

tan-Shakh; pod red. E.S. Bosogo – 2-e izd., pere-rab. i dop. – Moskva: Mashinostroenie, 1977. – 568 s.

Работа выполнена при поддержке Фонда содей-ствия инновациям по программе «УМНИК-2021».



УДК 631.1.363

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-224-6-99-105

У.К. Сабиев, И.Р. Хузин

U.K. Sabiev, I.R. Khuzin

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОЗАТОРА ВИБРАЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF KINEMATIC PARAMETERS OF VIBRATING BATCHER

Ключевые слова: *вибрационный дозатор, неравномерность дозирования, среднеквадратичное отклонение, параметры вибрации, амплитуда и частота колебаний.*

Известно, что в технологии приготовления комби-кормов перспективными являются машины и оборудо-вание, использующие вибрацию, что позволяет для процесса дозирования повысить сыпучесть и равно-мерность потока сыпучего корма и, как следствие, по-лучить малую погрешность дозирования, не выходя-щую за пределы зоотехнических требований. Они поз-воляют достичь существенных результатов по повы-шению качественных показателей. В статье приведены результаты экспериментальных исследований вибра-ционного дозатора сыпучих кормов методом многофак-торного эксперимента. Был принят экстремальный план Хартли-Коно, матрица которого содержит наименьшее количество экспериментальных точек с варьированием факторов на трех уровнях. Представ-лены наглядные графические зависимости неравно-мерности дозирования (C_v , %) от параметров вибрации дозатора (амплитуды (A) и частоты (ω) колебаний) и удельной энергоёмкости от показателя интенсивности вибрации (G). При воздействии вибрации сцепление между частицами данной дисперсной среды уменьша-ется, придавая им свойство псевдооживления. Кроме того, за счет вибрационного воздействия создается объемное динамическое состояние с полным разруше-нием структур в процессе дозирования сыпучих кормо-вых материалов, которое является средством увеличе-ния сыпучести, более точного и равномерного схода корма с дозирующего лотка вибрационного дозатора, что, соответственно, и снижает погрешность дозирова-ния. Анализ представленных зависимостей позволил обосновать экспериментально оптимальные границы применения параметров вибрации дозатора: амплиту-да $A = 8-10$ мм и частота колебаний $\omega = 47,1-52,33$ с⁻¹, где в большей степени наблюдалось снижение нерав-

номерности дозирования, соответствующие зоотехни-ческим требованиям, и затрат энергии на дозирование различных сыпучих кормов.

Keywords: *vibrating batcher, dosing unevenness, standard deviation, vibration parameters, amplitude and frequency of oscillations.*

It is known that machines and equipment that use vi- bration are promising in the technology of compound feed preparation. The use of vibration for dosing process makes it possible to increase the flowing property and uniformity of the flow of loose feed, and as a result, to obtain a small dosing error that does not go beyond animal husbandry requirements. They allow achieving significant results in improving quality indices. This paper discusses the findings of experimental studies of a vibratory bulk feed batcher by the method of a multifactorial experiment. The Hartley-Kono plan was adopted where the matrix contains the smallest number of experimental points with varying factors at three levels. Graphical dependences of dosing uneven- ness (C_v , %) on the parameters of the vibration of the batcher (amplitude (A) and frequency (ω) of vibrations) and specific energy intensity on the vibration intensity indicator (G) are presented. When exposed to vibration, the adhe- sion between the particles of this dispersed medium is re- duced giving them the property of fluidization. In addition, due to the vibration effect, a volumetric dynamic state is created with complete destruction of structures in the pro- cess of dosing bulk feed materials which is a means of increasing the flowing property, more accurate and uniform feeding from the dosing tray of the vibrating dosing unit which, accordingly, reduces the dosing error. The analysis of the presented dependences made it possible to substan- tiate the experimentally optimal limits for the application of the vibration parameters of the batcher: amplitude $A = 8-10$ mm and oscillation frequency $\omega = 47.1-52.33$ s⁻¹, and en- ergy costs for dosing various bulk feeds.

Сабиев Уахит Калижанович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Омский ГАУ, г. Омск, Российская Федерация, e-mail: uk.sabiev@omgau.org.

Хузин Илья Радикович, ассистент, ФГБОУ ВО Омский ГАУ, г. Омск, Российская Федерация, e-mail: ir.khuzin@omgau.org.

Sabiev Uakhit Kalizhanovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Omsk State Agricultural University, Omsk, Russian Federation, e-mail: uk.sabiev@omgau.org.

Khuzin Ilya Radikovich, Asst., Omsk State Agricultural University, Omsk, Russian Federation, e-mail: ir.khuzin@omgau.org.

В настоящее время машины вибрационного действия получили большое распространение для интенсификации различных технологических процессов [1-3], в том числе и для дозирования кормов. Это объясняется тем, что за счет вибрационного воздействия сыпучий кормовой материал приводится в состояние «виброоживления». В этом случае целесообразно говорить о «кажущемся» изменении сил и коэффициентов трения при воздействии вибрации, представляющей собою простейшее проявление виброреологических закономерностей. «Применение вибрации для дозирования позволяет повысить сыпучесть и равномерность потока сыпучего корма и, как следствие, получить малую неравномерность дозирования» [4, 5], соответствующую зоотехническим требованиям.

Цель исследования – снижение неравномерности дозирования и удельной энергоёмкости дозирования сыпучих кормов путем экспериментального обоснования параметров вибрации дозатора.

Задачи исследования: экспериментально обосновать параметры вибрации дозатора (амплитуда (A) и частота (ω) колебаний), позволяющие снизить неравномерность дозирования и удельные энергозатраты при качестве дозирования сыпучих кормов, отвечающем зоотехническим требованиям.

Объекты и методы

Объектом исследования является процесс дозирования сыпучих кормов под воздействием вибрации. Для дозирования был принят рассыпной комбикорм для крупного рогатого скота по ГОСТ. Выбор обосновывался на том, что это самый распространенный кормовой материал, который занимает среднее положение по гранулометрическому составу, склонности к сводообразованию среди других сыпучих кормов.

Методами определения качественных показателей работы лоткового вибрационного дозатора приняты среднеквадратичное отклонение σ и коэффициент вариации C_v . Значения их подсчитывались по известным в математической статистике формулам:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}}; \quad (1)$$

$$C_v = \left(\frac{\sigma}{\bar{Q}}\right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где Q_i – масса i -той пробы;

\bar{Q} – среднеарифметическая масса пробы;

n – число проб.

Использование таких показателей для оценки точности непрерывного дозирования позволяет более надежно провести сопоставление результатов экспериментов при ограниченном количестве экспериментальных данных» [4].

Результаты исследований

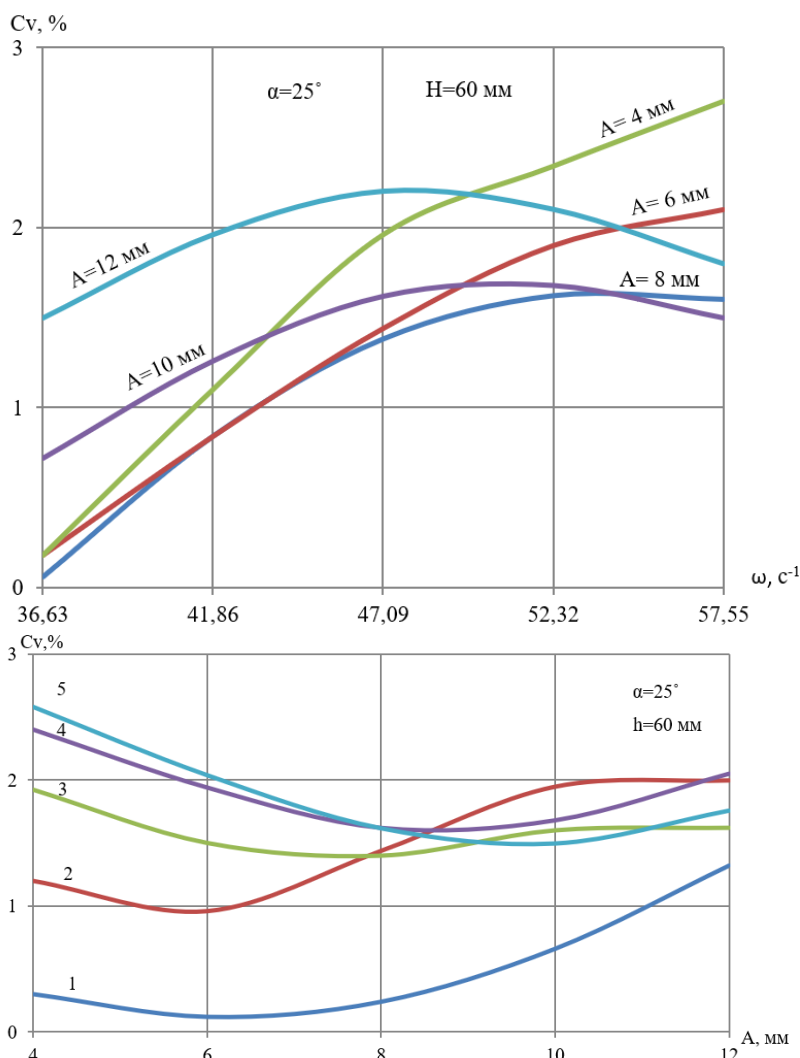
Для оптимизации технологического процесса дозирования сыпучего корма вибрационным дозатором был принят экстремальный план Хартли-Коно [6]. Объясняется это тем, что из всех планов второго порядка именно его матрица содержит наименьшее число экспериментальных точек с варьированием факторов только на трех уровнях. Основными факторами, влияющими на выходные показатели работы дозатора вибрационного действия, были приняты: высота выпускного окна (X_1 , $n=40, 60, 80$ мм), частота колебаний лотка (X_2 , $\omega=36,63; 47,1; 57,56$ с⁻¹), амплитуда колебаний лотка (X_3 , $A= 4, 8, 12$ мм), угол наклона лотка к горизонту (X_4 , $\alpha=15^\circ, 25^\circ, 35^\circ$).

Применительно к схеме разработанного лоткового вибрационного дозатора по методике многофакторного эксперимента получены урав-

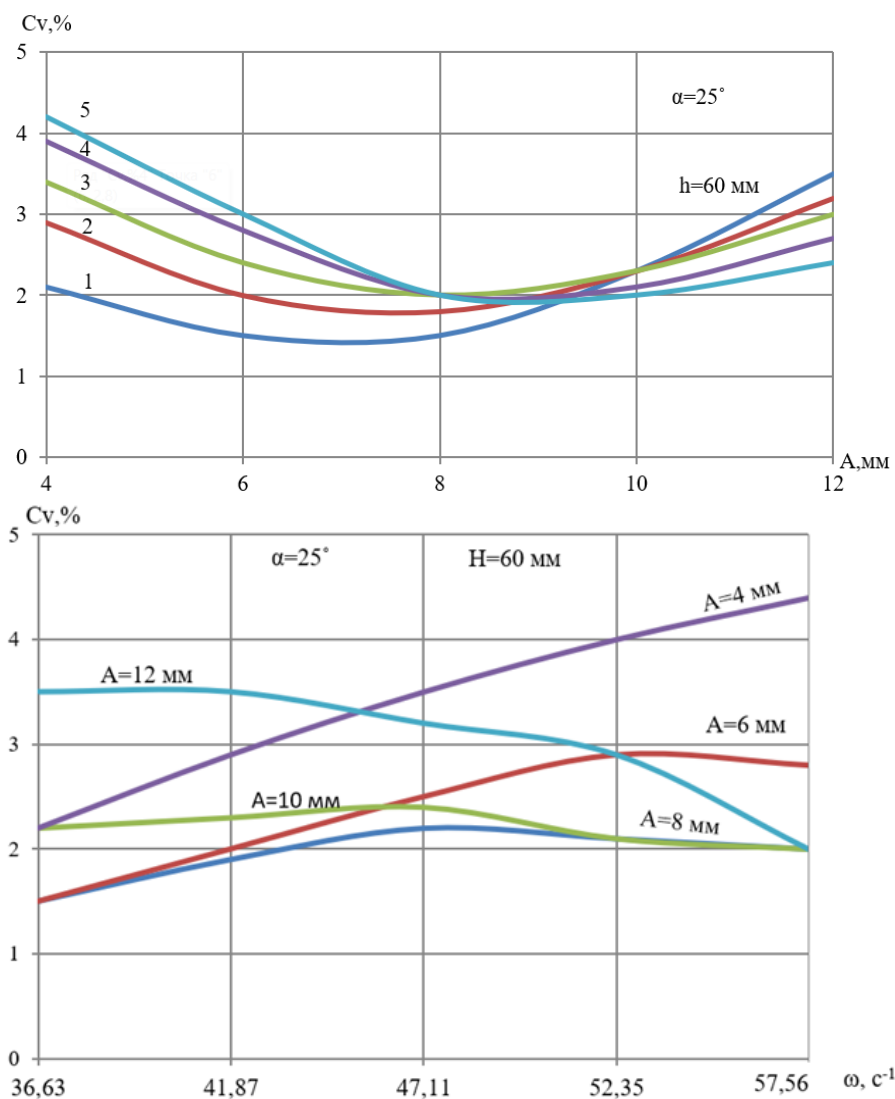
нения регрессии [7], адекватно описывающие технологический процесс.

«Для выявления закономерности влияния параметров вибрации (а) предлагаемого дозатора вибрационного действия на качество дозирования нами по результатам многофакторного эксперимента построены зависимости для рассыпного комбикорма и гранулированной травяной муки. Графическая интерпретация представлена на рисунка 1 а, б и 2а, б при стабилизации факторов X_1 (высота выпускного окна) и X_4 (угол наклона лотка дозатора) на нулевых уровнях» [2].

«Анализ приведённых графиков на рисунках 1б и 2б наглядно показывает, что с увеличением частоты колебаний вибрационного дозатора до $\omega=47,1 \text{ с}^{-1}$ неравномерность дозирования возрастает, а при дальнейшем увеличении ω – снижается, причём снижение неравномерности дозирования тем меньше, чем больше амплитуда колебаний лотка в диапазоне выбранного факторного пространства. Снижение неравномерности дозирования корма вибрационным дозатором позволяет предположить следующую гипотезу объяснения полученных закономерностей» [2].



**Рис. 1. Зависимость неравномерности дозирования (C_v , %) от амплитуды (A) и частоты (ω) колебаний вибрационного дозатора (материал – рассыпной комбикорм):
 1 – $\omega=36,63 \text{ с}^{-1}$; 2 – $\omega=41,86 \text{ с}^{-1}$; 3 – $\omega=47,1 \text{ с}^{-1}$; 4 – $\omega=52,33 \text{ с}^{-1}$; 5 – $\omega=57,56 \text{ с}^{-1}$**



**Рис. 2. Зависимость неравномерности дозирования (C_v , %) от амплитуды (A) и частоты (ω) колебаний вибрационного дозатора (материал – гранулированная травяная мука):
 1 – $\omega=36,63$ с⁻¹; 2 – $\omega=41,86$ с⁻¹; 3 – $\omega=47,1$ с⁻¹; 4 – $\omega=52,33$ с⁻¹; 5 – $\omega=57,56$ с⁻¹**

«Анализ приведенных графиков на рисунках 1а и 2а наглядно показывает, что с увеличением амплитуды колебаний вибрационного дозатора неравномерность дозирования корма вначале снижается, а затем, при дальнейшем увеличении амплитуды колебаний, повышается» [2].

«При воздействии вибрации на сыпучий кормовой материал с ней происходит ряд превращений, особенности которых обуславливаются интенсивностью вибрации. По мере увеличения интенсивности вибрации в пределах амплитудных значений ускорений, не превышающих ускорения свободного падения, кормовой материал приобретает подвижность, псевдотекучесть» [2]. В этом состоянии сцепление между

частицами данной дисперсной среды уменьшается, придавая им свойство псевдооживления [8]. Кроме того, под воздействием «вибрации изменяются также физико-механические свойства корма, в том числе и коэффициенты трения (внешний и внутренний) лишь кажущимся образом» [9]. «При этом наблюдается выравнивание поверхности слоя корма и равномерное его истечение, которое легко поддается управлению, зависящему, в том числе и от параметров вибраций» [2]. Это способствует увеличению сыпучести, более точному и равномерному сходу корма с дозирующего лотка вибрационного дозатора, что, соответственно, и повышает качество дозирования.

Следует также отметить, что «за счет вибрационного воздействия создается объемное динамическое состояние с полным разрушением структур в процессе дозирования сыпучих кормовых материалов, являющееся средством повышения точности их дозирования. Анализ рассмотренных выше закономерностей позволяет обосновать границы применения вибраций, соответствующих амплитудам $A=8-10$ мм и частоте колебаний $\omega=47,1-52,33$ с⁻¹. В этой зоне в большей степени наблюдалось снижение неравномерности дозирования затрат энергии на дозирование (рис. 3) различных сыпучих кормов» [2].

Интенсивность вибрации принято оценивать через динамический параметр, равный отношению вибрационных ускорений к ускорению свободного падения g :

$$\Gamma = A\omega^2/g \cos\alpha. \quad (3)$$

«Анализ графика, приведенного на рисунке 3, показывает, что с увеличением интенсивности вибрации, энергоёмкость для рассыпного комбикорма вначале несколько увеличивается,

а затем резко падает, стремясь ближе к нулю. Начальное увеличение удельной энергоёмкости объясняется повышенным расходом мощности на вибрацию при незначительном повышении подачи q . При более интенсивном действии вибрации наблюдается снижение удельной энергоёмкости. Это подтверждает полученную нами теоретическую зависимость [10, 11] о снижении энергозатрат при действии на сыпучий корм параметров вибрации, свидетельствует о реальном «снижении» коэффициентов трения о дно дозирующего лотка вибрационного дозатора. В последнем предложении «снижение» коэффициента трения взято в кавычки, подчеркивая тем самым, что реальный коэффициент не изменился. Такое реальное снижение удельной энергоёмкости наблюдается лишь до определенных значений динамических параметров (в данном случае для $X_2, \omega \leq 10g$). Возможно, здесь сказывается влияние неучтенных при выводе теоретической зависимости реальных условий работы вибрационного дозатора.

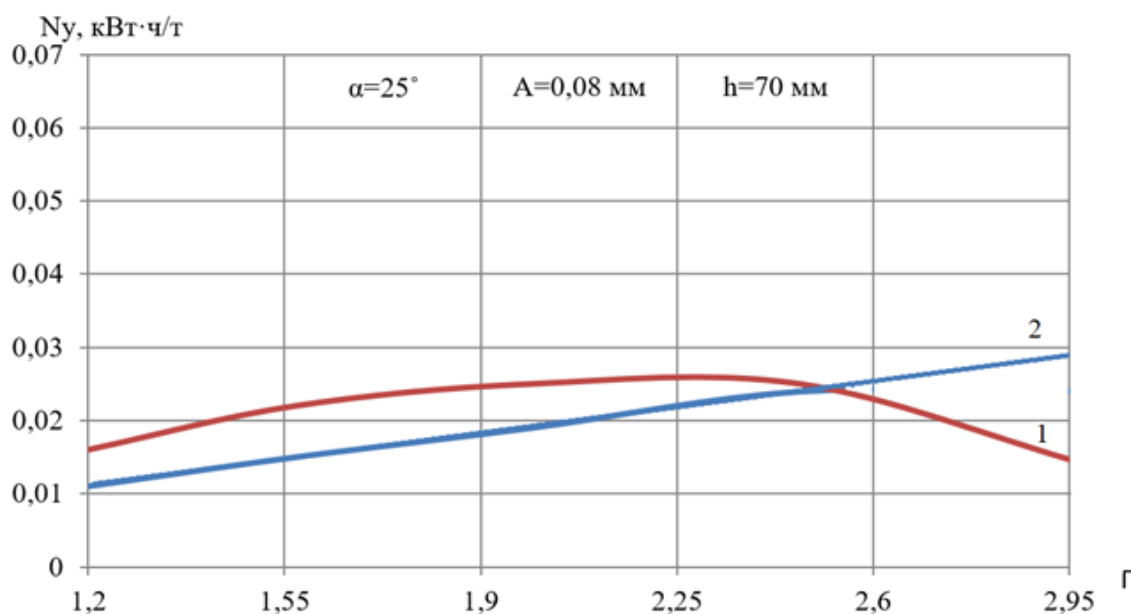


Рис. 3. Влияние интенсивности вибрации на удельные энергозатраты при дозировании корма:
1 – рассыпной комбикорм; 2 – гранулированная травяная мука

Однако не всегда можно судить об уменьшении сил трения из-за физических изменений, соприкасающихся тел или сред только на основании снижения расхода энергии. Другими сло-

вами, это условие выполняется лишь при уменьшении истинных характеристик трения, то есть данное условие является достаточным, но далеко не необходимым. Если же влияние виб-

рации на истинную силу внешнего трения, следовательно, и на соответствующие коэффициенты трения сыпучих кормов незначительны, то это может не отразиться на изменении в сторону уменьшения расхода энергии [12]. Так, для гранулированной травяной муки закономерность изменения удельной энергоёмкости от параметров вибрации не снижается, а наоборот, увеличивается (рис. 3). Это объясняется узким выбором области исследования факторов ω и A [2], а также различной формой частиц данного вида корма, а также взаимодействием вибрирующей поверхности (лотка дозатора вибрационного действия) с гранулированной травяной муки. Видимо, «что снижение удельной энергоёмкости для гранулированной травяной муки будет когда-либо выявлено при иных параметрах вибрации» [2].

Выводы

1. Приведены наглядные графические зависимости неравномерности дозирования (C_v , %) от параметров вибрации дозатора и удельной энергоёмкости от показателя интенсивности вибрации (Γ).

2. Экспериментально обоснованы оптимальные границы применения параметров вибрации дозатора вибрационного действия («амплитуда $A=8-10$ мм и частота колебаний $\omega=47,1-52,33$ с⁻¹), когда наблюдается снижение неравномерности дозирования, соответствующее зоотехническим требованиям, и удельных затрат энергии на технологический процесс дозирования сыпучих кормов» [2].

Библиографический список

1. Sabiev, U., Demchuk, E., Myalo, V., Soyunov, A. (2017). Innovative Equipment and Production Method for Mixed Fodder in the Conditions of Agricultural Enterprises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 221. 012020. DOI: 10.1088/1757-899X/221/1/012020.

2. Сабиев, У. К. Интенсификация технологических процессов приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Сабиев Уахит Калижа-

нович; [Место защиты: Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова]. – Барнаул, 2012. – 406 с.

3. Сабиев, У. К. Эффективные коэффициенты трения при вибрациях – основа интенсификации технологических процессов приготовления комбикормов / У. К. Сабиев, И. У. Сабиев. – Текст: непосредственный // Научно-техническое обеспечение процессов и производств АПК: материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 70-летию образования Инженерного института / редакционная коллегия: Ю. Н. Блынский, Ю. А. Гуськов [и др.]. – 2014. – С. 142-148.

4. Сабиев, У. К. Качественные показатели работы лоткового вибрационного дозатора / У. К. Сабиев. – Текст: непосредственный // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2 (42). – С. 130-136. – DOI 10.48136/2222-0364_2021_2_130. – EDN CJRUFH.

5. Федоренко, И. Я. Вибрационные процессы и устройства в АПК / И. Я. Федоренко. – Барнаул, 2016. – 289 с. – ISBN978-5-94485-296-0. – Текст: непосредственный.

6. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. – Ленинград: Колос, 1980. – 168 с. – Текст: непосредственный.

7. Сабиев, У. К. Повышение эффективности дозирования сыпучих кормов вибрационным дозатором / У. К. Сабиев. – Текст: непосредственный // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 10 – С. 25-26.

8. Гончаревич, И. Ф. Вибрационная техника в пищевой промышленности / И. Ф. Гончаревич, Н. Б. Урьев, М. А. Талейсник. – Москва: Пищевая промышленность, 1977. – Текст: непосредственный.

9. Блехман, И. И. Об эффективных коэффициентах трения при вибрациях / И. И. Блехман, Г. Ю. Джанелидзе. – Текст: непосредственный // Известия АН СССР ОТН. – 1958. – № 7. – С. 98-101.

10. Федоренко И. Я. Особенности проявления эффективного снижения трения в лотковых вибрационных дозаторах / И. Я. Федоренко, У. К. Сабиев. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 6. – С. 82-85.

11. Sabiev, U., Soyunov, A., Myalo, V., Yatsunov, A. (2022). Theoretical description of the motion of a material particle in pan vibrating batchers for agricultural purposes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 954. 012067. DOI: 10.1088/1755-1315/954/1/012067.

12. Земсков, В. И. Вибрация и внешнее трение сыпучих кормовых материалов / В. И. Земсков, И. Я. Федоренко, В. И. Лобанов. – Текст: непосредственный // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 2. – С. 33-35.

References

1. Sabiev, U., Demchuk, E., Myalo, V., Soyunov, A. (2017). Innovative Equipment and Production Method for Mixed Fodder in the Conditions of Agricultural Enterprises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 221. 012020. DOI: 10.1088/1757-899X/221/1/012020.

2. Sabiev U.K. Intensifikatsiia tekhnologicheskikh protsessov prigotovleniia kombikormov v usloviakh selskokhoziaistvennykh predpriatii: dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / GOU VPO "Altaiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet". – Barnaul, 2012. – 319 s.

3. Sabiev U.K., Sabiev I.U. Effektivnye koeffitsienty treniia pri vibratsiakh – osnova intensifikatsii tekhnologicheskikh protsessov prigotovleniia kombikormov / Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie protsessov i proizvodstv APK. Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posviashchennoi 70-letiiu obrazovaniia Inzhenernogo instituta. – 2014. – С. 142-148.

4. Sabiev, U.K. Kachestvennye pokazateli raboty lotkovogo vibratsionnogo dozatora / U.K. Sabiev // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – No. 2 (42). – S. 130-136. – DOI 10.48136/2222-0364_2021_2_130. – EDN CJRUFH.

5. Fedorenko I.Ia. Vibratsionnye protsessy i ustroistva v APK. – Barnaul, 2016. – 289 s.

6. Melnikov S.V. Planirovanie eksperimeta v issledovaniakh selskokhoziaistvennykh protsessov / S.V. Melnikov., V. R. Aleshkin., P.M. Roshchin. – Leningrad: Kolos, 1980. – 168 s.

7. Sabiev U.K. Povyshenie effektivnosti dozirovaniia sypuchikh kormov vibratsionnym dozatorom // Mekhanizatsiia i elektrifikatsiia selskogo khoziaistva. – 2011. – No. 10. – S. 25–26.

8. Goncharevich I.F., Urev N.B., Taleisnik M.A. Vibratsionnaia tekhnika v pishchevoi promyshlennosti. – Moskva: Pishchevaia promyshlennost, 1977.

9. Blekhman I.I. Ob effektivnykh koeffitsientakh treniia pri vibratsiakh / I.I. Blekhman, G.Iu. Dzhanelidze // Izv. AN SSSR OTN. – 1958. – No. 7. – S. 98-101.

10. Fedorenko I.Ia., Sabiev U.K. Osobennosti proiavlennii effektivnogo snizheniia treniia v lotkovykh vibratsionnykh dozatorakh // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – No. 6. – С. 82–85.

11. Sabiev, U., Soyunov, A., Myalo, V., Yatsunov, A. (2022). Theoretical description of the motion of a material particle in pan vibrating batchers for agricultural purposes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 954. 012067. DOI: 10.1088/1755-1315/954/1/012067.

12. Zemskov V.I., Fedorenko I.Ia., Lobanov V.I. Vibratsiia i vneshnee trenie sypuchikh kormovykh materialov // Mekhanizatsiia i elektrifikatsiia selskogo khoziaistva. – 1987. – No. 2. – С. 33-35.

