

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Научная статья
УДК 631.363.7
doi: 10.28983/asj.y2024i4pp121-127

Повышение эффективности работы многоцелевого смесителя-измельчителя при производстве витаминно-кормовой добавки для сельскохозяйственных животных

**Вячеслав Анатольевич Ружев¹, Валерий Геннадьевич Игнатенков²,
Максим Александрович Фомичев², Евгений Леонидович Лаппо²**

¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Санкт-Петербург – Пушкин, Россия

² Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, г. Великие Луки, Россия

e-mail: ruzhev_va@mail.ru

Аннотация. Вопросы обеспечения населения качественными продуктами питания, в настоящее время являются актуальными и особенно важны для Российской Федерации в период санкционного влияния. Для производства нужного объема продукции в животноводстве, следует улучшать кормовую базу выращиваемого поголовья, что в свою очередь рационально сделать, через освоение и использование местных природных ресурсов. Одним из таких недостаточно востребованных источников сырья является сапропель – естественные отложения пресноводных водоемов, богатых минеральными веществами и витаминами. Сапропель целесообразно применять в качестве базы для приготовления кормовых добавок, одним из вариантов таких добавок станет проращивание на сапропеле зеленой массы зерновых для обогащения продукта вкусовыми характеристиками. Также витаминно-кормовая добавка поедается животными полностью, т.е. безотходно. Для производства витаминно-кормовой добавки предлагаем новую конструкцию многоцелевого смесителя-измельчителя с модернизированными лопатками-ножами, конструкцию которых и кинематический режим их работы, авторы обосновали как теоретически, так и экспериментально. Предложенная технология производства высокоэффективной кормовой добавки на основе местных ресурсов Нечерноземья и агрегат для приготовления такого продукта к употреблению животным позволит значительно сократить экономические затраты на питание поголовья и получить значительную прибыль с.-х. предприятию, особенно в зимний период содержания животных.

Ключевые слова: смеситель-измельчитель; витаминно-кормовая добавка; нож-лопатка; сапропель; резание

Для цитирования: Ружев В. А., Игнатенков В. Г., Фомичев М. А., Лаппо Е. Л. Повышение эффективности работы многоцелевого смесителя-измельчителя при производстве витаминно-кормовой добавки для сельскохозяйственных животных // Аграрный научный журнал. 2024. № 4. С. 121–127. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp121-127>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Increasing the efficiency of a multi-purpose mixer-grinder in the production of vitamin-feed additives for farm animals

Vyacheslav A. Ruzhev¹, Valery G. Ignatenkov², Maksim A. Fomichev², Yevgeny L. Lappo²

¹ Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg – Pushkin, Russia

² State Agricultural Academy of Velikie Luki, Velikie Luki, Russia

e-mail: ruzhev_va@mail.ru

Abstract. The issues of providing the population with quality food products are currently relevant and especially important for the Russian Federation during the period of sanctions influence. To produce the required volume of products in livestock farming, it is necessary to improve the feed supply of the raised livestock, which in turn can be done rationally through the development and use of local natural resources. One of these insufficiently demanded sources of raw materials is sapropel – natural deposits of freshwater reservoirs, rich in minerals and vitamins. It is advisable to use sapropel as a base for the preparation of feed additives; one of the options for such additives



would be the germination of green mass of cereals on sapropel to enrich the product with taste characteristics. Also, the vitamin-feed additive is completely consumed by animals, i.e. waste-free. For the production of vitamin-feed additives, we propose a new design of a multi-purpose mixer-chopper with modernized blades-knives, the design of which and the kinematic mode of their operation were substantiated by the authors both theoretically and experimentally. The proposed technology for the production of a highly effective feed additive based on local resources of the Non-Black Earth Region and a unit for preparing such a product for consumption by animals will significantly reduce the economic costs of feeding livestock and obtain significant agricultural profits. enterprise, especially during the winter period of keeping animals.

Keywords: mixer-chopper; vitamin-feed additive; knife-shovel; sapropel; cutting

For citation: Ruzhev V.A., Ignatenkov V.G., Fomichev M.A., Lappo Ye.L. I Increasing the efficiency of a multi-purpose mixer-grinder in the production of vitamin-feed additives for farm animals // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2024;(4):121–127. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp121-127>.

Введение. Анализ возможностей использования местных природных ресурсов показал перспективность использования сапропеля в качестве базового компонента для приготовления кормовых добавок к основному рациону питания животных.

Многочисленные труды известных отечественных и зарубежных ученых [1, 8, 10] подтверждают богатый потенциал сапропеля по обогащению рационов поголовья витаминами, питательными и биологически активными веществами.

Для лучшего применения сапропелевых кормовых добавок следует обеспечить производство средствами механизации, рабочие органы которых должны быть приспособлены к физико-механическим свойствам сапропеля и других компонентов, входящих в продукт скармливания животным.

Материалы и методы. Применен системный подход с использованием моделирования при анализе конструктивных особенностей смесителей-измельчителей во взаимосвязи с условиями и режимами их работы. Применяли методы эмпирического исследования: изучение литературных и других источников; анализ эксплуатационных показателей аналогичных технических систем в реальных условиях производственной эксплуатации.

Рассмотрим процесс производства витаминно-кормовой добавки, состоящей из сапропеля и пророщенной на нем зеленой растительной массы, связанных между собой корневой структурой (рисунок 1). Такая витаминно-кормовая добавка целесообразна при кормлении поголовья сель-



Рисунок 1 – Зеленая растительная масса, пророщенная на сапропеле

Figure 1 – Green plant mass sprouted on sapropel

скохозяйственных животных в тот период, когда наблюдается нехватка витаминов и минеральных веществ, а также необходимых вкусовых характеристик у потребляемого продукта.

Чтобы приготовить и переработать такой корм необходим универсальный многоцелевой агрегат, который был разработан научным коллективом на базе лаборатории витаминно-кормовых добавок ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА [4, 9].

Многоцелевой смеситель-измельчитель витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля (рисунок 2) участвует как в цикле проращивания зеленой массы зерновых на сапропеле, так и в цикле переработки готового продукта в соответствии с зоотехническими требованиями к кормлению поголовья.

Первый цикл заключается в подготовке к проращиванию (смешиванию зерна и сапропеля в рекомендуемых, согласно зоотехническим и агротехническим нормам, пропорциях). Для этого используются дозаторы зерна и сапропеля, лопатки смешивания, шнек.

Второй цикл заключается в измельчении и смешивании компонентов витаминно-кормовой добавки после проращивания на сапропеле зеленой растительной массы, когда необходимо первоначально разрушить так называемый «дерн» – пласт сапропеля, связанный с растительной массой корневой структурой (рисунок 3).



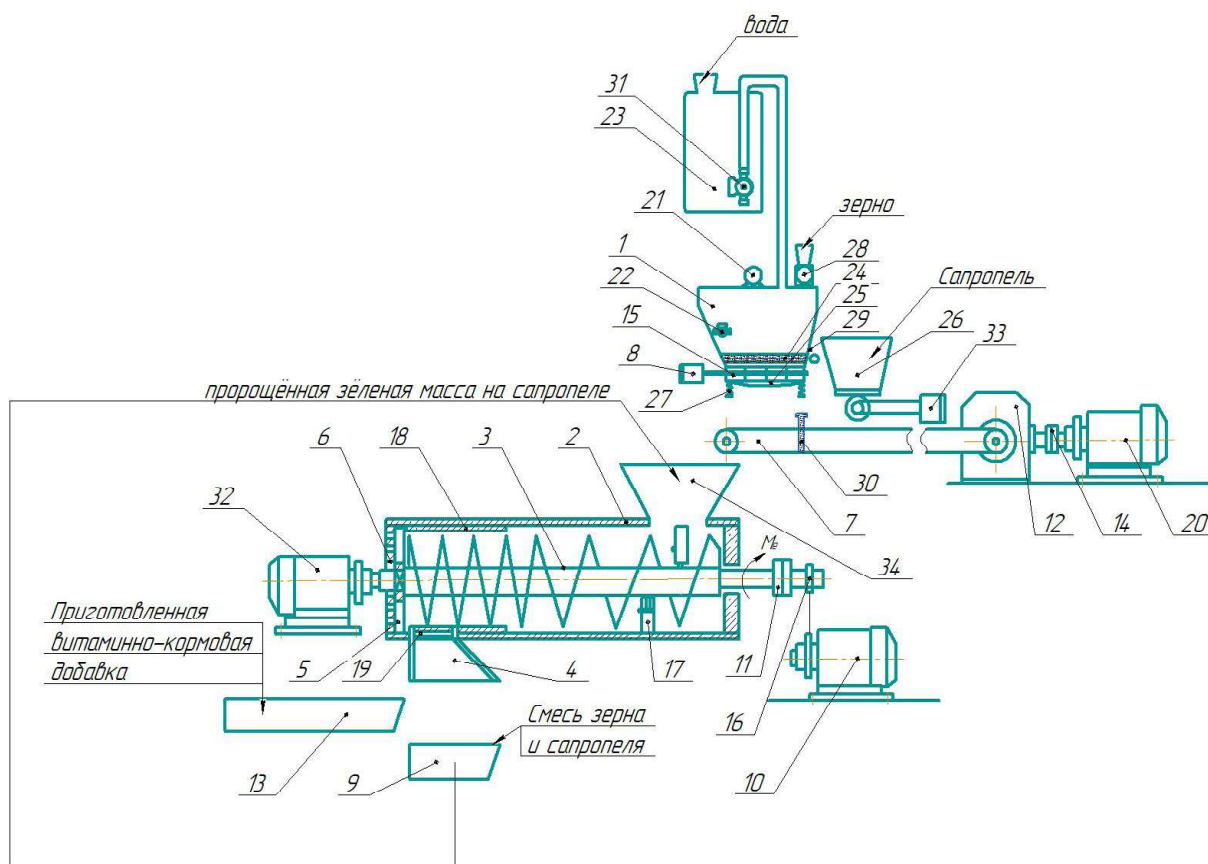


Рисунок 2 – Многоцелевой смеситель-измельчитель витаминно-кормовой добавки:
 1 – бункер дозатора; 2 – корпус смесителя-измельчителя; 3 – шнек с витками переменного шага; 4 – выгрузная горловина; 5 – нож; 6 – противорежущая решетка; 7 – ленточный транспортер; 8 – электродвигатель для привода составного ячеистого дозатора; 9 – поддон для проращиваемого зерна на сапропеле; 10 – электродвигатель для привода вала смесителя-измельчителя; 11 – муфта; 12 – червячный редуктор; 13 – поддон для приготовленной вита-минно-кормовой добавки; 14 – втулочная-пальцевая муфта; 15 – барабанный составной ячеистый дозатор; 16 – ременная передача; 17 – лопатки с механизмом наклона; 18 – направляющие ребра; 19 – выгрузная заслонка; 20 – электродвигатель ленточного транспортера; 21 – вибратор; 22 – кислородный насос для барботации семян; 23 – резервуар для воды; 24 – заслонка бункера дозатора; 25 – доньшико составного ячеистого дозатора; 26 – шнековое устройство распределения сапропеля по поверхности ленточного транспортера; 27 – амортизаторы; 28 – роторно-лопастной дозатор зерна; 29 – сливное отверстие; 30 – планка для контроля высоты слоя сапропеля на ленточном транспортере; 31 – насос для подачи воды в бункер для барботации зерна; 32 – электродвигатель для привода ножа; 33 – электродвигатель для привода шнекового распределителя сапропеля по ленте транспортера; 34 – загрузочная горловина

Figure 2 – Multi-purpose mixer-grinder for vitamin-feed additives:
 1 – dispenser hopper; 2 – mixer-chopper body; 3 – auger with turns of variable pitch; 4 – unloading neck; 5 – knife; 6 – anti-cutting grid; 7 – belt conveyor; 8 – electric motor for driving a composite cellular dispenser; 9 – tray for sprouted grain on sapropel; 10 – electric motor to drive the mixer-chopper shaft; 11 – coupling; 12 – worm gearbox; 13 – tray for prepared vitamin-min-feed additive; 14 – sleeve-pin coupling; 15 – drum composite cellular dispenser; 16 – belt drive; 17 – blades with tilt mechanism; 18 – guide ribs; 19 – unloading valve; 20 – electric motor of the conveyor belt; 21 – vibrator; 22 – oxygen pump for bubbling seeds; 23 – water tank; 24 – dispenser hopper damper; 25 – bottom of the composite cellular dispenser; 26 – screw device for distributing sapropel over the surface of the belt conveyor; 27 – shock absorbers; 28 – rotary-blade grain dispenser; 29 – drain hole; 30 – bar for controlling the height of the sapropel layer on the conveyor belt; 31 – pump for supplying water to the grain sparging bunker; 32 – electric motor for driving the knife; 33 – electric motor for driving a screw distributor of sapropel along the conveyor belt; 34 – loading neck

Для разрушения «дерна» следует использовать лопатки смешивания, изменив при этом, на втором этапе технологического процесса положение лопатки (предусмотрена возможность поворота на петле, установленной на валу шнека). Лопатка ставится так, чтобы обеспечивалась рубка пласта сапропеля и корневой системы, связывающей его с зеленой растительной массой.





Рисунок 3 – Пласт витаминно-кормовой добавки

Figure 3 – Vitamin-feed additive layer



Рисунок 4 – Петлевая установка лопаток смешивания

Figure 4 – Loop installation of mixing blades

Итогом предварительных экспериментальных исследований стал выбор в пользу использования лопатки-полуклина, когда разрушение пласта витаминно-кормовой добавки происходит методом рубки одной стороной лопатки, а смешивание компонентов – второй тыльной стороной.

Учитывая, что витаминно-кормовая добавка – это многокомпонентный продукт (сапропель, растительная масса и корневая система), рассмотрим ее поведение при взаимодействии с лопатками. Описать процесс возможно с помощью дифференцированных уравнений, применяемых к описанию резания ножом неразрывной сплошной среды, и в качестве физико-математической модели добавки следует взять тело Бингама (упруго-вязко-пластичное), представленное на рисунке 8.

Смешивание компонентов при этом происходит обратной стороной лопатки. Петлевая установка лопаток представлена на рисунке 4.

Работу лопаток при смешивании сапропелезерновой массы авторы рассматривали при проращивании [5], т.е. при первом цикле технического процесса производства витаминно-кормовой добавки. Следует обосновать режим и условия работы лопаток при разрушении сапропелерастительного пласта и корневой системы, а также оптимизировать конструкцию лопаток для повышения эффективности переработки продукта.

Рассматривали два варианта изготовления лопаток: плоскую и полуклиновую (на одной стороне лезвие выполнено в виде резца, другая сторона плоская). Оба вида лопаток изображены на рисунке 5.

Фактически в смесителе-измельчителе лопатки выполняют функцию предварительного измельчения, наподобие ножа пастоизготовителя ИС-2м [6], который установлен перед режущим аппаратом. Работа лопаток в разрушении пласта витаминно-кормовой добавки позволяет затем порционно подавать сапропелерастительный материал шнеком к режущей паре (нож-решетка) многоцелевого смесителя-измельчителя и после окончательного измельчения, продукт выходит через отверстия противорезающей решетки, которые и определяют гранулометрический состав корма перед поеданием животными.

Обоснуем теоретически и экспериментально операцию разрушения витаминно-кормовой добавки лопатками.

Предварительные эксперименты, проведенные на специально изготовленном для этих целей стенде (рисунок 6), показали, что усилие резания рубкой плоской лопаткой выше, чем лопаткой в форме полуклина (рисунок 7). Измерение проводили с помощью цифрового динамометра МЕГЕОН 031000. Объясняется это тем, что плоская лопатка зажимается слоями пласта витаминно-кормовой добавки, лопатка же в форме полуклина раздвигает слой своей кромкой, создается распор из-за угла наклона лезвия, и эффективность процесса резания рубкой повышается.





a



б

Рисунок 5 – Лопатки многоцелевого смесителя-измельчителя: а – плоская лопатка; б – лопатка в виде полуклина
Figure 5 – Blades of a multi-purpose mixer-grinder: a – flat blade; b – blade in the form of a half-wedge



Рисунок 6 – Определение усилия резания плоской лопаткой

Figure 6 – Determination of cutting force with a flat blade



Рисунок 7 – Определение усилия резания лопаткой в форме полуклина

Figure 7 – Determination of cutting force with a half-wedge blade

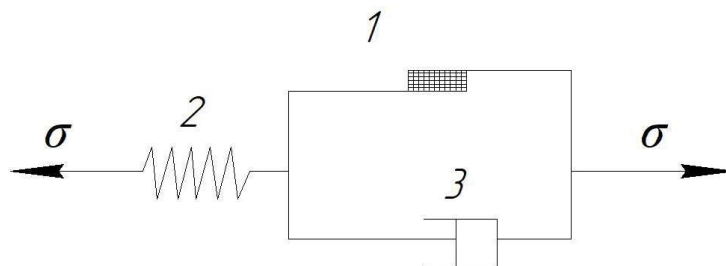


Рисунок 8 – Механическая модель упруго-вязко-пластичного тела (витаминно-кормовая добавка) (пояснения в тексте)

Figure 8 – Mechanical model of an elastic-visco-plastic body (vitamin-feed additive) (explanations in the text)



Витаминно-кормовая добавка при взаимодействии с ножом-лопаткой сначала уплотняется (упругие деформации Гука), при этом сжимаются зеленая масса и корневые включения, далее за счет уменьшения пор (выход воды и воздуха) уплотняется сапрпель. На втором этапе параллельно происходят процессы, характеризующиеся вязкостью компонентов добавки (сопротивление деформации наполнителя растительных побегов и корней самого сапрпеля) и проявление пластичных свойств сапрпеля (текучести под действием нагрузки), после чего происходит разрушение компонентов добавки: элемент трения 1 вызывает деформацию при напряжении, превышающем предел текучести σ_c . Элемент модели 2 описывает упругие свойства и зависит от коэффициента упругости E ; элемент 3 характеризуется коэффициентом K , который определяет вязкие свойства компонентов витаминно-кормовой добавки.

Результаты исследований. Влажность добавки определяли влагомером ЭВЛАС-2М по ГОСТ 13496.3 [3], она составила 62,65 %. По известной методике [2, 7] находили угол внешнего трения сапрпеле-растительного материала о лопатку-нож (поверхность – металл окрашенный), $\varphi_{втр} = 85^\circ$. По ГОСТ 12248-2010 определяли угол внутреннего трения, он составил $\varphi_{отр} = 16^\circ$, при этом удельное сцепление витаминно-кормовой добавки $C_{тр} = 0,02$ МПа. Пенетрометром грунтовым ПГ-1 находили модуль упругости $E_y = 42$ МПа.

Реологические характеристики витаминно-кормовой добавки (рисунок 9, 10) определяли в ООО НПП «Геотек» (г. Санкт-Петербург) по ГОСТ 12248-2010 (п. 5.1.4; п. 5.1.5; п. 5.4.1): $\sigma_c = 0,024$ МПа; $K = 0,01 \cdot 10^6$ Н·с/м³.

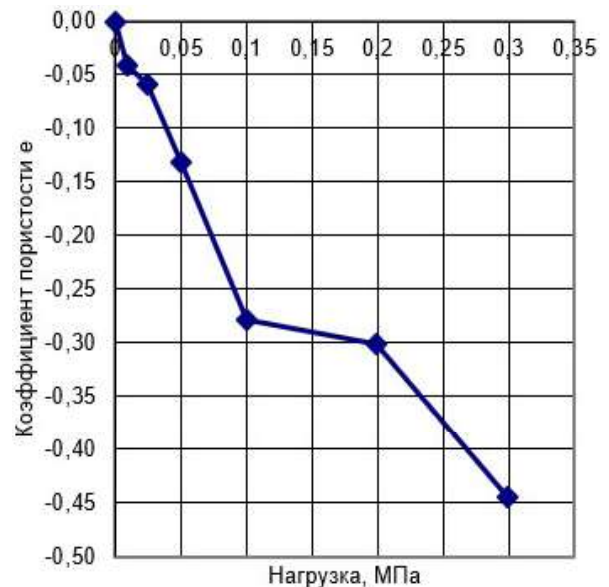
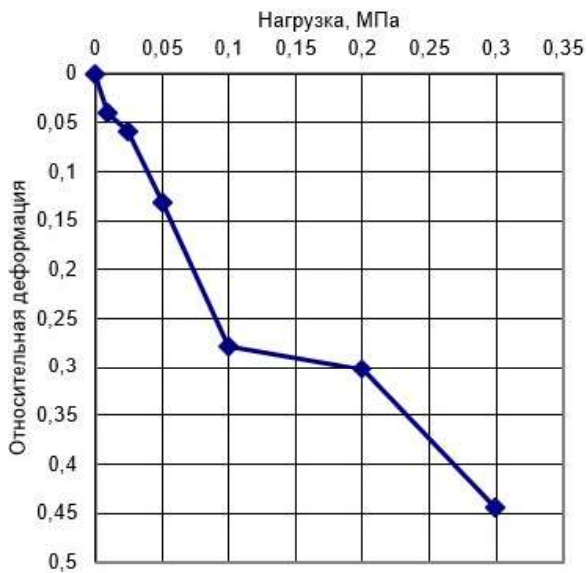


Рисунок 9 – Испытание витаминно-кормовой добавки на основе сапрпеля методом компрессионного сжатия

Figure 9 – Testing a vitamin-feed additive based on sapropel using the compression method

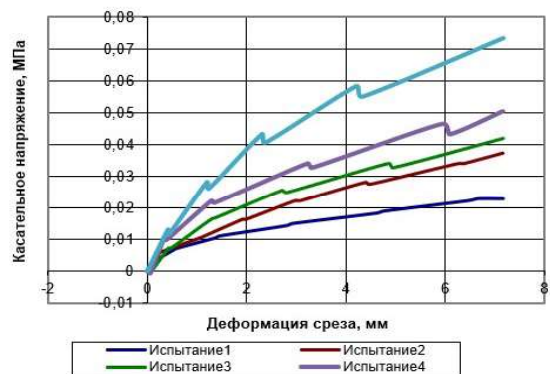
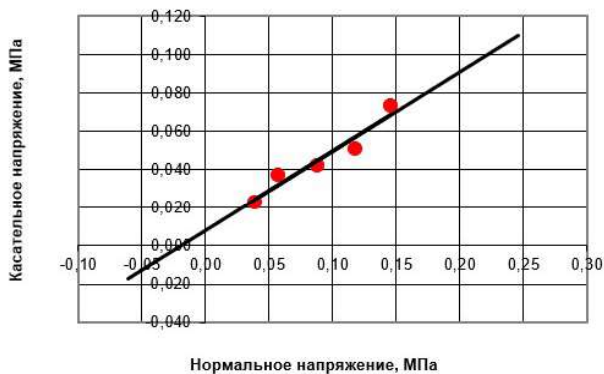


Рисунок 10 – Испытание витаминно-кормовой добавки на основе сапрпеля методом одноплоскостного среза

Figure 10 – Testing a vitamin-feed additive based on sapropel using the single-plane cut method



Давление на лопатку-нож при резании рубкой витаминно-кормовой добавки (сапропеле-растительного материала) составила $P_{рез} = 1,48$ МПа; при угловой скорости резания $\omega = 13,09$ с⁻¹; линейной скорости $v_{рез} = 1,31$ м/с; частоте вращения вала с лопаткой-ножом $n = 125$ мин⁻¹.

Анализируя полученные в итоге теоретических и экспериментальных изысканий результаты привели к выводу: рациональный угол заточки лопатки-ножа $\beta = 20^\circ$.

Заключение. Проведены теоретические и экспериментальные исследования работы лопатки-ножа многоцелевого смесителя-измельчителя витаминно-кормовой добавки и определены основные кинематическо-конструктивные параметры рабочего органа.

Полученные данные могут быть использованы при проектировании рабочих органов технических систем при производстве витаминно-кормовой добавки для сельскохозяйственных животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакшеев В. Н. Добыча и использование грунтов (сапропелей). Тюмень, 1998. 51 с.
2. Бойцов Ю. А. Исследование внутреннего и внешнего трения сыпучих грузов: методические указания к лабораторной работе. СПб., 2003. 10 с.
3. ГОСТ 13496.3-92 Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения влаги. М.: Стандартинформ. 2011. 4 с.
4. Игнатенков В. Г., Иванов Е. А., Фомичев М. А. Описание работы многоцелевого шнекового смесителя-измельчителя при приготовлении витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2(35). С. 57–63.
5. Игнатенков В. Г. Повышение эффективности производства витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля путем обоснования конструктивных и технологических параметров смесителя-измельчителя: дис. ... канд. техн. наук. Великие Луки, 2005. 180 с.
6. Керимов М. А., Ветушко В. И. Машины и оборудование в животноводстве: учеб. пособие. СПб., 2023. 328 с.
7. Кокунова И. В., Ружьев В. А. Определение коэффициентов трения скольжения и покоя сыпучих органических удобрений // Аграрный научный журнал. 2023. № 4. С. 126–129.
8. Морозов В. В. Технология и комплекс машин для послойной разработки сапропеля на удобрения (для условий Северо-Западной зоны РФ): дис. ... д-ра техн. наук. Великие Луки, 1995. 347 с.
9. Патент №2685201 С1 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. многофункциональный смеситель-измельчитель: № 2017137849: заявл. 30.10.2017: опубл. 16.04.2019 / В. В. Морозов, В. Г. Игнатенков, Г. И. Игнатенков [и др.]; заявитель Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Образования «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия».
10. Штин С. М. Озерные сапропели и их комплексное освоение / под ред. И. М. Ялтанца. М., 2005. 371 с.

REFERENCES

1. Baksheev V.N. Extraction and use of soils (sapropels). Tyumen, 1998. 51 p.
2. Boytsov Yu. A. Study of internal and external friction of bulk cargo: guidelines for laboratory work. St. Petersburg, 2003. 10 p.
3. GOST 13496.3-92 Compound feed, compound feed raw materials. Methods for determining moisture. Moscow: Standardinform. 2011. 4 p.
4. Ignatenkov V. G., Ivanov E. A., Fomichev M. A. Description of the operation of a multi-purpose auger mixer-grinder in the preparation of a vitamin-mine-feed additive based on sapropel. *Proceedings of the Velikoluksk State Agricultural Academy*. 2021;2(35):57–63.
5. Ignatenkov V. G. Increasing the efficiency of production of vitamin-feed additives based on sapropel by substantiating the design and technological parameters of the mixer-grinder: Ph.D. diss. Velikie Luki, 2005. 180 p.
6. Kerimov M. A., Vetushko V. I. Machinery and equipment in livestock farming. St. Petersburg, 2023. 328 p.
7. Kokunova I. V., Ruzhev V. A. Determination of the sliding and resting friction coefficients of bulk organic fertilizers. *Agrarian Scientific Journal*. 2023;(4):126–129.
8. Morozov V.V. Technology and complex of machines for layer-by-layer development of sapropel for fertilizers (for the conditions of the North-West zone of the Russian Federation): Ph.D. diss. Velikie Luki, 1995. 347 p.
9. Patent No. 2685201 C1 Russian Federation, IPC A23N 17/00. Multifunctional mixer-grinder: No. 2017137849: appl. 10/30/2017: publ. 04/16/2019 / V. V. Morozov, V. G. Ignatenkov, G. I. Ignatenkov [etc.]; applicant Velikoluksk State Agricultural Academy.
10. Shtin S. M. Lake sapropels and their complex development. Moscow, 2005. 371 p.

Статья поступила в редакцию 24.11.2023; одобрена после рецензирования 28.12.2023; принята к публикации 14.01.2024.
The article was submitted 24.11.2023; approved after reviewing 28.12.2023; accepted for publication 14.01.2024.

