



УДК 664.727

А.А. Белов, Ю.А. Собченко  
A.A. Belov, Yu.A. Sobchenko

## ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНОВЫХ КОРМОВ

### SUBSTANTIATION OF IMPORTANCE OF GRAIN FEED MICRONIZATION IMPROVEMENT

**Ключевые слова:** волновод, генератор, магнетрон, переваримость, питательность зерна, сверхвысокочастотная установка, сложение мощностей, сельскохозяйственные животные, термообработка, энергоёмкость.

Установлено, что применение механических методов недостаточно эффективно расщепляет структуру, действуя в основном на внешнюю оболочку, не проникая в структурированные компоненты самого зерна. В отличие от механической обработки инфракрасная обработка зернового сырья позволяет увеличивать, кроме переваримости, питательность зерновых кормов за счет термообработки верхних слоев сыпучего сырья, а внутри зерна остаются в первоначальном виде без обработки. Технологии комбинированного инфракрасного и механического воздействий приводят к удорожанию процесса. Определено, что эксплуатационные энергетические затраты инфракрасных излучателей высокие и составляют не менее 0,33 кВт·ч/кг. Применение сверхвысокочастотной энергии для микронизации зерновой массы оправдано как технологически, так и экономически. Термообработка выполняется по всему объему материала, улучшаются его органолептические характеристики, обеззараживание и уничтожение амбарных вредителей, обеспечиваются все необходимые условия для поедания сельскохозяйственными животными зерновых кормов, обработанных в сверхвысокочастотном электромагнитном поле. Установлено, что более предпочтительно использование сверхвысокочастотной энергии для микронизации зерна, энергоёмкость при этом методе микронизации составит 0,14 кВт·ч/кг. Отмечено, что мощности 1 кВт серийных источников сверхвысокочастотной энергии недостаточно для производства зерновых кормов в условиях крестьянских (фермерских) хозяйств и сельскохозяйственных организаций. Применение сверхвысокочастотных генераторов мощностью более 1 кВт значительно повышает стоимость конструкции сверхвысокочастотной установки. Технологии и установки циклического

действия при использовании нескольких маломощных СВЧ генераторов увеличивают продолжительность микронизации. Предложено совершенствовать сверхвысокочастотный способ микронизации зерна реализацией его сверхвысокочастотной установкой, в конструкции которой предусмотрено сложение мощностей магнетронов в волноводе, что обеспечивает повышение производительности при снижении энергоёмкости, уменьшая таким образом балансовую стоимость конструкции установки и эксплуатационные затраты при ее работе, таким образом достигая рационального использования сырьевой базы для производства зерновых кормов при повышении их питательности и переваримости.

**Keywords:** waveguide, generator, magnetron, digestibility, grain nutritional value, microwave installation, power addition, farm animals, heat treatment, energy intensity.

It has been found that the use of mechanical methods does not effectively split the structure acting mainly on the outer shell without penetrating the structured components of the grain itself. In contrast to mechanical processing, infrared processing of grain raw materials allows increasing, in addition to digestibility, the nutritional value of grain feeds due to heat treatment of the upper layers of bulk raw materials, and from the inside the grain remains in its original form without processing. The technologies of combined infrared and mechanical effects lead to a rise in the cost of the process. It was determined that the operating energy costs of infrared emitters are high and amount to at least 0.33 kWh kg. The use of microwave energy for micronization of grain mass is justified both technologically and economically. Heat treatment is carried out throughout the entire volume of the material, its organoleptic characteristics, disinfection and destruction of barn pests are improved, and all the necessary conditions are provided for farm animals to eat grain feed processed in a microwave electromagnetic field. It has been found that the use of microwave energy for micronization of grain is more preferable, the energy consumption with this

micronization method will be 0.14 kWh kg. It is emphasized that a capacity of 1 kW of serial sources of microwave energy is not enough for the production of grain feed on a peasant farm businesses and in agricultural organizations. The use of microwave generators with a power of more than 1 kW significantly increases the design cost of a microwave installation. The technologies and installations of cyclic action using several low-power microwave generators increase the duration of micronization. It is proposed to improve the mi-

crowave frequency method of micronizing grain by implementing its microwave installation, the design of which provides for the addition of magnetron powers in the waveguide which provides increased productivity while reducing energy consumption, thereby reducing the cost of the plant design and operating costs during its operation, thus achieving rational use of the raw material base for the production of grain feed while increasing their nutritional value and digestibility.

**Белов Александр Анатольевич**, д.т.н., вед. н.с. лаб. электрофизического воздействия на с.-х. объекты и материалы, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва. Тел.: (499) 171-15-11. E-mail: belalexan85@gmail.com.

**Собченко Юрий Александрович**, аспирант, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва. E-mail: yuri217@rambler.ru.

**Belov Aleksandr Anatolyevich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Leading Staff Scientist, Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow. Ph.: (499) 171-15-11. E-mail: belalexan85@gmail.com.

**Sobchenko Yuriy Aleksandrovich**, post-graduate student, Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow. E-mail: yuri217@rambler.ru.

### Введение

Термин «микронизация» известен как способ измельчения частиц какого-либо материала до малых (микро) размеров. Микронизация применяется в фармакологической, пищевой промышленности и в сельском хозяйстве, подразумевая под собой результат таких методов обработки, как помол, дробление, фрезерование, плющение и другие. Применительно к сельскому хозяйству, микронизацию применяют для подготовки зерновой кормовой базы в такой отрасли, как животноводство.

В настоящее время применяют различные способы микронизации зерновых кормов: кроме уже упомянутого механического воздействия, это тепловая обработка, воздействие инфракрасным (ИК) излучением и сверхвысокочастотным электромагнитным полем на зерновое сырье. Таким образом, зерно, подвергнутое микронизации, обладает свойствами усваиваться лучше и растворяться быстрее, чем необработанное цельное зерно, всасываясь в желудочно-кишечном тракте сельскохозяйственного животного. В этой связи следует отметить тот факт, что микронизация повышает питательность зерновых кормов.

**Целью** работы является обоснование актуальности совершенствования микронизации кормов. В связи с поставленной целью решаются следующие **задачи**: определить отличительные особенности способов и технологий производства зерновых кормов для скота и птицы; выявить технологические и технические возможности совершенствования микронизации зерна; разработать основные конструктивные требования к предлагаемой СВЧ-установке.

### Объекты и методы

Объектами исследования являются процесс микронизации зерна и СВЧ-микронизационные установки. Методы исследования базируются на основе обзора существующих технологий и технических средств с последующим анализом.

### Экспериментальная часть

Аналитический обзор способов микронизации зерновых кормов показал наличие трех основных применяемых на практике. Традиционное механическое измельчение зернового сырья является самым широко известным и древним способом. Измельчается зерно за счет дробления, шелушения, плющевания, фрезерования и других методов. Использование дробилок носит характер разрушения зерна за счет ударного действия, повреждая на различных ступенях упругие и пластические свойства сырьевого зернового материала. Для повышения эффекта технологическую операцию механического воздействия на зерновую массу с целью микронизации можно совмещать с обработкой пара в один процесс. Применение механических методов недостаточно эффективно расщепляет структуру, действуя в основном на внешнюю оболочку, не проникая в структурированные компоненты самого зерна [1]. Увлажнение и измельчение проводятся для активизации ферментных процессов в зерне для повышения процента переваримых зерен сельскохозяйственными животными. Существует способ, включающий наряду с измельчением материала смешивание зерновых компонентов с премиксами. Результатом является повышение качества

обработанного таким образом готового продукта. В итоге на выходе получается практически полное исключение сегрегации смеси.

Аналогом технологии традиционного измельчения при производстве зерновых кормов выступает микронизация инфракрасным излучением, которая применяется с 60-х годов и зарекомендовала себя с хорошей стороны, показала свою эффективность в получении результата. При всем этом имеются технологии кормопроизводства не только классически признанных злаковых культур, но и зернобобовых, например, соевые бобы. В отличие от механической обработки инфракрасная обработка зернового сырья позволяет увеличивать, кроме переваримости, питательность зерновых кормов за счет термообработки. Однако воздействие температуры осуществляется с внешней стороны зернового материала [2]. При этом происходит нагрев верхних слоев, а изнутри зерна остаются в первоначальном виде без обработки. Имеются технологии комбинированного ИК и механического воздействий, совмещения электрофизического воздействия и конвективной термообработки, что приводит к удорожанию процесса [3].

Применение сверхвысокочастотной энергии для микронизации зерновой массы оправдано как технологически, так и экономически [4]. Термообработка выполняется по всему объему материала, улучшаются его органолептические характеристики, обеззараживание и уничтожение амбарных вредителей [5], обеспечиваются все необходимые условия для поедания сельскохозяйственными животными зерновых кормов, обработанных в СВЧ-электромагнитном поле [6]. Известны научные работы по способу СВЧ-микронизации, совмещенной с механическим воздействием на зерновое сырье семейства злаковых, так и семейства бобовых [7]. Авторами обосновывается возможность микронизации за счет электромеханического воздействия на зерно [8]. Разрабатываются установки, различные в техническом отношении, для снижения энергоемкости и повышения качества процесса [9].

В серии установок, именованных «Поток», выделяем модификационную модель для микронизации зерна (рис.). Микроволновая мощность установки принимается равной 14 кВт, а производительность – 100 кг/ч. Тогда энергоемкость процесса микроволновой обработки зерна будет составлять 0,14 кВт·ч/кг.



Рис. Установка «Поток»

Аналитический обзор технических средств для микронизации показал, что установка «Поток» является единственной в своем роде сверхвысокочастотного действия из серийно производимых в настоящее время. В этом заключаются ее уникальность и причина, по которой мы берем ее в качестве аналога нашей разрабатываемой сверхвысокочастотной установки.

### Результаты и их обсуждение

В результате аналитического обзора технических средств микронизации зерновых кормов выявлено достаточное множество серийно производимых измельчителей зерновых культур и инфракрасных микронизаторов зернового сырья в целях производства кормов. В большинстве случаев применяемые на практике для измельчения зерна дробилки относительно недорогие, но их применение не решает задачу повышения питательности кормов. Инфракрасное излучение улучшает переваримость и питательные свойства зерновых кормов [10]. Однако эксплуатационные энергетические затраты ИК излучателей высокие и составляют не менее 0,33 кВт·ч/кг. Более предпочтительно с этой точки зрения использование сверхвысокочастотной энергии для микронизации зерна, энергоемкость при этом методе составит 0,14 кВт·ч/кг [11]. Балансовая стоимость СВЧ-установок также невелика, если источником сверхвысокочастотной энергии является генератор серийного производства 1 кВт и частотой 2450 МГц [12]. Но мощности 1 кВт недостаточно для производства зерновых кормов в условиях крестьянских (фермерских) хозяйств и сельскохозяйственных организаций [13]. Применение СВЧ-генераторов мощностью более 1 кВт значительно повышает стоимость конструкции сверхвысокочастотной установки [14]. Технологии и установки циклического действия при использовании нескольких маломощных СВЧ-генераторов увеличивают продолжительность микронизации.

**Выводы**

Совершенствовать сверхвысокочастотный способ микронизации зерна предлагается реализацией его СВЧ-установкой, в конструкции которой предусмотрено сложение мощностей магнетронов в волноводе, что обеспечивает повышение производительности при снижении энергоемкости, уменьшая таким образом балансовую стоимость конструкции СВЧ-установки и эксплуатационные затраты при ее работе, достигая рационального использования сырьевой базы для производства зерновых кормов при повышении их питательности и переваримости.

**Библиографический список**

1. Vasilev A.N., Budnikov D.A., Gracheva N.N., Smirnov A.A. (2018). Increasing efficiency of grain drying with the use of electroactivated air and heater control. In: *Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development* (pp. 255-282). Hershey, PA: IGI Global.
2. Жданкин, Г. В. Операционно-технологическая схема переработки мягких непищевых отходов животного происхождения / Г. В. Жданкин, В. Ф. Сторчевой, О. В. Михайлова. – Текст: непосредственный // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 4 (29). – С. 229-236.
3. Васильев, А. Н. Компьютерная модель тепло-влагообмена в зерновом слое при СВЧ-конвективном воздействии / А. Н. Васильев, Д. А. Будников, А. А. Васильев. – Текст: непосредственный // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 3 (46). – С. 47.
4. Васильев А.Н. Моделирование процесса нагрева зерна в СВЧ-поле универсального электротехнического модуля при различных алгоритмах работы электрооборудования / А. Н. Васильев, Д. А. Будников, А. А. Васильев. – Текст: непосредственный // Вестник аграрной науки Дона. – 2016. – Т. 1, № 33. – С. 12-17.
5. Васильев, А. Н. Исследование нагрева зерна при СВЧ-рециркуляции / А. Н. Васильев, Д. А. Будников, Н. Б. Руденко, А. А. Васильев. – Текст: непосредственный // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 11. – С. 26.
6. Патент на изобретение RUS 2459166. Установка для сушки и обработки зерна и кормов: 02.08.2010 / Смирнов Б. Г., Васильев А. Н., Васильев А. А. – Текст: непосредственный.
7. Белов, А. А. Разработка радиоволновых установок для термообработки сырья / А. А. Белов, Г. В. Жданкин, В. Ф. Сторчевой. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 10 (65). – С. 7-14.
8. Селиванов, И. М. Резонаторы, обеспечивающие термообработку сырья в поточном режиме / И. М. Селиванов, Г. В. Новикова, М. В. Белова [и др.]. – Текст: непосредственный // Естественные и технические науки. – 2015. – № 6 (84). – С. 499-501.
9. Самоделкин, А. Г. Энтолейтор с источником энергии сверхвысокой частоты / А. Г. Самоделкин, В. Ф. Сторчевой, А. А. Белов, Е. Л. Белов. – Текст: непосредственный // Естественные и технические науки. – 2015. – № 6 (84). – С. 497-498.
10. Васильев, А. Н. Эффективность применения поля СВЧ для интенсификации сушки зерна активным вентилированием / А. Н. Васильев, Д. А. Будников, Б. Г. Смирнов. – Текст: непосредственный // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 7. – С. 29-30.
11. Белова, М. В. Определение продолжительности переработки сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / М. В. Белова, Г. В. Новикова, Д. В. Поручиков [и др.]. – Текст: непосредственный // Естественные и технические науки. – 2015. – № 6 (84). – С. 510-512.
12. Патент на изобретение RUS 2581224. Центробежная установка для термообработки жиросодержащего сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты: 15.12.2014 / Михайлова О. В., Белова М. В., Белов А. А., Новикова Г. В., Ершова И. Г. – Текст: непосредственный.
13. Жданкин, Г. В. Разработка и обоснование параметров многоярусной сверхвысокочастотной установки для термообработки влажного сырья в непрерывном режиме / Г. В. Жданкин, В. Ф. Сторчевой, Б. Г. Зиганшин, Г. В. Новикова. – Текст: непосредственный // Научная жизнь. – 2017. – № 4. – С. 4-13.
14. Новикова, Г. В. Разработка сверхвысокочастотной установки для термообработки непищевых отходов убоя и переработки птицы / Г. В. Новикова, Г. В. Жданкин, В. Ф. Сторчевой. – Текст: непосредственный // Научная жизнь. – 2016. – № 11. – С. 10.

## References

1. Vasilev A.N., Budnikov D.A., Gracheva N.N., Smirnov A.A. (2018). Increasing efficiency of grain drying with the use of electroactivated air and heater control. In: *Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development* (pp. 255-282). Hershey, PA: IGI Global.
2. Zhdankin G.V., Storchevoy V.F., Mikhaylova O.V. Operatsionno-tekhnologicheskaya skhema pererabotki myagkikh nepishchevykh otkhodov zhivotnogo proiskhozhdeniya // *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. – 2018. – No. 4 (29). – S. 229-236.
3. Vasilev A.N., Budnikov D.A., Vasilev A.A. Kompyuternaya model teplo-vlagoobmena v zernovom sloe pri SVCh-konvektivnom vozdeystvii // *Inzhenernyy vestnik Dona*. – 2017. – No. 3 (46). – S. 47.
4. Vasilev A.N., Budnikov D.A., Vasilev A.A. Modelirovanie protsessa nagreva zerna v SVCh-pole universalnogo elektrotekhnicheskogo modulya pri razlichnykh algoritmakh raboty elektrooborudovaniya // *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. – 2016. – T. 1. No. 33. – S. 12-17.
5. Vasilev A.N., Budnikov D.A., Rudenko N.B., Vasilev A.A. Issledovanie nagreva zerna pri SVCh-retsirkulyatsii // *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. – 2011. – No. 11. – S. 26.
6. Smirnov B.G., Vasilev A.N., Vasilev A.A. Ustanovka dlya sushki i obrabotki zerna i kormov // Patent na izobretenie RUS 2459166. – 02.08.2010.
7. Belov A.A., Zhdankin G.V., Storchevoy V.F. Razrabotka radiovolnovykh ustanovok dlya termoobrabotki syrya // *Vestnik NGIEI*. – 2016. – No. 10 (65). – S. 7-14.
8. Selivanov I.M., Novikova G.V., Belova M.V., Belov A.A., Umbetov U.U. Rezonatory, obespe-
- chivayushchie termoobrabotku syrya v potochnom rezhime // *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. – 2015. – No. 6 (84). – S. 499-501.
9. Samodelkin A.G., Storchevoy V.F., Belov A.A., Belov E.L. Entolektor s istochnikom energii sverkhvysokoy chastoty // *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. – 2015. – No. 6 (84). – S. 497-498.
10. Vasilev A.N., Budnikov D.A., Smirnov B.G. Effektivnost primeneniya polya SVCh dlya intensivatsii sushki zerna aktivnym ventilirovaniem // *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. – 2008. – No. 7. – S. 29-30.
11. Belova M.V., Novikova G.V., Poruchikov D.V., Svetopolskiy E.A., Ershova I.G., Sorokina M.G. Opredelenie prodolzhitel'nosti pererabotki syrya v elektromagnitnom pole sverkhvysokoy chastoty // *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. – 2015. – No. 6 (84). – S. 510-512.
12. Mikhaylova O.V., Belova M.V., Belov A.A., Novikova G.V., Ershova I.G. Tsentrobezhnaya ustanovka dlya termoobrabotki zhirosoderzhashchego syrya v elektromagnitnom pole sverkhvysokoy chastoty // Patent na izobretenie RUS 2581224. – 15.12.2014.
13. Zhdankin G.V., Storchevoy V.F., Ziganshin B.G., Novikova G.V. Razrabotka i obosnovanie parametrov mnogoyarusnoy sverkhvysokochastotnoy ustanovki dlya termoobrabotki vlazhnogo syrya v nepreryvnom rezhime // *Nauchnaya zhizn*. – 2017. – No. 4. – S. 4-13.
14. Novikova G.V., Zhdankin G.V., Storchevoy V.F. Razrabotka sverkhvysokochastotnoy ustanovki dlya termoobrabotki nepishchevykh otkhodov uboia i pererabotki ptitsy // *Nauchnaya zhizn*. – 2016. – No. 11. – S. 10.

