормовых смесей необходимо применений смесителей. Известные типы и конструкции смесителей в целом способны обеспечить необходимую однородность кормовой смеси, но при этом процесс смесеобразования сопровождается большими удельными затратами энергии. На наш взгляд снижение затрат энергии на единицу корма возможно за счет усовершенствования рабочих органов смесителей и управления самим процессом смешивания.

Как уже было сказано применение кормовых смесей с биологическими добавками существенно влияет на прирост живой массы животных. Качество и эффективность кормовых смесей зависит от степени однородности получаемой при смешивании. Исходя из этого можно сказать, что целевым назначением процесса смешивания является создание внешних сил, направленных на перегруппировку и равномерное распределение частиц каждого компонента по всему объёму смеси. Для реализации этих целей применяются различные типы и конструкции смесителей кормов [1, 2, 3, 4, 6]. На наш взгляд наиболее перспективными типами смесителей являются лопастные (рисунок 1), которые способны сгладить колебания и неравномерность при работе дозирующих систем.

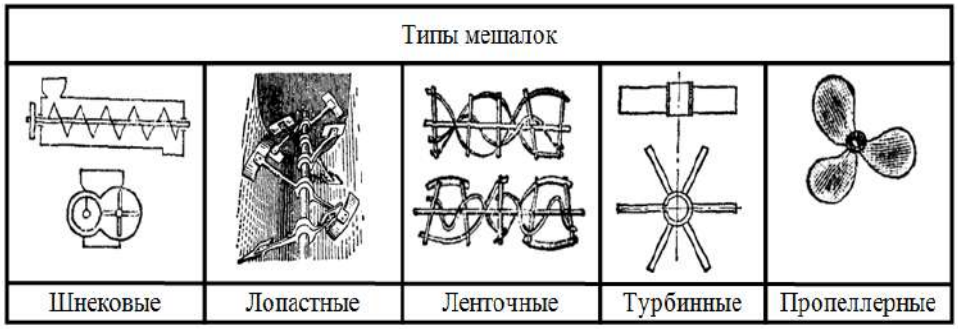


Рисунок 1 - Схемы лопастных мешалок

Исходя из справочной литературы можно сделать вывод, что для различных видов животных, а также их возраста, степень однородности кормовой смеси варьирует в широких пределах. Для комбинированных кормов собственного производства степень однородности должна составлять 90…95% [6, 7]. При непрерывном процессе смешивания, образование смеси необходимо завершить за отрезок времени, соответствующий длине смесителя при перемещении всех

исходных компонентов от их загрузки до выгрузки из смесителя. Несмотря на то, что это является отличительной особенностью работы таких смесителей, но требования к степени однородности смесей не изменяются.

***Материалы и методика.*** Для совершенствования процесса смесеобразования использована обобщенная модель формирования эффективности технологического процесса (ТП), согласно которой, все ТП разделены на пять ключевых процессов, которые характеризуют общие закономерности развития и общую конечную цель каждого из них [8]. Процесс смешивания относится к третьему ключевому процессу, - «*перераспределения и создания заданного соотношения между частицами материалов*», главной целью которого является в принципе не сложная задача - создание в заданном объеме готового продукта требуемой концентрации (соотношения) исходных компонентов. Рассматривая «триаду» В. П. Горячкина в обобщенной модели, можно отметить, что рабочие поверхности смесителя, как сложной системы, относятся к РП, контактирующих с материалом. Основными способами управления их эффективности является форма и режимы работы таких поверхностей. Получение готовой смеси является завершающим результатом работы рассмотренной системы [5]. В связи с этим за показатель надежности процесса смешивания, который характеризует его завершённость, следует принять соответствие степени однородности смеси $\Theta$ заданной [8]. Контактное взаимодействие лопастей с компонентами исходного материала при смешивании характеризуется процессом передачи определенного импульса энергии частицам кормосмеси, организованного так, чтобы весь силовой поток, исходящий от рабочих поверхностей лопастей, был направлен не только на взаимное перераспределение частиц и обеспечение качественного смесеобразования, но и продольное перемещение смеси вдоль оси смесителя от места загрузки к выходному отверстию. Выполняя указанные условия, рабочие поверхности лопастей смесителя реализуют свое *целевое назначение* в условиях процесса непрерывного смесеобразования [1]. Рабочие органы смесителя обеспечивают непрерывное приготовление заданного объёма готовой кормовой смеси в соответствии с требуемой степенью однородности.

Специфические особенности исходных компонентов, применяемых для приготовления кормовых смесей, характеризуют смешивание как сложный вероятностный процесс. Применяемые режимы смешивания кормов основываются на данных, полученных экспериментально при определенных условиях. Однако, процессы равномерного распределения компонентов имеют общую закономерность. Данные процессы можно описать экспоненциальной зависимостью. Основываясь на анализе актуальных исследований процессов образования смеси, а также представляя процесс смешивания как совокупность однотипных последовательно чередующихся друг за другом элементарных актов силового воздействия рабочего органа на смешиваемый материал, получено следующее уравнение кинетики процесса смешивания:

$$\Theta = 1 - e^{-J \cdot Z}\ , \qquad (1)$$

где $J$ - эффективность элементарного воздействия лопастей;

$Z$ - количество элементарных зон смешивания.

Под параметром $J$ понимается функционал, который, наряду со свойствами смешиваемых материалов, учитывает в общем виде форму рабочих органов и условия продвижения смеси к выгрузному отверстию и другие параметры. Кроме того, в основе физической сущности этого параметра положена способность лопастей смесителя рационально направить поток подводимой энергии не на ее поглощение и уплотнение исходной структуры, а на свободное перераспределение частиц между собой. Это необходимо для создания требуемой однородности готовой смеси, то есть интенсификации процесса смесеобразования при каждом силовом воздействии рабочих органов смесителя. При этом каждое силовое воздействие одиночного рабочего органа за время контактирования и воздействия на материал, представлено в виде элементарного смесительного акта, в результате которого происходит изменение текущего значения однородности смеси.

Под количеством элементарных зон смешивания на заданной длине смесителя понимается часть его длины, в которой размещаются рабочие органы смесителя, реализующие свое целевое

назначение для достижения требуемой однородности смеси в процессе непрерывного смесеобразования. Теоретически этот параметр определяется по зависимости

$$Z = \frac{L}{k_{\text{в}} \cdot b_{\text{л}} \cdot \sin\alpha} \cdot, \quad (2)$$

где $L$ – длина смесителя, м;
$k_{\text{В}}$ - коэффициент, учитывающий зону возбуждения материала;
$b_{\text{л}}$ - ширина лопасти смесителя, м;
$\alpha$ - угол установки лопасти к направлению движения град;

***Результаты и их обсуждение.*** Анализируя зависимость (1) можно сделать вывод о том, что требуемая однородность смеси быстрее достигается, если одновременно увеличивать и эффективность силового воздействия $J$ и количество элементарных зон смешивания $Z$. Увеличение параметра $J$ возможно как изменением режимов работы лопастей (что вполне возможно на практике), так и изменением параметров формы рабочих поверхностей лопастей (что в большей степени связано с полной модернизацией существующего смесителя, или его замены на другую модель). Увеличение параметра $Z$ может происходить, согласно формуле 2, как при увеличении, так и при уменьшении ширины элементарной зоны, за счет изменения ширины лопасти смесителя $b_{\text{л}}$, так как она устанавливается с учетом обеспечения непрерывного процесса смесеобразования [1, 8]. Как видно из представленного фрагмента, изменение степени однородности смеси происходит в каждой элементарной зоне смешивания лопастного смесителя, в первую очередь, за счет интенсификации смесительного акта, а эффективность, или не эффективность такого силового воздействия, можно оценить лишь после завершения процесса. Поэтому, нами предлагается уточнить рассмотренную зависимость и представить ее в следующем виде

$$\Theta = 1 - e^{-\Omega \cdot Z}, \quad (3)$$

где $\Omega$ - интенсивность смесеобразования в каждой элементарной зоне.

Параметр $Z$ также представляет собой количество элементарных зон по длине смесителя, ширина каждой из которых определяется плоскостями, перпендикулярными оси смесителя и ограничивающими каждую лопасть смесителя, с учетом угла их установки и коэффициента $k_{\text{В}}$, учитывающего зону возбуждения материала.

Рассмотрим несколько вариантов работы смесителей, имеющих одинаковую длину. Для этого воспользуемся экспериментальными данными, полученными в работе [1, 8]. Для анализа принят двухвальный смеситель со следующими конструктивными параметрами: длина 2,1 м, ширина 0,25 м, радиус лопастей 0,1 м, расстояние между соседними отверстиями на валах 0,03 м через каждые $90^0$. На рисунках (2), (3), и (4) представлены три варианта работы смесителя с лопастями, имеющих, соответственно, ширину $b_1$, $b_2$, $b_3$. При этом выполняется условие $b_1 \leq b_2 \leq b_3$.

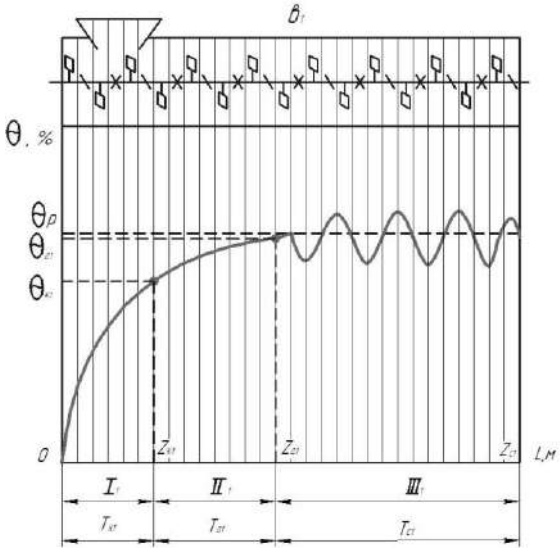


Рисунок 2 - Схема смесителя (вариант 1) и изменение степени однородности смеси *(Θ)* по его длине

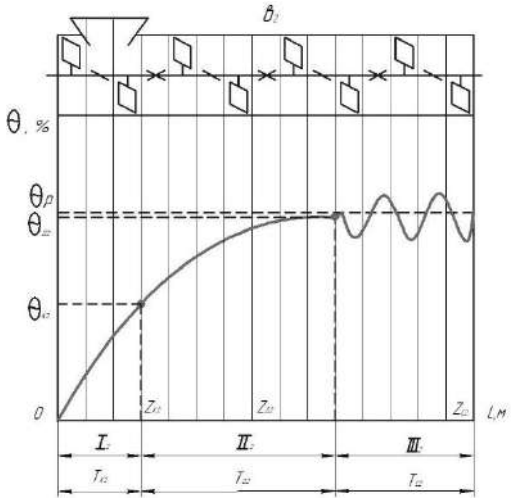


Рисунок 3 - Схема смесителя (вариант 2) и изменение степени однородности смеси *(Θ)* по его длине

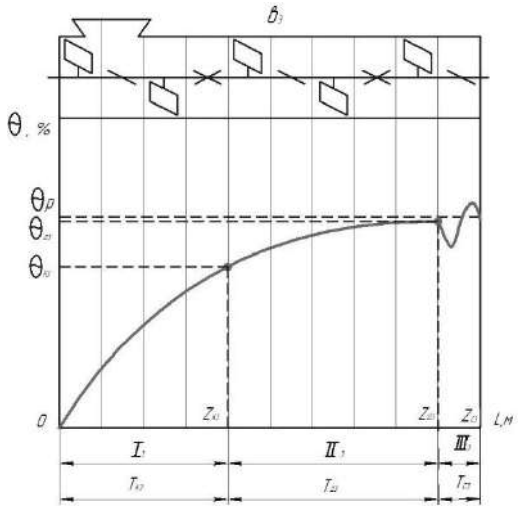


Рисунок 4 – Схема смесителя (вариант3) и изменение степени однородности смеси *(Θ)* по его длине

Расстановка лопастей, отличающихся по ширине, должна обеспечивать непрерывность перемещения смешиваемой массы вдоль оси смесителя к выгрузному отверстию и равномерность выгрузки. Для каждого из вариантов представлена зависимость степени однородности ***Θ*** по длине смесителя, на каждой из которых можно выделить три характерные участка: конвективное смешивание *($I_1$, $I_2$, $I_3$)*, диффузионное смешивание *($II_1$, $II_2$, $II_3$)* и сегрегация частиц (*$III_1$, $III_2$, $III_3$)*. Первые два процесса направлены на равномерное распределение частиц смеси, т.е. способствуют улучшению ее качества, последний, - препятствует образованию такой смеси. Все три процесса в смесителе протекают одновременно, но их роль в различные периоды смешивания различна [8, 9].

В начале процесса преобладает конвективное смешивание, которое характеризуется периодом *($T_{к1}$, $T_{к2}$, $T_{к3}$)*. Завершенность этого периода характеризуется интенсивным перераспределением исходных компонентов в зоне загрузки, но это не приводит к завершению процесса. На следующем этапе, - этапе диффузионного смешивания, - происходит сглаживание флуктуаций дозирующих систем и окончательно формируется требуемая однородность смеси. В течение этого периода *($T_{Д1}$, $T_{Д2}$, $T_{Д3}$)*, по-сути завершается процесс смешивания. Далее, совместно с диффузионным смешиванием проявляется и процесс сегрегации частиц *($Tc_1$, $Tc_2$, $Tc_3$)*.

В реальных условиях все эти процессы неизбежны, но при определенном уравновешивании последних стадий силовое воздействие лопастей не приводит к улучшению качества смеси, а дальнейшее продолжение процесса приводит только к увеличению затрат. Как показывает практика, в этот период смешивание необходимо завершить и осуществить выгрузку готовой смеси. При этом, «…длительность диффузионного смешивания зависит не только от параметров смесителя и режимов его работы, но и от физико-механических свойств компонентов, из которых наибольшее значение имеют гранулометрический состав, плотность, форма, состояние поверхности частиц, их влажность, сыпучесть. Смешивание происходит эффективнее в том случае, когда указанные свойства достаточно близки друг к другу. Большее различие в плотности и размерах способствует сегрегации частиц. Существенно также количество компонентов и их соотношение. С увеличением числа компонентов их доля уменьшается, процесс смешивания затрудняется. Особенно увеличивается продолжительность смешивания при наличии компонентов, входящих в состав смеси в малых количествах. Компоненты, имеющие большую дисперсность, распределяются лучше, так как в единице объема содержание частиц более значительно» [8].

Все эти общие закономерности следует учитывать при организации процесса смешивания и настройке смесительного оборудования. Для дальнейшего анализа представим полученные зависимости по трем вариантам на рисунке 5.

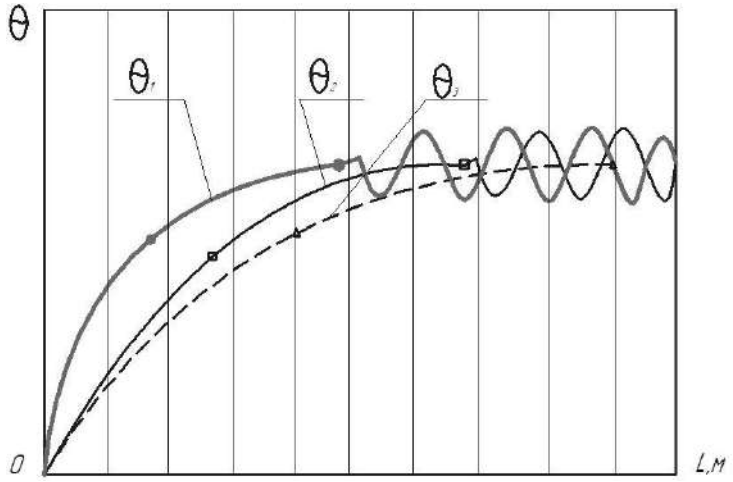


Рисунок 5 - Изменение степени однородности смеси *(Θ)* по длине смесителя при разной интенсивности смесеобразования в каждой зоне *(Ω)*

Анализ рисунка 5 позволяет сделать несколько важных выводов и рекомендаций:

- самая высокая интенсивность смесеобразования Ω наблюдается в первом варианте при работе лопастей, имеющих меньшую ширину, но при этом период сегрегации частиц, или период бесполезного смешивания, составляет более 50%;

- в каждом варианте около 30…50% времени затрачивается на конвективное смешивание (при условии исключения длительности работы в зоне сегрегации частиц), которое расходуется на перераспределение больших объёмов дозируемых компонентов в камере смесителя, то есть каждая элементарная зона смешивания превращается в большей степени в транспортирующий, а не смешивающий элемент;

- при соответствующих значениях интенсивности смесеобразования Ω значение степени однородности смеси $\boldsymbol{\Theta}$ изменяется от нулевого до максимального значения за счет увеличения количества силовых воздействий лопастей в элементарных зонах смешивания, которые определяют общую длину смесителя непрерывного действия.

Анализируя представленные зависимости (рис.5) и предыдущие графики, можно заключить, что если начало смешивания в камере смесителя вынести за его пределы, т.е. создать первоначальную однородность смеси, то из общей длительности смешивания можно исключить какую-то величину периода $T_к$, обеспечивая тем самым величину $\boldsymbol{\Theta_0}$. Имея постоянные значения интенсивности смесеобразования $\Omega_i$ для каждого конкретного варианта процесса смешивания математически это можно осуществить сдвигом общей зависимости влево до пересечения ее с вертикальной осью. Воспользуемся известным из высшей математики приемом параллельного переноса осей для математической зависимости. Применительно к кинетике процесса смешивания система уравнений определения координат точки исследуемой зависимости степени однородности от количества зон смешивания, будет представлена в следующем виде

$$\begin{cases} \theta = \theta_1 + \mathrm{A} \\ Z = Z_1 + Z_0 \end{cases}, \qquad (4)$$

где $\Theta$, $\Theta_1$, Z, $Z_1$ – соответственно значения однородности смеси и количества зон смешивания рассматриваемой точки процесса в существующей и предлагаемой системе координат после ее смещения;

A, $Z_0$ – величина смещения центра новой системы координат по осям однородности смеси и количества зон смешивания, соответственно.

С учетом того, что оси координат смещаются только вдоль оси количества зон смешивания на величину, соответствующую начальной степени однородности $\boldsymbol{\Theta_0}$, параметр A=0. Тогда, решая данную систему уравнений получили аналитическую зависимость кинетики процесса смешивания в лопастных смесителях непрерывного действия, которую можно представить в следующем виде

$$\Theta = 1 - e^{-\Omega\cdot(Z+Z_0)}, \qquad (5)$$

где $Z_0$ –количество зон смешивания, соответствующее начальному значению степени однородности смеси $\Theta_0$, исходных компонентов, поступающих в смеситель;

$Z=Z_1$ – текущее значение количества зон смешивания в реальном смесителе.

Анализ зависимости показывает, что в начале смешивания, когда исходные компоненты только подаются из дозаторов, смеситель еще не приступил к работе, и в этом случае Z=0, а степень однородности смеси равна $\Theta_0$. При $Z_0=0$, имеет место работа смесителя без предварительного смешивания и в этом случае формула (5) соответствует уравнению (3), т.е. в начальный момент работы однородность смеси приближается к нулевым значениям.

**Заключение.** Выполненные в данной работе экспериментально-теоретические исследования, позволили получить новую теоретическую зависимость кинетики процесса смешивания в лопастном смесителе непрерывного действия. Согласно этой зависимости, повышение однородности готовой кормосмеси можно осуществить за счет управления процессом смесеобразования и усовершенствования рабочих органов смесителей. Повышение эффективности процесса обеспечивается на этапе предварительного смешивания созданием начального значения однородности смеси $\Theta_0$, за пределами камеры смешивания. Далее интенсифицируя процесс смесеобразования вариацией параметров смесителя (длины, ширины лопастей и др.) достигается требуемое качество кормосмеси. Для практической реализации полученных результатов теоретических исследований нами предложен новый способ гравитационного смешивания и устройство для его осуществления. Новизна технического решения защищена патентом на изобретение RU 2603670 [5].

**Список источников**

1. Рыбалкин Н.А. Совершенствование процесса смешивания кормов в лопастном смесителе / Рыбалкин Н.А., Лебедев А.Т., Павлюк Р.В.// Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. № 3 (27). С. 78-84.

2. Рыбалкин Н.А. Горизонтальный смеситель материалов/ Рыбалкин Н.А., Лебедев А.Т., Павлюк Р.В..// Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 6 (106). С. 785-791

3. Kolesnikov A., Pastukhov A., Vodolazskaya N., Minasyan A. Research in parameters of working process of interfusing in batcher mixer (Исследование параметров рабочего процесса смешивания в дозаторе-смесителе) // Engineering for rural development / Proceedings, Vol / 18,: Изд-во / Latvia University of Life Sciences and Technologies/ Jelgava, 2019 P. 487 492. ISSN 1691-5976, DOI: 10.2261 6 / ERDev2019.18. N033.

4. Lobanov D.V., Efremov I.M., Lobanova A.N., Popov E.V. Description of the process of vibrational mixing of elastoviscoplastic multicomponent mixtures // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53, № 7-8, November. P. 495-500.

5. Пат. 2603670 Российская Федерация, МПК В С1. Гравитационный способ смешивания сыпучих материалов и устройство для его осуществления/ Лебедев А.Т., Очинский В.В., Павлюк Р.В., Захарин А.В., Магомедов Р.А., Лебедев П.А., Марьин Н.А., Искендеров Р.Р., Рыбалкин Н.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ставропольский ГАУ. № 2015122079/05 от 09.06.2015

6. Mathematical modeling of the extracting process of vegetable oil on auger equipment / Ye. Z. Mateyev, D. B. Shalginbayev, S. Z. Mateyeva, M. V. Kopylov, A. N. Ostrikov, V. N. Vasilenko // EuroAsian Journal of BioSciences. 2019. Volume 13 Issue 2, pp. 1875-1880

7. Current Status and Development of Production Technologies of Multicomponent Mixtures of Bulk Materials in Large Volumes / V. Ya. Borshchev, T.A. Sukhorukova // Advanced Materials & Technologies.2018.01.pp.069-077 DOI: 10.17277.

8. Лебедев, А.Т. Ресурсосберегающие направления совершенствования эксплуатации и ремонта машин и оборудования сельскохозяйственного производства: дис. д-ра техн. наук / Лебедев А.Т. Зерноград: АЧГАА, 2012. – 474 с.

9. Суханова, М.В. Процесс смешивания - необходимая составляющая экосистемы: корма - смеситель - животное - человек / Научные труды Института непрерывного профессионального образования. 2015. №5. С. 283-287.

**References**

1. Rybalkin N.A. Improving the process of mixing feed in a paddle mixer / Rybalkin N.A., Lebedev A.T., Pavlyuk R.V.// Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. 2020. No. 3 (27). pp. 78-84.

2. Rybalkin N.A. Horizontal material mixer/ Rybalkin N.A., Lebedev A.T., Pavlyuk R.V.// Scientific life. 2020. V. 15. No. 6 (106). pp. 785-791

3. Kolesnikov A., Pastukhov A., Vodolazskaya N., Minasyan A. Research in parameters of working process of interfusing in batcher mixer // Engineering for rural development./ Proceedings, Vol / 18 ,: Publishing house / Latvia University of Life Sciences and Technologies / Jelgava, 2019 P. 487 492. ISSN 1691-5976, DOI: 10.2261 6 / ERDev2019.18.N033.

4. Lobanov D.V., Efremov I.M., Lobanova A.N., Popov E.V. Description of the process of vibrational mixing of elastoviscoplastic multicomponent mixtures // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53, No. 7-8, November. P. 495-500.

5. Pat. 2603670 Russian Federation, IPC B C1. Gravitational method of mixing bulk materials and a device for its implementation / Lebedev A.T., Ochinsky V.V., Pavlyuk R.V., Zakharin A.V., Magomedov R.A., Lebedev P.A., Maryin N. A., Iskenderov R.R., Rybalkin N.A.; applicant and patent holder FGBOU VPO Stavropol State Agrarian University. No. 2015122079/05 of 06/09/2015N.A.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO Stavropol'skij GAU. № 2015122079/05 ot 09.06.2015

6. Mathematical modeling of the extracting process of vegetable oil on auger equipment / Ye. Z. Mateyev, D. B. Shalginbayev, S. Z. Mateyeva, M. V. Kopylov, A. N. Ostrikov, V. N. Vasilenko // EuroAsian Journal of BioSciences. 2019. Volume 13 Issue 2, pp. 1875-1880

7. Current Status and Development of Production Technologies of Multicomponent Mixtures of Bulk Materials in Large Volumes / V. Ya. Borshchev, T.A. Sukhorukova // Advanced Materials & Technologies.2018.01.pp.069-077 DOI: 10.17277.

8. Lebedev, A.T. Resource-saving directions for improving the operation and repair of machinery and equipment for agricultural production: dis. Dr. tech. Sciences / Lebedev A.T. Zernograd: ACHGAA, 2012. - 474 p.

9. Sukhanova, M.V. The mixing process is a necessary component of the ecosystem: feed - mixer - animal - human / Scientific works of the Institute of Continuing Professional Education. 2015. No. 5. pp. 283-287.

**Информация об авторах**

А.Т. Лебедев – доктор технических наук, профессор; Б. К. Салаев – доктор биологических наук, профессор; Б. К. Болаев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; Ю.Н. Арылов – доктор биологических наук, профессор; П.А. Лебедев – кандидат технических наук, доцент; Н.А. Рыбалкин – аспирант.

**Information about the authors**

A.T. Lebedev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Scientific Officer; B. K. Salaev – Doctor of Biological Sciences, Professor; B. K. Bolaev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; Y.N. Arylov – Doctor of Biological Sciences, Professor; P.A. Lebedev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; N.A. Rybalkin - graduate student.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

***Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.***

**Contribution of the authors:** all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

***The authors declare no conflict of interest.***

Поступила в редакцию (Received): 25.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2022