

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-109666>

Оригинальное исследование



Сравнительный анализ рабочих органов вибрационного смесителя сыпучих кормов

А.Н. Яцунов¹, У.К. Сабиев²¹ Тарский филиал Омского государственного аграрного университета, Тара, Россия² Омский государственный аграрный университет, Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена вопросам приготовления высокооднородных сыпучих кормосмесей. Целью исследований является повышение однородности смеси за счет вибрационных воздействий. Известно, что эффективность процесса смешивания значительно повышается при наложении вибрации, при этом сокращается время достижения максимальной однородности смеси и снижаются затраты энергии на перемешивание. В одних случаях вибрация может лишь интенсифицировать основной процесс, а в других – вызывать специфические вибрационные эффекты, которые используются для перемешивания.

Цель исследований – повышение однородности сыпучей кормосмеси путем интенсификации процесса смешивания за счет применения лабораторно-экспериментального вибрационного смесителя непрерывного действия со сменными рабочими органами.

Методы и средства. Для проведения исследований разработан лабораторно-экспериментальный вибрационный смеситель сыпучих кормов непрерывного действия. Рассмотрены его общее устройство и принцип работы. Проанализировано влияние конструктивных особенностей сменных рабочих органов на качество процесса смешивания.

Результаты. Сравнительный анализ показал, что перемешивающие элементы со сложными поверхностями виброконтакта обеспечивают достаточно высокое качество получаемой смеси, но производительность смесителя сравнительно низкая. Для увеличения производительности, при сохранении стабильно высокого качества, предложены плоские рабочие органы с отверстиями в форме равнобедренных треугольников. В ходе исследований их работы выявлено снижение однородности получаемой смеси, поэтому под отверстиями предлагается установить вогнутые или выгнутые треугольные пластины. Указанное техническое решение позволяет добиться соответствия требованиям качества кормосмеси без снижения производительности.

Дополнительным способом интенсификации процесса смешивания, независимо от типа рабочих органов, является шарнирное крепление перемешивающих элементов. Кроме того, используя специальный механизм, можно изменять скорость движения массы внутри виброжелоба и, соответственно, производительность всей установки в целом и интенсивность смешивания.

Заключение. Все типы перемешивающих элементов успешно апробированы. Лабораторно-экспериментальный вибрационный смеситель прошел производственную проверку в составе малогабаритного комбикормового агрегата.

Ключевые слова: процесс смешивания; вибрационный смеситель; перемешивающий элемент; треугольная пластина; поверхность виброконтакта.

Для цитирования:

Яцунов А.Н., Сабиев У.К. Сравнительный анализ рабочих органов вибрационного смесителя сыпучих кормов // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89, № 5. С. 367–374. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-109666>

Рукопись получена: 25.07.2022

Рукопись одобрена: 06.09.2022

Опубликована: 15.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-109666>

Original Study Article

Comparative analysis of the working bodies of the vibrating mixer of bulk feed

Alexander N. Yatsunov¹, Uahit K. Sabiev²¹ Tarsky branch of the Omsk State Agrarian University, Tara, Russia² Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The paper is devoted to the preparation of highly homogeneous bulk feed mixtures. It is known that the efficiency of the mixing process increases significantly when vibration is applied, while reducing the time to achieve maximum uniformity of the mixture and reducing the energy costs of mixing. In some cases, vibration can only intensify the main process, and in others it can cause specific vibration effects that are used for mixing.

AIMS: Increasing the homogeneity of the mixture due to vibration effects.

METHODS: A laboratory-experimental vibrating mixer of continuous bulk feed has been developed for conducting research. Its general structure and principle of operation are considered, the influence of design features of replaceable working bodies on the quality of the mixing process is analyzed.

RESULTS: Comparative analysis has shown that mixing elements with complex vibration contact surfaces provide a sufficiently high quality of the resulting mixture, but the mixer performance is relatively low. To increase productivity while maintaining consistently high quality, flat working bodies with holes in the form of isosceles triangles are proposed. During the studies of their work, a decrease in the uniformity of the resulting mixture was revealed, therefore, it is proposed to install concave or curved triangular plates under the holes. This technical solution allows us to obtain the quality of the feed mixture that meets the requirements without reducing productivity.

An additional way to intensify the mixing process, regardless of the type of working bodies, is the hinge fastening of the mixing elements. In addition, using a special mechanism, it is possible to change the speed of mass movement inside the vibrating trough and, accordingly, the performance of the entire installation as a whole and the mixing intensity.

CONCLUSIONS: All types of mixing elements have been successfully tested. The laboratory-experimental vibrating mixer has passed the production test as part of a small-sized feed unit.

The article describes the history of the development and creation of the first domestic neutralizers of exhaust gases of internal combustion engines, which began with testing and research of foreign neutralizers. Sequential stages of design, study and testing of domestic converters for gasoline and diesel engines are considered. There are described the following processes: the process of developing methods for testing engines for toxicity and the process of creating estimated indicators and developing normative and technical documents in the field of toxicity of engines and vehicles.

Keywords: *mixing process; vibrating mixer; mixing element; triangular plate; vibration contact surface.*

Cite as:

Yatsunov AN, Sabiev UK. Comparative analysis of the working bodies of the vibrating mixer of bulk feed. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022;89(5):367–374. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-109666>

Received: 25.07.2022

Accepted: 07.09.2022

Published: 15.11.2022

ВВЕДЕНИЕ

Процесс смешивания сыпучих материалов широко используется во многих отраслях для получения различных по назначению и составу смесей. В сельском хозяйстве широкое применение получили сыпучие кормовые смеси. Они представляют собой сочетание частиц различных компонентов корма, внесенных в сыпучую среду в определенных пропорциях и равномерно распределенных во всем ее объеме. Завершающей операцией в процессе приготовления кормовой смеси является смешивание – совокупность процессов направленного формирования однородных по составу, плотности и физико-механическим свойствам систем из набора требуемых компонентов [1, 2].

Однородность смеси имеет большое значение, поскольку суточный рацион, а тем более разовая выдача комбикорма животным, а особенно птице, очень мала. В этом небольшом количестве должны содержаться все вещества, предусмотренные рецептурой комбикорма.

Существует ряд факторов и особенностей, от которых в значительной степени зависит однородность получаемой смеси, и то, насколько организовано будет протекать процесс смешивания в целом.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Повышение однородности сыпучей кормосмеси путем интенсификации процесса смешивания за счет применения лабораторно-экспериментального вибрационного смесителя непрерывного действия со сменными рабочими органами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Классическими отечественными исследованиями [3] доказано, что эффективность процесса смешивания значительно повышается при наложении вибрации, при этом сокращается время достижения максимальной однородности смеси и снижаются затраты энергии на перемешивание. При воздействии вибрации создаются условия для предельного или близкого к нему снижения вязкости смеси, ускорения процессов смешения и контактирования максимального количества частиц. При этом изменяются не только реологические свойства, но и сам характер процесса формирования структуры смесей [4].

В одних случаях вибрация может лишь интенсифицировать основной процесс, а в других – вызывать специфические вибрационные эффекты, которые используются для перемешивания. Процесс перемешивания также сопровождается обнажением дополнительных поверхностей, разрушением коагуляционных структур и увеличением диспергирования твердых тел, то есть, по сути, активизацией состояния смеси [1]. Кроме того, особенностью вибрации, как одного из видов механических

воздействий, является возможность передачи энергии системе большой удельной мощности при малой амплитуде ее смещения за период колебаний. Возможность регулирования частоты и амплитуды в широких пределах позволяет распространять ее действие, как на большие объемы перерабатываемой массы, так и на малые, вплоть до слоя в несколько микрон. По этим причинам вибрация может рассматриваться как универсальная форма механических воздействий на дисперсные системы [5].

Установлено, что отличительной особенностью работы вибрационных смесителей является то, что при поступательном движении источника колебаний по круговой или эллиптической траектории частицы смеси, непосредственно соприкасающиеся с источником колебаний, периодически получают ударный импульс, поглощая определенную долю подведенной энергии вибратора. В свою очередь, частицы граничного слоя в процессе движения передают импульс и энергию более отдаленным соседним слоям, благодаря чему при вибрации по смеси распространяются волны, источником которых является вибрирующая поверхность. Последнее вызывает интенсивные колебания частиц и их циркуляцию [4].

Изложенные выше рекомендации были учтены при изготовлении и исследованиях лабораторно-экспериментального вибрационного смесителя сыпучих кормов непрерывного действия.

Основными узлами смесителя [6] (рис. 1) являются: опорная рама, поворотная рама, виброжелоб с рабочими

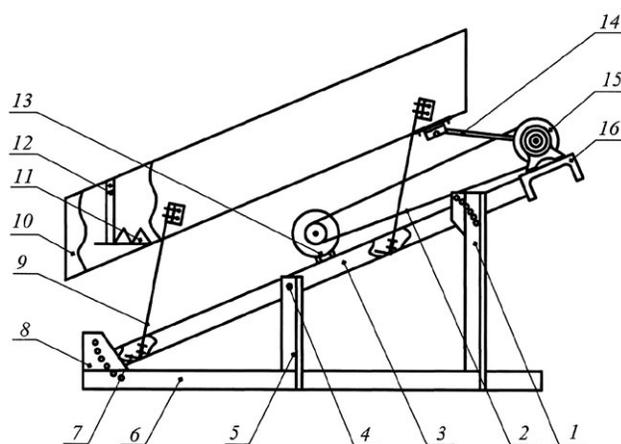


Рис. 1. Схема вибрационного смесителя сыпучих кормов: 1 – задние стойки; 2 – клиноременная передача; 3 – продольные уголки; 4 – поворотная ось; 5 – средние стойки; 6 – нижние продольные балки; 7 – перемычки; 8 – косынки; 9 – рессоры; 10 – виброжелоб; 11 – перемешивающие элементы; 12 – скобы; 13 – электродвигатель; 14 – шатун; 15 – эксцентриковый механизм; 16 – опорная плита.

Fig. 1. Diagram of a vibrating mixer of bulk feed: 1 – rear racks; 2 – V-belt transmission; 3 – longitudinal corners; 4 – rotary axis; 5 – middle racks; 6 – lower longitudinal beams; 7 – jumpers; 8 – kerchiefs; 9 – springs; 10 – vibrating trough; 11 – mixing elements; 12 – brackets; 13 – electric motor; 14 – connecting rod; 15 – eccentric mechanism; 16 – base plate.

органами (перемешивающими элементами), рессоры и механизм привода.

Опорная рама включает в себя нижние продольные балки 6 (рис. 1), жестко соединенные между собой поперечинами. На продольных балках установлены косынки – 8, средние стойки – 5 и задние стойки – 1.

Основой поворотной рамы служат продольные уголки – 3, к торцевой части которых жестко крепится опорная плита – 16 эксцентрикового механизма, а на перемычках – 7 при помощи болтовых соединений закреплены рессоры – 9. Положение поворотной рамы можно изменять, что позволяет устанавливать виброжелоб – 10 по отношению к горизонту под углами: 5°, 10°, 15°, 20°, 25° и 30°. При этом поворот виброжелоба осуществляется вокруг оси – 4.

В состав механизма привода входят электродвигатель – 13, клиноременная передача – 2 и эксцентриковый механизм – 15. Передача вибрационных воздействий желобу осуществляется от эксцентрикового механизма через шатун – 14. Конструкцией вибросмесителя предусмотрена регулировка угла вибрации, частоты и амплитуды колебаний виброжелоба.

Процесс смешивания обеспечивается сменными перемешивающими элементами, которые могут иметь различную рабочую поверхность виброконтакта. Каждый перемешивающий элемент одной кромкой плотно прилегает к днищу желоба, двумя другими крепится к его боковым стенкам, а четвертая кромка, независимо от исполнения, имеет зубчатую форму [7]. Число и шаг перемешивающих элементов можно изменять, предварительно ослабив зажимы скоб – 12 (рис. 1).

Работает вибрационный смеситель следующим образом. Компоненты, подлежащие смешиванию, подаются в заданном соотношении из дозатора в приемную часть виброжелоба. Под действием вибрации они попадают на первый перемешивающий элемент и взаимодействуют с его рабочими поверхностями, в результате чего получают различные углы отражения, скорости

и направления движения. После первого перемешивающего элемента происходит свободное падение кормовой массы на днище виброжелоба с последующим перемещением на второй перемешивающий элемент, где процессы взаимодействия с поверхностями виброконтакта повторяются и т.д. Таким образом, благодаря многократному пересечению траекторий движущихся частиц, происходит интенсификация процесса смешивания. В результате, образовавшаяся однородная кормосмесь сходит с разгрузочного (нижнего) конца виброжелоба [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ рабочих органов вибросмесителя направлен на интенсификацию процесса смешивания путем исследования траекторий движения сыпучих частиц по различным поверхностям виброконтакта.

В ходе теоретических и экспериментальных исследований [1, 8] установлено, что при определенных режимах работы частицы сыпучего материала интенсивно взаимодействуют между собой и с рабочими органами, имеющими сложные поверхности виброконтакта (конические и полусферические). Конические поверхности могут быть с одинаковыми (рис. 2а) [9] или различными [10] по длине образующими, а также могут чередоваться в определенной последовательности с полусферами (рис. 2б) [11].

Под воздействием вибрации частицы имеют различные углы и высоту подъема и проходят по рабочей поверхности различные расстояния, двигаются как по самим поверхностям виброконтакта, так и между ними. Все это способствует многократному пересечению их траекторий движения, и, соответственно, интенсификации процесса смешивания. В результате, обеспечивается достаточно высокое качество получаемой смеси (однородность порядка 90%), но производительность такого смесителя сравнительно низкая,

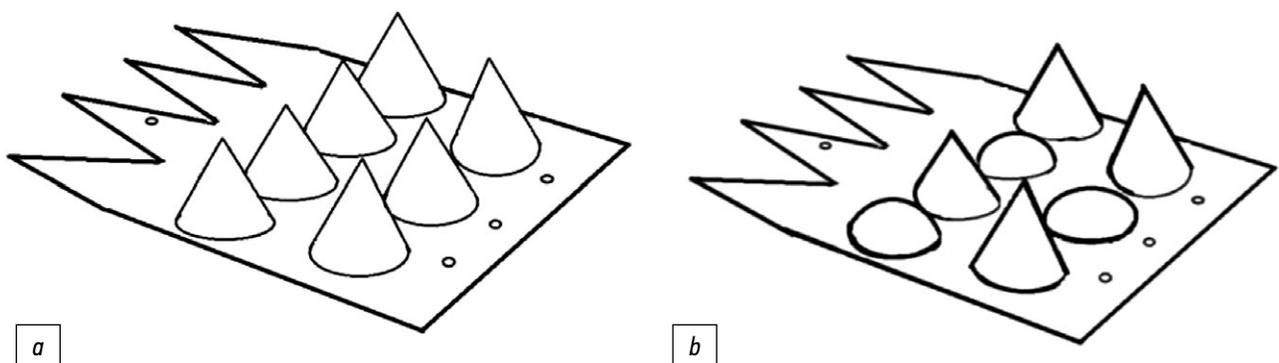


Рис. 2. Перемешивающие элементы со сложными поверхностями виброконтакта: *a* – с коническими поверхностями; *b* – с полусферическими и коническими поверхностями.

Fig. 2. Mixing elements with complex vibration contact surfaces: *a* – with conical surfaces; *b* – with hemispherical and conical surfaces.

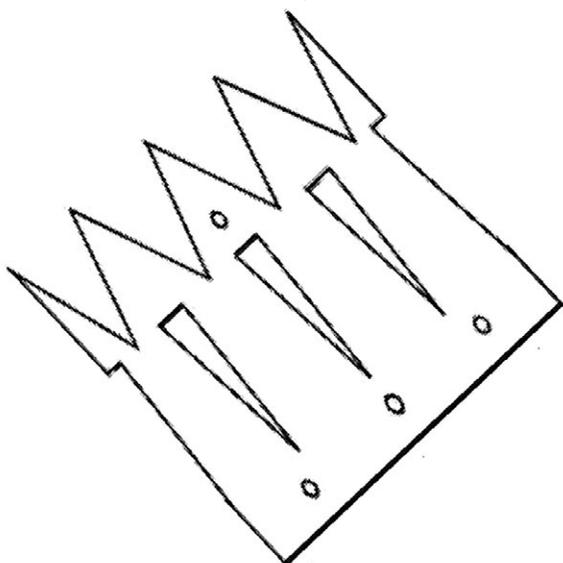


Рис. 3. Плоский перемешивающий элемент с треугольными отверстиями.

Fig. 3. A flat mixing element with triangular holes.

так как конические и полусферические поверхности виброконтакта затормаживают продвижение частиц вдоль виброжелоба. Кроме того, рабочие органы сложны в изготовлении.

В целях увеличения производительности смесителя, при сохранении стабильно высокого качества процесса смешивания, разработаны и изготовлены плоские рабочие органы, у которых вместо конических и полусферических поверхностей виброконтакта выполнены отверстия в форме равнобедренных треугольников (рис. 3). Отверстия выполнены таким образом, что вершины треугольников направлены к днищу виброжелоба, а длина основания и высота равнобедренного треугольника равны соответственно 0,2–0,4 и 1,0–1,4 шага зубчатой кромки. Отверстия расположены в ряд, по середине перемешивающего элемента [12].

Интенсификация процесса смешивания при наличии отверстий на перемешивающих элементах достигается, в основном, за счет относительного смещения микрослоев массы в результате того, что траектории движения частиц значительно отличаются – частицы, которые идут «проходом» через отверстия, попадают на последующий перемешивающий элемент раньше частиц, идущих «сходом» по перемешивающему элементу.

Треугольная форма отверстий выбрана исходя из рационального использования полезной площади перемешивающих элементов. Движущиеся частицы корма сыпаются с боковых сторон отверстия, во-первых, навстречу друг другу, а, во-вторых, не все сразу – оставшаяся на поверхности перемешивающего элемента часть смешиваемой массы продолжает движение, доходит до зубчатой кромки и только потом сыпается на дно желоба. Так, например, в случае использования прямоугольных отверстий, частицы одновременно падают на дно виброжелоба и значительная часть площади перемешивающего элемента не участвует в работе [13].

Перемешивающие элементы с треугольными отверстиями, по сравнению с коническими поверхностями, выгодно отличаются простотой изготовления, невысокой себестоимостью, малой материалоемкостью и большей производительностью. В тоже время, при экспериментальных исследованиях выявлено, что на интенсивных режимах работы наблюдается снижение однородности получаемой смеси [14].

Для интенсификации процесса смешивания предлагается (рис. 4а) на плоских перемешивающих элементах – 1 разместить под треугольными отверстиями – 2 пластины – 3, имеющими форму аналогичных равнобедренных треугольников, вогнутых [15] (рис. 4б) или выгнутых [16] (рис. 4с) под углом от 170° до 178° и наклоненных относительно плоскости перемешивающего элемента на угол от 2° до 20°.

В первом случае интенсификации процесса смешивания удастся достичь за счет того, что, сыпучие частицы,

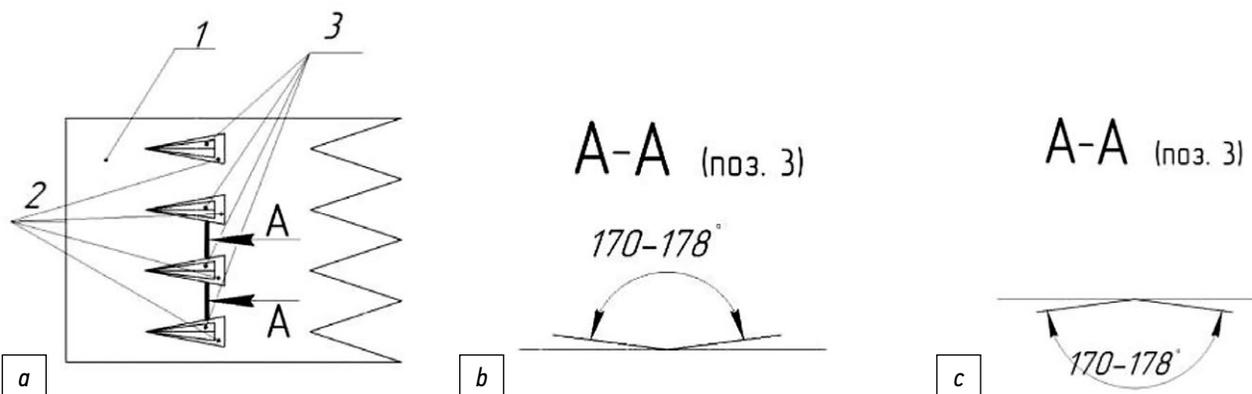


Рис. 4. Перемешивающие элементы с треугольными пластинами: 1 – плоский перемешивающий элемент; 2 – треугольное отверстие; 3 – треугольная пластина; а – общий вид; б – вогнутая пластина, с – выгнутая пластина.

Fig. 4. Mixing elements with triangular plates: 1 – flat mixing element; 2 – triangular hole; 3 – triangular plate; а – general view; б – concave plate, с – curved plate.

попавшие на вогнутую пластину, движутся навстречу друг другу и получают сложные траектории движения, в результате чего смешиваются между собой.

На выгнутых пластинах частицы скатываются в разные стороны, дополнительно смешиваются с частицами с соседних пластин и движутся к следующему перемешивающему элементу, траектории их движения многократно пересекаются. Все это также способствует интенсификации процесса смешивания.

В результате экспериментальных исследований установлено, что заявленные углы вогнутости (выгнутости) и углы наклона пластин относительно плоскости перемешивающего элемента можно изменять в установленных пределах. При этом необходимо руководствоваться условиями недопустимости закупорки отверстий сыпучей массой и получения оптимальной скорости движения частиц для обеспечения многократного пересечения их траекторий движения, что позволит добиться технического результата – повышения степени однородности получаемой смеси.

Еще одним дополнительным способом интенсификации процесса смешивания, независимо от типа рабочих органов, является шарнирное крепление перемешивающих элементов, что позволяет им совершать дополнительные колебания с небольшой амплитудой в вертикальной плоскости [17]. Используя специальный механизм для группового регулирования, можно изменять угол наклона одновременно всех перемешивающих элементов в продольной вертикальной плоскости, изменяя тем самым скорость движения массы внутри виброжелоба и, соответственно, производительность всей установки в целом, а также интенсивность смешивания [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все типы перемешивающих элементов успешно апробированы на лабораторно-экспериментальном вибрационном смесителе сыпучих кормов. Установлено, что при высоких зоотехнических требованиях к качеству кормосмеси целесообразно применять перемешивающие элементы с коническими и полусферическими

поверхностями виброконтакта. Достойной альтернативой им являются плоские перемешивающие элементы с треугольными пластинами.

Если повышенных требований к однородности смеси не предъявляется, то для повышенной производительности смесителя целесообразно использовать плоские перемешивающие элементы с треугольными отверстиями.

Лабораторно-экспериментальный вибрационный смеситель прошел производственную проверку в составе малогабаритного комбикормового агрегата [19, 20].

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. *А.Н. Яцунов* — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи, создание изображений, утверждение финальной версии; *У.К. Сабиев* — редактирование текста рукописи; экспертная оценка. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. *A.N. Yatsunov* — search for publications, writing the text of the manuscript, creating images, approval of the final version; *U.K. Sabiev* — manuscript editing, expert opinion. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work.

Competing interests. The authors declare no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яцунов А.Н. Обоснование основных параметров вибрационного смесителя сыпучих кормов с перемешивающими элементами конической формы: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2008.
2. Сабиев У.К., Яцунов А.Н., Епанчинцев А.С. Смешивание - заключительная операция при производстве комбикормов // Сборник материалов XXIII научно-технической конференции обучающихся ФГБОУ ВО Омский ГАУ. Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2017. С. 36–41.
3. Арефьев В.Л. Вибрация в технике. Обзор. М.: ЦНИИатоминформ, 1970.
4. Гарабажиу А.А. Интенсификация процессов перемешивания сухих сыпучих материалов в современных конструкциях смесителей // Строительная наука и техника. 2010. № 4. С. 27–42.
5. Припадчев А.Д. Влияние геометрических поверхностей виброконтакта на процесс смешивания. М.: Едиториал УРСС, 2004.
6. Яцунов А.Н. Обоснование основных параметров вибрационного смесителя сыпучих кормов с перемешивающими элементами конической формы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2008.

7. Евсеенков С.В. Исследование процесса вибрационного смешивания сыпучих кормовых смесей: дис... канд. техн. наук. Челябинск, 1980.
8. Яцунов А.Н., Сабиев У.К. Повышение качества сыпучих кормосмесей путем оптимизации основных параметров вибрационного смесителя. Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2017.
9. Патент РФ № 74310 / 27.06.2008. Бюл. № 18. Сабиев У.К., Яцунов А.Н., Синцов А.Д. Вибрационный смеситель. Режим доступа: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=6668662bcb6c2312ea349cc79f2b7ea>
10. Патент РФ № 41644 / 10.11.2004. Бюл. № 31. Сабиев У.К., Яцунов А.Н. Вибрационный смеситель. Режим доступа: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=fc430d0abf656b9efb651f51e1b21bce>
11. Патент РФ № 162561 / 20.06.2016. Бюл. № 17. Сабиев У.К., Ляшенко В.С., Яцунов А.Н. Вибрационный смеситель. Режим доступа: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=3094e5b2a4d6f46ed47693497f40e1df>
12. Патент РФ № 148602 / 10.12.2014. Яцунов А.Н., Усков С.В., Жигалов И.П. Вибрационный смеситель. Режим доступа: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=64cad2b23baabceaa926e2670df450f>
13. Сабиев У.К., Яцунов А.Н., Черныков А.В. Обоснование параметров и анализ рабочих органов смесителя кормов // Сельский механизатор. 2016. № 6. С. 26–27.
14. Яцунов А.Н. Интенсификация процесса смешивания сыпучих кормов за счет вариативного применения перемешивающих

- элементов // Современное научное знание в условиях системных изменений: материалы четвертой национальной научно-практической конференции. Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ. 2020. С. 120–126.
15. Патент РФ № 196443 / 28.02.2020, Бюл. 7. Яцунов А.Н., Колодич Д.Ю., Бельский П.А. Вибрационный смеситель. Режим доступа: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=6e9de6e54b120a8ff547e005fda0db2d>
16. Патент РФ № 209637 / 17.03.2022. Бюл. 8. Яцунов А.Н., Сабиев У.К. Вибрационный смеситель. Режим доступа: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=702b4578f765e33c2478f17a695c7a75>
17. Яцунов А.Н. Качество кормосмеси обеспечивается вибрацией // Сельский механизатор. 2008. № 7. С. 34.
18. Патент РФ № 44947 / 10.04.2005. Бюл. № 10. Сабиев У.К., Яцунов А.Н. Устройство для смешивания сыпучих материалов. Режим доступа: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=3adc306187baff49a7cc526c21b00fc1>
19. Яцунов А.Н. Из местного сырья и на собственном агрегате // Агротайм. 2017. № 1 С. 18–19.
20. Яцунов А.Н., Черныков А.В., Сабиев У.К. Производство комбикормов-концентратов в условиях сельскохозяйственных организаций // Сельские территории: проблемы и перспективы устойчивого развития: материалы Международной научно-практической конференции. Тара: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ. 2017. С. 127–132.

REFERENCES

1. Yatsunov AN. *Obosnovanie osnovnykh parametrov vibratsionnogo smesitelya syuchikh kormov s peremeshivayushchimi elementami konicheskoy formy* [dissertation]. Novosibirsk; 2008. (in Russ).
2. Sabiev UK, Yatsunov AN, Epanchintsev AS. Mixing – the final operation in the production of animal feed. In: *Proceedings of the XXIII scientific and technical conference of students of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Omsk State Agrarian University*. Omsk: Izd-vo FGBOU VO Omskiy GAU; 2017:36–41. (in Russ).
3. Arefiev VL. *Vibration in technology. A Review*. Moscow: TsNIIlaminform; 1970. (in Russ).
4. Garabazhiu AA. Intensification of Mixing Processes of Dry Bulk Materials in Modern Mixer Designs. *Stroitel'naya nauka i tekhnika*. 2010;4:27–42. (in Russ).
5. Pripadchev AD. *Influence of geometrical surfaces of vibrocontact on the mixing process*. Moscow: Editorial URSS; 2004. (in Russ).
6. Yatsunov AN. *Obosnovanie osnovnykh parametrov vibratsionnogo smesitelya syuchikh kormov s peremeshivayushchimi elementami konicheskoy formy*. Avtoreferat [dissertation] Novosibirsk; 2008. (in Russ).
7. Evseenkov SV. *Issledovanie protsessy vibratsionnogo smeshivaniya syuchikh kormovykh smesey* [dissertation] Chelyabinsk, 1980. (in Russ).
8. Yatsunov AN, Sabiev UK. *Improving the quality of bulk feed mixtures by optimizing the main parameters of the vibratory mixer*. Omsk: Izd-vo FGBOU VO Omskiy GAU; 2017. (in Russ).
9. Patent RUS № 74310 / 27.06.2008. Byul. № 18. Sabiev UK, Yatsunov AN, Sintsov AD. *Vibratsionnyy smesitel*. Available from: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=6668662bcb6c2312ea349cc79f2b7ea> (in Russ).
10. Patent RUS № 41644 / 10.11.2004. Byul. № 31. Sabiev UK, Yatsunov AN. *Vibratsionnyy smesitel*. Available from: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=fc430d0abf656b9efb651f51e1b21bce> (in Russ).
11. Patent RUS № 162561 / 20.06.2016. Byul. № 17. Sabiev UK, Lyashenko VS, Yatsunov AN. *Vibratsionnyy smesitel*. Available from: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=3094e5b2a4d6f46ed47693497f40e1df> (in Russ).
12. Patent RUS № 148602 / 10.12.2014. Byul. № 34. Yatsunov AN, Uskov SV, Zhigalov IP. *Vibratsionnyy smesitel*. Available from: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=64cad2b23baabceaa926e2670df450f> (in Russ).
13. Sabiev UK, Yatsunov AN, Chernyakov AV. Justification of the parameters and analysis of the working bodies of the feed mixer. *Selskiy mekhanizator*. 2016;6:26–27. (in Russ).
14. Yatsunov AN. Intensification of the process of mixing bulk feed due to the variable use of mixing elements. In: *Modern scientific knowledge in the context of systemic changes: proceedings of the fourth national scientific and practical conference*. Omsk: Izd-vo FGBOU VO Omskiy GAU. 2020:120–126. (in Russ).
15. Patent RUS № 196443 / 28.02.2020, Byul. 7. Yatsunov AN, Kolodich DYU, Belskiy PA. *Vibratsionnyy smesitel*. Available from: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=6e9de6e54b120a8ff547e005fda0db2d> (in Russ).
16. Patent RUS № 209637 / 17.03.2022. Byul. 8. Yatsunov AN, Sabiev UK. *Vibratsionnyy smesitel*. Available from: <https://new.fips.ru/iiss/document.html?faces-redirect=true&id=702b4578f765e33c2478f17a695c7a75>

ru/iiss/document.xhtml?fases-redirect=true&id=702b4578f765e33c2478f17a695c7a75 (in Russ).

17. Yatsunov AN. The quality of the feed mixture is ensured by vibration. *Selskiy mekhanizator*. 2008;7:34. (in Russ).

18. Patent RUS №44947 / 10.04.2005. Byul. № 10. Sabiev UK, Yatsunov AN. *Ustroystvo dlya smeshivaniya sypuchikh materialov*. Available from: <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?fases-redirect=true&id=3adc306187baff49a7cc526c21b00fc1> (in Russ).

19. Yatsunov AN. From local raw materials and on our own machine. *Agrotaym*. 2017;1:18–19. (in Russ).

20. Yatsunov AN, Chernyakov AV, Sabiev UK. Production of feed concentrates in the conditions of agricultural organizations. In: *Rural territories: problems and prospects of sustainable development: proceedings of the International scientific and practical conference*. Tara: Izd-vo FGBOU VO Omskiy GAU. 2017:127–132. (in Russ).

ОБ АВТОРАХ

*Яцунов Александр Николаевич,

доцент, к.т.н.,

директор филиала, доцент кафедры агрономии и агроинженерии;

адрес: Россия, 646532, Тара, ул. Тюменская, д. 18;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7777-9417>;

eLibrary SPIN: 5313-7106;

e-mail: an.yatsunov@omgau.org

Сабиев Уахит Калижанович,

профессор, д.т.н.,

профессор кафедры агроинженерии;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7764-059X>;

eLibrary SPIN: 2287-2515;

e-mail: uk.sabiev@omgau.org

*Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

*Alexander N. Yatsunov,

Associate Professor, Cand. Sci. (Tech.),

Branch Director, Associate Professor of Agronomy and Agroengineering Department;

address: 18 Tyumenskaya street, 646532 Tara, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7777-9417>;

eLibrary SPIN: 5313-7106;

e-mail: an.yatsunov@omgau.org

Uahit K. Sabiev,

Professor, Dr. Sci. (Tech.),

Professor of the Agroengineering Department;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7764-059X>;

eLibrary SPIN: 2287-2515;

e-mail: uk.sabiev@omgau.org

*Corresponding author