

УДК 621.3: 636.5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ИЛИ ЭКОНОМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНАЯ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СУШКА СЫПУЧИХ КОРМОВ

*А.В. Дубровин, доктор технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия
e-mail: dubrovin1953@mail.ru*

Аннотация. Разработано установку для сверхвысокочастотной сушки сыпучих кормов. Производство осуществляется в автоматизированном режиме по технологическому или экономическому критерию.

Ключевые слова: сверхвысокочастотная сушка, сыпучий корм, информационные технологии, автоматизация технологических процессов, эффективность производства, технико-экономический параметр

Экономический критерий (признак) управления является общепризнанным. По своему существу он является всеобъемлющим показателем эффективности (результативности) производства продукции. При этом его правильное применение требует достаточно точного учёта хотя бы основных общеизвестных его составляющих, наиболее сильно влияющих на результативность (эффективность) конкретного технологического процесса. Однако в практике управления, например, процессом СВЧ сушки он до сих пор необоснованно не применяется.

Известны способ и устройство экономичной транспортировки птичьих яиц магистральным транспортером птицефабрики, где устанавливается такое значение скорости движения ленты транспортера, при котором обеспечивается наименьшая на данный момент времени сумма затрат от расчетной потери стоимости поврежденных при транспортировке яиц и на электроэнергию для электропривода транспортера [1]. Известно техническое решение энергосберегающего обеззараживания кормов и продуктов животноводства и птицеводства. Имеется информация о требуемых дозах облучения и о массах обеззараживаемых продуктов. В зависимости от массы продукта корректируют режим его облучения при поступлении в зону облучения [2]. Также известно техническое решение экономически оптимального и энергетически рационального режима обеззараживания кормов и других продуктов пучками быстрых электронов. Автоматически определяется экономический минимум суммы стоимостей потерь обеззараживаемой продукции и эксплуатационных энергетических затрат на облучение и на транспортировку кормов и других продуктов сельского хозяйства.

По величине аргумента облучённости искусственно формируют функциональные зависимости экономических затрат $Z_{\text{прод1}}$ от потерь продуктов из-за их заражённости в отсутствие облученности или при её малых уровнях. Также формируют зависимости экономических затрат $Z_{\text{ост1}}$ от потерь кормов и других продуктов из-за чрезмерно сильного облучения их пучками быстрых электронов, которые взаимодействуют с клеточной структурой биомассы кормов и других продуктов. Первая из этих зависимостей $Z_{\text{прод1}}$ нелинейно убывает с ростом облучённости $P_{\text{обл}}$, начинаясь с определённого (заранее известного по результатам измерений санитарно-гигиенических свойств материалов, поступающих на радиационную стерилизационную обработку) уровня зараженности биоматериала. Вторая зависимость $Z_{\text{ост1}}$ нелинейно возрастает, начинаясь с минимального значения порога облучённости, достаточного для появления первых необратимых изменений в биологических продуктах растительного и животного происхождения. Допустимый уровень затрат на потери продукции из-за таких изменений её качества определяется в конкретных опытных работах. Также формируют аналогичные зависимости экономических затрат на электроэнергию для транспортировки продуктов $Z_{\text{тран1}}$ и для их облучения $Z_{\text{облуч1}}$ от величины облучённости. Третья зависимость $Z_{\text{тран1}}$ есть постоянная величина при постоянной скорости движения рабочего органа транспортёра и при неизменной массе продуктов, изменяющаяся по значению пропорционально скорости движения рабочего органа транспортёра и массе продуктов. Четвёртая зависимость $Z_{\text{облуч1}}$ линейно возрастает с ростом облучённости $P_{\text{обл}}$. Полученные четыре функции затрат складывают в диапазоне изменения искусственно сформированного сигнала облучённости и определяют минимальное значение этой целевой функции (критерия оптимизации по минимуму суммы указанных затрат) $Z_{\Sigma1} = Z_{\text{прод1}} + Z_{\text{ост1}} + Z_{\text{облуч1}} + Z_{\text{тран1}}$. Производится точное и экономически оптимальное, и при этом энергосберегающее, обеззараживание каждого продукта с его массой [3].

Цель исследований – разработка установки для сверхвысокочастотной сушки сыпучих кормов с автоматизацией управления технологическими процессами по хозяйственному признаку (по экономическому критерию).

Материалы и методика исследований. Новый научно-технический задел в инновационном направлении автоматизации отражен в [4]. Задачей является повышение точности при автоматизированном поиске и достижении технологически оптимального и энергетически рационального режима СВЧ сушки сыпучих кормов путём определения экономического минимума первой суммы стоимостей потерь продукции при кормлении поголовья высушиваемыми сыпучими кормами из-за их бактериологической и микробной заражённости и затрат из-за потери их качества в результате их чрезмерного облучения и перегрева. Другой задачей является повышение точности при автоматизированном поиске и достижении экономически оптимального и энергетически рационального режима СВЧ сушки сыпучих кормов путём определения экономического минимума второй суммы стоимостей потерь продукции животноводства и птицеводства при кормлении поголовья

высушиваемыми сыпучими кормами из-за их бактериологической и микробной заражённости и затрат из-за потери их качества в результате их чрезмерного облучения и перегрева, и эксплуатационных энергетических затрат на СВЧ сушку и на транспортировку кормов.

В результате для *режима непосредственного кормления* животных и птицы устанавливается такое *технологически* наилучшее значение мощности СВЧ сушки сыпучих кормов, при котором обеспечивается наименьшая на данный момент времени сумма затрат от расчётной потери стоимости потерь продукции животноводства и птицеводства при кормлении поголовья высушиваемыми сыпучими кормами из-за их бактериологической и микробной заражённости и затрат из-за потери их качества в результате их чрезмерного облучения и перегрева. В результате для *режима последующего хранения* сыпучих кормов устанавливается такое *экономически* наилучшее значение мощности СВЧ сушки сыпучих кормов, при котором обеспечивается наименьшая на данный момент времени сумма затрат от расчётной потери стоимости потерь продукции животноводства и птицеводства при кормлении поголовья высушиваемыми сыпучими кормами из-за их бактериологической и микробной заражённости и затрат из-за потери их качества в результате их чрезмерного облучения и перегрева и эксплуатационных энергетических затрат на СВЧ сушку и на транспортировку сыпучих кормов.

Результаты исследований. Современный уровень автоматического и автоматизированного управления процессами СВЧ сушки весьма высок. Известно, что СВЧ излучение поглощается биологическими материалами, вызывая их объёмный нагрев, в результате чего гибнут поселившиеся на этих материалах биологического происхождения, например, на сыпучих кормах, микробы и бактерии, плесень и грибки и т.п. микрофлора. Для того, чтобы наиболее результативно (эффективно) использовать технологически очень удобный подвод СВЧ энергии к сыпучим кормам для их сушки, следует выполнить новую совокупность действий.

Задают диапазон требуемых для данного вида высушиваемого сыпучего корма значений дозы облучения, значение которой было установлено заранее при испытаниях по сушке опытных партий сыпучих кормов. Доза облучения есть энергия излучения, которая поглощена единицей массы сыпучих кормов и вызывает, их нагрев, сушку и обеззараживание в соответствии с теплопроводными свойствам кормов, конструкции сушильной камеры, излучателей СВЧ энергии. Энергия, потребная для сушки материала, также обратно пропорциональна температуре материала и прямо пропорциональна его относительной влажности. Таких экспериментальных сведений имеется множество, однако отсутствует объединяющее их начало в виде нового способа управления наилучшей сушкой сыпучих кормов по принятым признакам оптимизации.

При подаче продуктов на установку для сушки надо не только знать требуемые для них дозы СВЧ облучения и их массы и затем в зависимости от

массы, температуры и относительной влажности сыпучих кормов корректировать режим облучения. В соответствии со способом следует сначала искусственно сформировать по величине аргумента дозы облучения функциональные зависимости затрат от потерь продуктивности животных и птицы из-за их зараженности микрофлорой в отсутствие облучения или при его малых уровнях. Также необходимо знать зависимости затрат от потерь продуктивности животных и птицы из-за чрезмерно сильного облучения, которое взаимодействует с клеточной структурой биомассы сыпучих кормов для животноводства и птицеводства. Первая из этих зависимостей нелинейно убывает с ростом облучённости, начинаясь с определенного заранее известного по результатам измерений санитарно-гигиенических свойств материалов, поступающих на СВЧ сушку, уровня зараженности биоматериала грибами и прочей микрофлорой. Вторая зависимость нелинейно возрастает, начинаясь с минимального значения порога облучённости, достаточного для появления первых необратимых изменений в биологических продуктах растительного происхождения. Допустимый уровень затрат на потери продукции животноводства и птицеводства из-за таких изменений свойств сыпучих кормов определяется в конкретных опытных работах.

Если кормление животных и птицы необходимо производить сразу после сушки сыпучих кормов, то важнейшим признаком эффективности кормления высушенными кормами являются сумма указанных потерь стоимостей продукции животноводства и птицеводства. Эта сумма двух указанных зависимостей есть первая целевая функция оптимизации, а её минимум соответствует технологически наилучшей дозе СВЧ облучения для достижения наилучшей продуктивности поголовья при всех прочих равных условиях.

Для учёта энергетики процесса сушки, что важно для последующего хранения высушенных влажных и при этом обсеменённых бактериями сыпучих кормов, следует также сформировать аналогичные зависимости затрат на электроэнергию для транспортировки сыпучих кормов и для их облучения от величины дозы облучения. Третья зависимость затрат на транспортировку сыпучих кормов есть постоянная величина при постоянной скорости движения рабочего органа транспортёров и при неизменном массовом расходе сыпучих кормов по времени. Она изменяется пропорционально скорости движения рабочих органов транспортёров и подаче сыпучих кормов. Четвёртая зависимость затрат на электроэнергию облучения линейно возрастает с ростом дозы облучения. Причём рост энергозатрат на облучение тем больше, чем меньше температура и чем больше относительная влажность подаваемых на сушку сыпучих кормов. При необходимости экономить энергию на сушку сыпучих кормов следует полученные четыре функции затрат сложить в диапазоне изменения искусственно сформированного сигнала дозы облучения и найти минимум этой второй суммы. Таким образом, производится точная и экономически оптимальная, и при этом энергосберегающая (с рациональным расходом энергии) сушка сыпучих кормов для их последующего хранения (рис. 1).

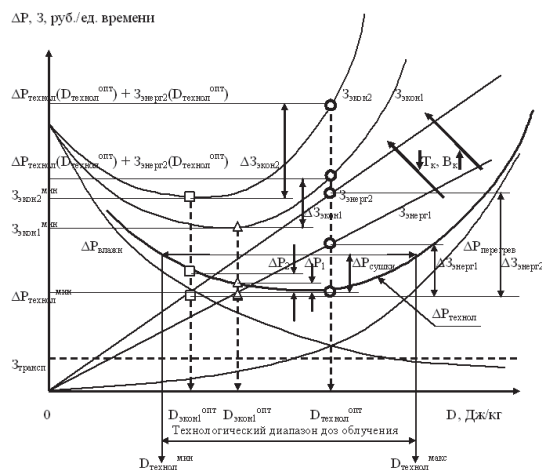


Рис. 1. Иллюстрация осуществления способа технологически или экономически оптимальной сверхвысокочастотной сушки сыпучих кормов для животноводства и птицеводства:

D – доза облучения высушиваемого материала, Дж/кг; ($D_{\text{технол макс}}$ – $D_{\text{технол мин}}$) – нормативно задаваемый технологический диапазон доз облучения соответствующего материала определённого вида, Дж/кг; ΔP – стоимость потерь продуктивности животных и птицы из-за повышенной влажности (микрофлора, грибок и т.п.) и из-за пересушки (потери витаминов и влаги, разрушение белковых молекул и т.п.), руб./ед. времени; Z – экономические (хозяйственные) затраты, руб./ед. времени; $\Delta P_{\text{влажн}}$ – стоимость потерь продуктивности только из-за повышенной влажности, руб./ед. времени; $\Delta P_{\text{перегрев}}$ – стоимость потерь продуктивности только из-за пересушки (из-за перегрева), руб./ед. времени; $\Delta P_{\text{технол}}$ – стоимость суммарных потерь продуктивности животных и птицы из-за некондиционных кормов, руб./ед. времени; $Z_{\text{энерг1}}$ – затраты на энергию теплового облучения высушиваемых кормов при высокой температуре и низкой влажности подаваемых на сушку кормов, руб./ед. времени; $Z_{\text{энерг2}}$ – затраты на энергию теплового облучения высушиваемых кормов при низкой температуре и высокой влажности подаваемых на сушку кормов, руб./ед. времени; $Z_{\text{эк1}}$ – суммарные затраты на сушку и от потерь продуктивности при высокой температуре и низкой влажности подаваемых на сушку кормов, руб./ед. времени; $Z_{\text{эк2}}$ – суммарные затраты на сушку и от потерь продуктивности при низкой температуре и высокой влажности подаваемых на сушку кормов, руб./ед. времени; $D_{\text{технолопт}}$ – технологически оптимальная доза облучения, при которой стоимость потерь продуктивности животных и птицы $\Delta P_{\text{технол мин}}$ в результате потребления высушенных кормов наименьшая, Дж/кг; $D_{\text{эк1 опт}}$ – экономически оптимальная доза облучения $Z_{\text{экон1 мин}}$, при которой сумма стоимости потерь продуктивности животных и птицы в результате потребления высушенных кормов при высокой температуре и низкой влажности подаваемых на сушку кормов и затрат энергии на облучение наименьшая, Дж/кг; $D_{\text{эк2 опт}}$ – экономически оптимальная доза облучения $Z_{\text{экон2 мин}}$, при которой сумма стоимости потерь продуктивности животных и птицы в результате потребления высушенных кормов при низкой температуре и высокой влажности подаваемых на сушку кормов и затрат энергии на облучение наименьшая, Дж/кг; $\Delta P1$ – дополнительные потери продуктивности из-за отклонения режима облучения $D_{\text{эк1 опт}}$ от технологически оптимального $D_{\text{технолопт}}$ в результате стремления сэкономить затраты на электроэнергию для сушки $\Delta Z_{\text{энерг1}}$, руб./ед.

времени; ΔP_2 – дополнительные потери продуктивности из-за отклонения режима облучения $D_{эк2опт}$ от технологически оптимального $D_{технолопт}$ в результате стремления сэкономить затраты на электроэнергию для сушки $\Delta Z_{энерг2}$, руб./ед. времени; $\Delta P_{технол}(D_{технолопт}) + Z_{энерг1}(D_{технолопт})$ – суммарные затраты от потерь продуктивности и на энергию облучения для сушки в технологически наилучшем режиме сушки $D_{технолопт}$ при высокой температуре и низкой влажности подаваемых на сушку кормов, руб./ед. времени; $\Delta P_{технол}(D_{технолопт}) + Z_{энерг2}(D_{технолопт})$ – суммарные затраты от потерь продуктивности и на энергию облучения для сушки в технологически наилучшем режиме сушки $D_{технолопт}$ при низкой температуре и высокой влажности подаваемых на сушку кормов, руб./ед. времени; $\Delta P_{сушки}$ – наибольший технологический выигрыш при переходе от нормативного управления сушкой в нормативном технологическом диапазоне доз облучения ($D_{технолмакс} - D_{технолмин}$) к инновационному точному технологическому управлению режимом сушки $D_{технолопт}$, руб./ед. времени; $\Delta Z_{экон1}$ – снижение суммарных потерь продуктивности и затрат на энергию сушки при экономически оптимальном управлении при высокой температуре и низкой влажности подаваемых на сушку кормов по сравнению с технологически наилучшим режимом, руб./ед. времени. Экономия энергии $\Delta Z_{энерг1}$ на величину снижения суммарных потерь продуктивности и затрат на энергию сушки $\Delta Z_{экон1}$ превосходит собственно стоимость дополнительных потерь продуктивности ΔP_1 ; $\Delta Z_{экон2}$ – снижение суммарных потерь продуктивности и затрат на энергию сушки при экономически оптимальном управлении при низкой температуре и высокой влажности подаваемых на сушку кормов по сравнению с технологически наилучшим режимом, руб./ед. времени. Экономия энергии $\Delta Z_{энерг2}$ на величину снижения суммарных потерь продуктивности и затрат на энергию сушки $\Delta Z_{экон2}$ превосходит собственно стоимость дополнительных потерь продуктивности ΔP_2 .

Устройство (рис. 2) работает следующим образом. Предназначенные для сушки сыпучие корма загружаются на измерительный транспортер, с которого поступают на шнековый транспортёр и на нём в камеру для СВЧ сушки. Винтовая поверхность металлического шнека в значительной степени предотвращает потери СВЧ излучения из камеры для СВЧ сушки. Блок 9 вычисляет две целевые функции суммарных затрат в зависимости от дозы облучения. Первая из них есть функция суммарных потерь стоимости продуктивности животных и птицы из-за микробов и бактерий в сыпучих кормах при малых дозах облучения и из-за перегрева и пережога сыпучих кормов при больших дозах облучения. Вторая функция отражает суммарных потери стоимости продуктивности животных и птицы и эксплуатационные энергетические затраты на сушку сыпучих кормов в виде их общей суммы. Блок 10 определяет наименьшее значение выбранной, с помощью органа выбора критерия оптимизации режима сушки 13, целевой функции суммарных затрат, то есть вырабатывает соответствующее этому минимуму оптимальное значение режима сушки по дозе облучения. При расчётах учитываются температура поступающих на сушку сыпучих кормов с помощью датчика 11 и относительная влажность поступающих на сушку сыпучих кормов с помощью датчика 12. Поэтому с изменением этих входных характеристик сыпучих

кормов функционально изменяются как зависимости стоимостей потерь продуктивности и эксплуатационных затрат на сушку, так и положения технологически и экономически наилучших режимов сушки по величине дозы облучения в виде сигнала требуемого значения дозы облучения на выходе блока 10. С целью сопоставления взаимного положения выходного сечения измерителя расхода 2 и оси симметрии СВЧ волновода в камере СВЧ сушки производится временная задержка в блоке управляемой временной задержки 15. Сигнал заданного расстояния от выходного поперечного сечения измерителя расхода поступающих на сушку сыпучих кормов до оси симметрии СВЧ волновода в камере сушки с соответствующего выхода блока задатчиков 3 делится в блоке 15 на сигнал скорости движения рабочего органа измерителя расхода 2 с выхода датчика скорости 1. Поэтому сигнал с выхода измерителя расхода 2 задерживается.

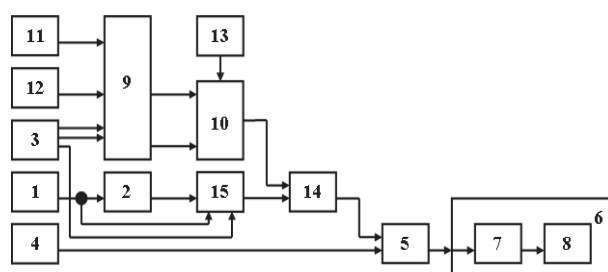


Рис. 2. Функциональная схема устройства технологически и экономически оптимальной сверхвысокочастотной сушки сыпучих кормов для животноводства и птицеводства: 1 – датчик скорости движения поступающих на сушку сыпучих кормов в рабочих органах транспортёров; 2 – измеритель расхода поступающих на сушку сыпучих кормов; 3 – блок задатчиков значений искусственного сигнала облученности в диапазоне изменения дозы облучения от нуля до её предельного значения, наименьшей и наибольшей технологической дозы облучения, сигналов времени, расстояния от выходного поперечного сечения измерителя расхода поступающих на сушку сыпучих кормов до оси симметрии СВЧ волновода в камере сушки, наименьшей и наибольшей дозы облучения, сигналов развёртки по дозе облучения во времени, удельных региональных цен на продукцию животноводства и птицеводства, на сыпучие корма и на электроэнергию, констант и коэффициентов математических моделей управления режимом мощности облучения сыпучих кормов; 4 – измеритель мощности облучения; 5 – регулятор мощности облучения; 6 – облучатель сыпучих кормов; 7 – СВЧ магнетрон или СВЧ клистрон; 8 – СВЧ волновод в камере сушки; 9 – блок вычисления двух целевых функций суммарных затрат или блок вычисления первой функции суммарных потерь продуктивности животных и птицы и второй функции суммарных потери продуктивности и затрат на сушку сыпучих кормов; 10 – блок определения наименьшего значения выбранной целевой функции суммарных затрат (или блок оптимизации режима сушки по дозе облучения); 11 – датчик температуры поступающих на сушку сыпучих кормов; 12 – датчик относительной влажности поступающих на сушку сыпучих кормов; 13 – орган выбора критерия оптимизации режима сушки; 14 – элемент умножения; 15 – блок управляемой временной задержки

Таким образом, производится деление заданного в блоке задатчиков 3 расстояния на измеренную датчиком скорости 1 скорость движения сыпучего корма. Получается задержка времени сигнала расхода сыпучего корма, равная времени движения сыпучего корма от измерителя расхода 2 до волновода 8. Умножение сигнала необходимой технологически или экономически *оптимальной* дозы облучения на задержанный по времени запаздывания поступления поперечного сечения «трубки сыпучего корма» в зону СВЧ облучения сигнал расхода сыпучего корма с выхода измерителя расхода сыпучего корма 2 в зону СВЧ сушки, т.е. умножение требуемого наилучшего значения энергии облучения единицы массы корма, на массу корма в единицу времени в элементе умножения 14 даёт на его выходе сигнал требуемого с помощью органа выбора критерия оптимизации режима сушки 13 соответствующего *оптимального* значения мощности СВЧ излучения в момент времени достижения измеренным в измерителе 2 расходом сыпучего корма места размещения СВЧ волновода 8 в камере СВЧ сушки

Остаётся это заданное значение мощности сравнить с измеренным значением в виде выходного сигнала измерителя мощности облучения 4 произвести регулирование режима СВЧ облучения посредством регулятор мощности облучения 5 и облучателя сыпучих кормов на основе СВЧ магнетрона или СВЧ клистрона. Излучающие волноводы системы этих электронных приборов выходят в камеру СВЧ сушки сыпучих кормов 16, в которую посредством шнека 17 загружаются предназначенные для СВЧ сушки сыпучие корма (фиг. 3). Во входном бункере поступающих на СВЧ сушку сыпучих кормов 18 производятся измерения физического состояния сыпучих кормов, посредством датчиков их температуры 9 и относительной влажности 10. В выходной бункер выходной бункер высушенных сыпучих кормов 19 поступают сыпучие корма, высушенные по выбранному технологическому для непосредственного кормления или по экономическому для последующего хранения критерию эффективности производства, т.е. СВЧ сушки.

Выводы. Предложен метод управления процессами СВЧ сушки по технологическому или по экономическому критерию. Обеспечивается технологически или экономически оптимальная энергосберегающая автоматизированная СВЧ сушка сыпучих кормов для животноводства и птицеводства. Осуществляется полная автоматизация процесса технологически или экономически наилучшей энергосберегающей СВЧ сушки сыпучих кормов для животноводства и птицеводства.

Список литературы

1. Патент 2414396 Российская Федерация. Способ и устройство экономичной транспортировки птичьих яиц магистральным транспортером птицефабрики / Дубровин А.В. и др. – 2011, Бюл. №8.
2. Патент 2521712 Российская Федерация. Способ и устройство энергосберегающего обеззараживания кормов и продуктов животноводства и птицеводства / Дубровин А.В. и др. – 2014, Бюл. №19.

3. Патент 2533585 Российская Федерация. Устройство экономичного и энергосберегающего обеззараживания кормов и продуктов животноводства и птицеводства / Дубровин А.В. – 2014, Бюл. №11.

4. Дубровин А.В. Основы автоматизированного управления технологическими процессами в птицеводстве по экономическому критерию / А.В. Дубровин. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – 544 с.

ТЕХНОЛОГІЧНО ТА ЕКОНОМІЧНО ОПТИМАЛЬНЕ НАДВИСОКОЧАСТОТНЕ СУШІННЯ СИПКИХ КОРМІВ

О.В. Дубровін

Анотація. Розроблено установку для надвисокочастотного сушіння сипких кормів. Виробництво здійснюється в автоматизованому режимі за технологічним чи економічним критерієм.

Ключові слова: надвисокочастотне сушіння, сипкий корм, інформаційні технології, автоматизація технологічних процесів, ефективність виробництва, техніко-економічний параметр

TECHNOLOGICALLY OR ECONOMICALLY OPTIMAL MICROWAVE DRYING OF BULK FEED

A. Dubrovin

Abstract. Designed for installation of microwave drying of bulk feed. Production is carried out in automatic mode according to technological or economic criteria.

Keywords: the microwave drying, bulk feed, in-formational technology, process automation, efficiency, technical and economic parameters