

## РАЗРАБОТКА МИКРОВОЛНОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ И УСТАНОВКИ ДЛЯ РАЗМОРАЖИВАНИЯ И РАЗОГРЕВА КОРОВЬЕГО МОЛОЗИВА

Г. В. Новикова<sup>1)</sup>, М. В. Просвирякова<sup>1)</sup>, О. В. Михайлова<sup>1)</sup>, С. П. Зайцев<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,  
606340, г. Княгинино, Российская Федерация

<sup>2)</sup>Чувашский государственный аграрный университет,  
428003, г. Чебоксары, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье описано конструкционное исполнение установки непрерывно-поточного действия, позволяющей реализовать микроволновую технологию размораживания и разогрева коровьего молока с сохранением кормовой ценности и соблюдением электромагнитной безопасности. Инновационная идея состоит в том, что для снижения продолжительности размораживания и разогрева коровьего молока, позволяющей сохранить иммуноглобулин. Указанные процессы следует реализовать в разных резонаторах при разных дозах воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты, это связано с тем, что мощность диэлектрических потерь при размораживании коровьего молока от -10 до 0°С растет с 4 до 27, а при разогреве от 0 до +38°С падает с 27 до 9.

СВЧ установка непрерывно-поточного действия с усеченными коническими резонаторами для размораживания и разогрева коровьего молока содержит вертикально расположенные усеченные конические резонаторы, имеющие общее перфорированное ферромагнитное основание. С наружной стороны по периметру, со сдвигом на 60 градусов, установлены магнетроны с воздушным охлаждением так, что излучатели от них с чередованием направлены в соответствующие усеченные конические резонаторы. Вершина нижнего конического резонатора усечена так, что диаметр сечения не превышает четверть длины волны, куда установлен шаровой кран, а вершина верхнего конического резонатора усечена на уровне критического сечения, зависящего от его высоты и угла наклона образующей, и диаметра, не превышающего две глубины проникновения в сырье. Эффективные режимы работы установки следующие: продолжительность воздействия 12 мин; мощность генераторов 3,2 кВт; производительность 20-40 кг/ч; энергетические затраты 0,175 кВт·ч/кг; изменение температуры сырья от минус 10°С до плюс 38-40°С.

**Ключевые слова:** сверхвысокочастотная установка, непрерывно-поточное действие, конические резонаторы, электромагнитная безопасность, кормовая ценность коровьего молока.

### Введение.

Проблема – повышение кормовой ценности коровьего молока путем разработки технологии и сверхвысокочастотной установки непрерывно-поточного действия, обеспечивающей размораживание и разогрев коровьего молока при соблюдении электромагнитной безопасности и сниженных эксплуатационных затратах.

Научную новизну представляют научно-методические основы разработки СВЧ установки непрерывно-поточного действия с обеспечением электромагнитной безопасности для размораживания и разогрева коровьего молока, включающие методики выявления эффективных конструкционных исполнений нетрадиционных резонаторов путем оценки многокритериальных регрессионных моделей;

- конструкционное исполнение объемных резонаторов, позволяющих реализовать микроволновую технологию размораживания и разогрева коровьего молока в соответствии с характером изменения его диэлектрических параметров в диапазоне отрицательной и положительной температур для ускорения процесса, позволяющего сохранить кормовую ценность молока.

Инновационная идея: для снижения продолжительности размораживания и разогрева коровьего молока, позволяющей сохранить иммуноглобулин, эти процессы следует реализовать в разных резонаторах при разных дозах воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ). Это связано с тем, что мощность диэлектрических потерь при размораживании коровьего молока от -10 до 0°С растет с 4 до 27, а при разогреве от 0 до +38°С падает с 27 до 9.

Известные размораживатели коровьего молока «Эконом БМА-50», «Прималакт», РМ-3, «Иглус 2» работают с использованием нагрева на водяной бане. В емкость с водой устанавливают полиэтиленовые бутылки (1,5-2 л) с замороженным сырьем. Продолжительность размораживания и разогрева молока до 40 градусов достигает до 1,5-2 часа при мощности ТЭН 6 кВт. Результатом такой продолжительности нагрева является резкое снижение кормовой ценности сырья.

Известна микроволновая установка для размораживания коровьего молока (патент № 2694944) с квазитороидальным резонатором, работающая в периодическом режиме [2]. Недостатки: разделение процессов размораживания и разогрева невозможно; периодический режим работы.

Известна многомодульная сверхвысокочастотная (СВЧ) установка с цилиндрическими резонаторами, предназначенная для размораживания коровьего молока (патент № 2730060), работающая в периодическом режиме [3].

Известна СВЧ установка с биконическим резонатором для размораживания коровьего молозива, работающая в непрерывном режиме (патент № 2721484) [4]. В вертикально расположенной цилиндрической емкости установки расположен биконический резонатор. По горизонтальной оси резонатора установлен диэлектрический перфорированный диск в зубчатом венце. На образующей конуса по периметру основания со сдвигом на 120 градусов расположены магнетроны так, что излучатели направлены внутрь биконического резонатора. Недостатки: в установке процессы размораживания и разогрева происходит в одном биконическом резонаторе; указанные процессы невозможно проводить, варьируя дозу воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМПСВЧ); дороговизна конструкции установки.

Биконический резонатор обладает характерной особенностью, а именно наличием в резонансном объеме областей с резко выраженным экспоненциальным законом изменения электромагнитного поля. Эта особенность позволяет отсечь вершины конусов и обеспечить непрерывный режим работы. В резонаторе отсутствует вырождение между типами колебаний  $H_{011}$  и  $E_{111}$ , что делает возможным достижение высоких значений собственной добротности. Соответствующим выбором угла при вершине конусов можно сформировать электромагнитное поле, сконцентрированное в центральной области резонатора, что способствует повышению добротности. Так как в центральной части резонатора радиус сечения существенно больше, чем в периферийной области, поэтому и омические потери меньше. При этом критические сечения располагаются на значительном расстоянии от вершин конусов, что позволяет создавать отверстия для подачи сырья, не нарушая структуры поля в резонаторе [1, 6].

Учитывая эти особенности, предложен резонатор в виде двух усеченных конусов с общим перфорированным неферромагнитным основанием для разделения процессов размораживания и разогрева коровьего молозива при разных дозах воздействия ЭМПСВЧ.

**Материалы и методы.** На основе накопленного научного опыта выработаны критерии реализации технологического процесса воздействия ЭМПСВЧ на сырье. При разработке и оптимизации конструкционного исполнения нетрадиционного резонатора использовали ряд методов, в том числе патентный поиск, трехмерное компьютерное моделирование установки. Обоснование режимов работы установки проводили через регрессионные модели в программе Statistic 12.0, Excel 10.0, Mathcad.

Условия функционирования СВЧ установки для размораживания и разогрева коровьего молозива. Установка должна:

- обеспечивать непрерывно-поточное действие для эффективного размораживания и разогрева коровьего молозива в ЭМПСВЧ;
- содержать маломощные магнетроны с воздушным охлаждением, работающие на частоте 2450 МГц, обеспечивающие вариативность производительности;
- содержать один резонатор для равномерного размораживания (от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$ ) всего объема загруженного сырья и второй резонатор для разогрева (до  $+38-40^{\circ}\text{C}$ );
- создавать высокую напряженность электрического поля в резонаторах для низкотемпературного обеззараживания молозива;
- обеспечивать в обоих резонаторах воздействие ЭМПСВЧ в разных эффективных дозах;
- обеспечивать электромагнитную безопасность, без экранирующего корпуса.

#### **Результаты исследований и их обсуждение.**

Результаты исследования показывают, что для сохранения кормовой ценности сырья (иммуноглобулина), процессы размораживания и разогрева коровьего молозива следует проводить в разных резонаторах при разных дозах воздействия ЭМПСВЧ. Это связано с тем, что фактор диэлектрических потерь при размораживании коровьего молозива (от  $-10$  до  $0^{\circ}\text{C}$ ) растет от 4 до 27, а при разогреве от 0 до  $+38^{\circ}\text{C}$  падает от 27 до 9 [6].

Научную новизну представляют конструкционное исполнение объемного резонатора СВЧ установки непрерывно-поточного действия, обеспечивающей реализацию микроволновой технологии размораживания и разогрева коровьего молозива в соответствии с характером изменения диэлектрических потерь сырья в диапазоне отрицательных и положительных температур для ускорения процесса, что позволяет сохранить кормовую ценность коровьего молозива.

Научной задачей является разработка СВЧ установки непрерывно-поточного действия с усеченными коническими резонаторами с общим перфорированным неферромагнитным основанием, что позволяет разделить и ускорить процессы размораживания и разогрева коровьего молозива, соблюдая электромагнитную безопасность без использования экранирующего корпуса.

СВЧ установка непрерывно-поточного действия с усеченными коническими резонаторами с общим основанием (рис. 1) позволяет размораживать молозиво в верхнем резонаторе 3 при перемешивании, жидкая фракция стекает через перфорированное неферромагнитное основание 8, а в нижнем резонаторе 6 происходит разогрев коровьего молозива до  $38-40$  градусов. Частота электромагнитного поля 2450 МГц, длина волны 12,24 см, глубина проникновения волны 1,5-1,75 см.

СВЧ установка непрерывно-поточного действия с усеченными коническими резонаторами содержит вертикально расположенные усеченные конические резонаторы 3, 6, имеющие общее перфорированное неферромагнитное основание 8. По периметру основания 8 с наружной стороны установлены магнетроны 5, 9

со сдвигом на 60 градусов. Отверстия для связи резонатора с излучателем расположены в области перфорированного неферромагнитного основания, так, что излучатели от магнетронов с чередованием направлены в верхний 3 и нижний 6 резонаторы, т.е. излучатели от магнетронов 5, 9 с воздушным охлаждением направлены в соответствующие усеченные конические резонаторы 6, 3. Излучатели от трех магнетронов со сдвигом на 120 градусов направлены в верхний усеченный конический резонатор 3, а остальные три излучателя направлены в нижний усеченный конический резонатор 6. Магнетроны 5, 9 охлаждаются вентиляторами. Вершина нижнего конического резонатора 6 усечена на уровне сечения, диаметром не более четверти длины волны, куда установлен шаровой кран 7, а вершина верхнего конического резонатора 3 усечена на уровне критического сечения, зависящего от его высоты и угла наклона образующей, и диаметром не более двух глубин проникновения волны в сырье.

Технологический процесс размораживания и разогрева коровьего молока происходит следующим образом. Закрывают заслонку 2 и шаровой кран 7, загружают замороженное в брикетах (максимальный размер не должен превышать две глубины проникновения волны в замороженное сырье, что составляет 3-3,5 см) сырье в приемную емкость 1. (Заморозить коровье молоко можно в ледогенераторе или в формах). Включить электропривод перемешивающего механизма 4 (из диэлектрического материала, например, в виде диэлектрического игольчатого барабана), позволяющего равномерно распределять сырье по перфорированному основанию 8.

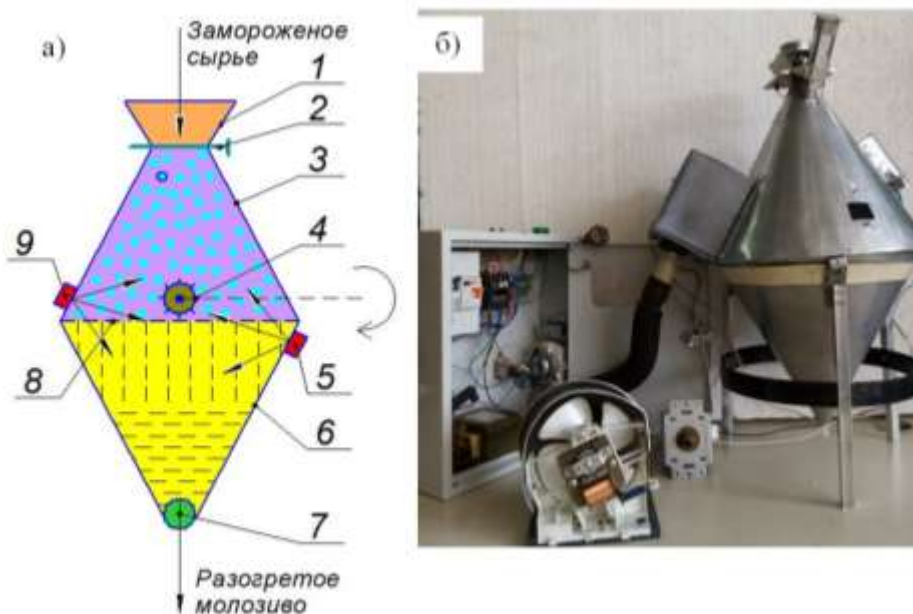


Рис. 1. СВЧ установки для размораживания и разогрева коровьего молока  
а) схематическое изображение установки; б) лабораторный образец

Открыть заслонку 2, включить вентиляторы и магнетроны 9 на определенную мощность, излучатели которых направлены в верхний усеченный конический резонатор 3. Замороженные брикеты сырья подвергаются воздействию ЭМП СВЧ в усеченном коническом резонаторе 3 и начинают размораживаться до 0-2 градусов. Жидкое молоко начинает стекать через перфорированное неферромагнитное основание 8 в нижний усеченный конический резонатор 6. Как только жидкое сырье окажется в резонаторе, следует включить соответствующие магнетроны 5, излучатели которых направлены в нижний резонатор 6. Жидкое молоко разогревается до 38-40 градусов, после чего можно открыть шаровой кран 7 на определенную пропускную способность. Термопара установлена рядом с шаровым краном, где нет воздействия электромагнитных волн (экспоненциальный закон изменения электромагнитного поля в конических резонаторах). В каждом резонаторе доза воздействия регулируется путем изменения мощности генераторов и объема загрузки с учетом изменения фактора диэлектрических потерь в процессе размораживания и разогрева коровьего молока. Такое разделение процессов позволяет резко сократить продолжительность всего процесса, и, следовательно, сохранить кормовую ценность разогретого молока. Причем, без специального экранирующего корпуса электромагнитная безопасность обеспечивается при работе установки непрерывно-поточного действия.

Результаты предварительного исследования с помощью лабораторного образца показывают, что эффективные режимы работы установки следующие: продолжительность воздействия 12 мин; мощность генераторов 3,2 кВт; производительность 20-40 кг/ч; энергетические затраты 0,175 кВт·ч/кг; изменение температуры сырья от минус 10°C до плюс 38-40°C.

**Выводы.**

1. Из-за высокой энергоемкости и недостаточной кормой ценности размороженного сырья рекомендуется заменить традиционные размораживатели коровьего молозива на СВЧ установки непрерывного поточного действия.
2. Необходимое количество установок для размораживания и разогрева коровьего молозива, производительностью 20-40 л/ч в РФ составит 20-25 тыс. шт.; в Нижегородской области – 50-100 шт.; в одном фермерском хозяйстве – 1-2 шт.

**Литература**

1. Дробахин, О. О. Исследование возможности применения связанных биконических резонаторов для определения параметров диэлектрических материалов / О. О. Дробахин, Д. Ю. Салтыков // Прикладная радиоэлектроника. – 2014. – Том 13, № 1. – С. 64-70.
2. Пат. 2694944 РФ, МПК А47J.39/00. Микроволновая установка для размораживания коровьего молозива / Г.В. Новикова, Д.В. Поручиков, А.Н. Васильев, И.Г. Ершова, М. В. Белова; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ» (RU). – № 2018143727; заявл. 11.12. 2018. Бюл. № 20, 18.07.2019. – 10 с.
3. Пат. 2730060 РФ, МПК А47J.39/00. Многомодульная СВЧ установка для размораживания коровьего молозива в периодическом режиме / Г.В. Новикова, А.А. Тихонов, О.В. Михайлова, М.В. Белова, Д. А. Тараканов; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2019137292; заявл. 7.11.2019. Бюл. № 23, 17.08.2020. – 10 с.
4. Пат. 2721484 РФ, МПК А47J.39/00. СВЧ установка с биконическим резонатором для размораживания коровьего молозива в непрерывном режиме / Г.В. Новикова, Д.А. Тараканов, М.В. Белова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2019131642; заявл. 09.09.2019. Бюл. № 14, 19.05.2020. – 10 с.
5. Рогов, И.А. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов / под ред. И.А. Рогова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 288 с.
6. Техника и полупроводниковая электроника СВЧ: Учебное пособие [Электронное издание] / О.О. Дробахин, С.В. Плаксин, В.Д. Рябчий, Д.Ю. Салтыков. – Севастополь: Вебер, 2013. – 322 с.

**Сведения об авторах**

1. **Новикова Галина Владимировна**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела управления научными исследованиями и подготовки научно-педагогических кадров, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 606340, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская 22 а, e-mail: NovikovaGalinaV, тел. 89279940052.
2. **Просвирякова Марьяна Валентиновна**, доктор технических наук, профессор кафедры электрификации и автоматизации, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 606340, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская 22 а, e-mail: maryana\_belova\_803@mail.ru, тел. 89530155394.
3. **Михайлова Ольга Валентиновна**, доктор технических наук, профессор кафедры инфокоммуникационных технологий и систем связи, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 606340, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская 22 а, e-mail: ds17823@yandex.ru, тел. 89196725370.
4. **Зайцев Сергей Петрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, e-mail: zapevl@mail.ru, тел. 89030665907.

**DEVELOPMENT OF MICROWAVE TECHNOLOGY AND INSTALLATION FOR DEFROSTING AND HEATING OF COW MILK- COLOSTRUM**

**G. V. Novikova<sup>1)</sup>, M. V. Prosviryakova<sup>1)</sup>, O. V. Mikhailova<sup>1)</sup>, S. P. Zaitsev<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University,  
606340, Knyaginino, Russian Federation*

<sup>2)</sup>*Chuvash State Agrarian University,  
428003, Cheboksary, Russian Federation*

**Abstract.** *The article describes the structural design of a continuous-flow installation, which makes it possible to implement microwave technology for defrosting and warming up cow milk colostrum while maintaining the feed value and observing electromagnetic safety. The innovative idea is that in order to reduce the duration of defrosting and warming up of cow milk-colostrum, which makes it possible to preserve immunoglobulin. These processes should be implemented in different resonators at different doses of exposure to an electromagnetic field of ultrahigh frequency,*

*this is due to the fact that the power of dielectric losses during defrosting of cow milk- colostrum from - 10 to 0oC increases from 4 to 27, and when warmed up from 0 to + 38oC it falls from 27 to 9.*

*A continuous-flow microwave installation with truncated conical resonators for defrosting and heating cow milk colostrum contains vertically arranged truncated conical resonators having a common perforated non-ferromagnetic base. From the outside along the perimeter, with a shift of 60 degrees, air-cooled magnetrons are installed so that the emitters from them are alternately directed into the corresponding truncated conical resonators. The top of the lower conical resonator is truncated so that the cross-sectional diameter does not exceed a quarter of the wavelength where the ball valve is installed, and the top of the upper conical resonator is truncated at the critical section level, which depends on its height and the angle of inclination of the generatrix, and the diameter does not exceed two penetration depths into raw materials. The effective operating modes of the installation are as follows: exposure duration 12 min; generator power 3.2 kW; productivity 20-40 kg / h; energy costs 0.175 kWh / kg; change in the temperature of raw materials from minus 10 ° C to plus 38-40 ° C.*

**Key words:** microwave installation, continuous flow action, conical resonators, electromagnetic safety, feed value of cow milk - colostrum.

#### References

1. Drobahin, O. O. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya svyazannyh bikonicheskikh rezonatorov dlya opredeleniya parametrov dielektricheskikh materialov / O. O. Drobahin, D. YU. Saltykov // Prikladnaya radioelektronika. – 2014. – Tom 13, № 1. – S. 64-70.
2. Pat. 2694944 RF, MPK A47J.39/00. Mikrovolnovaya ustanovka dlya razmorazhivaniya korov'ego moloziva / G.V. Novikova, D.V. Poruchikov, A.N. Vasil'ev, I.G. Ershova, M. V. Belova; zayavitel' i patentoobladatel' FGBNU «FNAC VIM» (RU). – № 2018143727; zayavl. 11.12. 2018. Byul. № 20, 18.07.2019. – 10 s.
3. Pat. 2730060 RF, MPK A47J.39/00. Mnogomodul'naya SVCH ustanovka dlya razmorazhivaniya korov'ego moloziva v periodicheskom rezhime / G.V. Novikova, A.A. Tihonov, O.V. Mihajlova, M.V. Belova, D. A. Tarakanov; zayavitel' i patentoobladatel' NGIEU (RU). – № 2019137292; zayavl. 7.11.2019. Byul. № 23, 17.08.2020. – 10 s.
4. Pat. 2721484 RF, MPK A47J.39/00. SVCH ustanovka s bikonicheskim rezonatorom dlya razmorazhivaniya korov'ego moloziva v nepreryvnom rezhime / G.V. Novikova, D.A. Tarakanov, M.V. Belova, O.V. Mihajlova; zayavitel' i patentoobladatel' NGIEU (RU). – № 2019131642; zayavl. 09.09.2019. Byul. № 14, 19.05.2020. – 10 s.
5. Rogov, I.A. Elektrofizicheskie, opticheskie i akusticheskie harakteristiki pishchevyyh produktov / pod red. I.A. Rogova. – M.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1981. – 288 s.
6. Tekhnika i poluprovodnikovaya elektronika SVCH: Uchebnoe posobie [Elektronnoe izdanie] / O.O. Drobahin, S.V. Plaksin, V.D. Ryabchij, D.YU. Saltykov. – Sevastopol': Veber, 2013. – 322 s.

#### Information about the authors

1. **Novikova Galina Vladimirovna**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Department of Management of scientific research and training of scientific and pedagogical personnel, 606340, Nizhny Novgorod region, Knyaginino, Oktyabrskaya str. 22 a, e-mail: NovikovaGalinaV, tel. 89279940052.

2. **Prosviryakova Maryana Valentinovna**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrification and Automation, 606340, Nizhny Novgorod region, Knyaginino, Oktyabrskaya str., 22a, e-mail: maryana\_belova\_803@mail.ru, tel. 89530155394.

3. **Mikhailova Olga Valentinovna.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Infocommunication technologies and communication systems, 606340, Nizhny Novgorod region, Knyaginino, Oktyabrskaya str., 22 a, e-mail: ds17823@yandex.ru, tel. 89196725370.

4. **Zaitsev Sergey Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanization and electrification of agricultural enterprises, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx str., 29, e-mail: zapevl@mail.ru, tel. 89030665907.

УДК 631.22.01

DOI: 10.17022/k6tq-3p47

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПЕРЕРАБОТКИ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА В УДОБРЕНИЯ

**Ю. С. Руденко, В. Г. Рябцев**

*Волгоградский государственный аграрный университет  
400002, г. Волгоград, Российская Федерация*

**Аннотация.** На многих птицефабриках огромная часть птичьего помета не перерабатывается, а скапливается рядом с ними, образуя залежи мусора. Хранение птичьего помета на специальных площадках требует больших затрат. В статье описывается процесс переработки помета в удобрения в биоферментаторе барабанного типа с использованием программируемого логического контроллера, датчиков температуры помета и исполнительных механизмов, то есть с помощью автоматизированной системы