

МЕХАНИЗАЦИЯ

УДК 631.17:631.371

doi: 10.30766/2072-9081.2018.63.2.90-95

Технология получения биогаза и ферментированного перегноя в условиях сельскохозяйственного предприятия Польши

В. Романюк¹, П.А. Савиных²

¹Технолог-Природоведческий институт Фаленты, г. Варшава, Польша,

²ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока

имени Н.В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В статье приведены результаты исследований по разработке технологии переработки бесподстилочного навоза и растительной биомассы для производства биогаза и экологически чистого удобрения (ферментированного перегноя) в условиях сельскохозяйственного предприятия Польши. Навозная жижа из навозного канала поступает в предварительный накопитель субстрата, где перемешивается и затем транспортируется в ферментационную камеру, которую заполняют раз в день суточным выходом навоза. Растительная биомасса подается в ферментационную камеру в двух порциях, что предусматривает трехкратное перемешивание содержимого в течение суток агрегатом гидравлического типа. Субстрат, подвергаемый метановой ферментации, периодически перемешивается лопаточной мешалкой, что позволяет ускорить процесс получения биогаза. Процесс удаления серы основан на пропуске газа сквозь древесный уголь, размещенный на полках очистителя. Счетчик газа позволяет контролировать его производство. Газ из сборника направляется в водяной котел, работа которого автоматизирована. Теплая вода для подогрева ферментационной массы поступает из котла по трубам в ферментационную камеру. Ее задачей является доведение температуры перегноя до 36°C и поддержание ее во время процесса ферментации. Постоянство температуры перегноя в камере обеспечивает регулятор температуры (термостат). Ферментированный перегной подвергается дальнейшей обработке, заключающейся в ее смешивании с измельченной соломой, торфом и другими растительными отходами. Масса направляется в открытую перегнойную камеру, в которой находится около 3 месяцев и дополняется свежим перегноем в течение всего периода. Биогазовая установка позволяет утилизировать отходы в зонах производства и переработки сельхозпродукции, улучшить экологическую обстановку, получить биогаз и экологически чистый ферментированный перегной с различными растительными добавками, которые относятся к группе очень активных биологических удобрений, стимулирующих рост и развитие культурных растений.

Ключевые слова: биогаз, навоз, ферментированный перегной, субстрат, ферментационная камера, биогазовая установка, ферментация, растительная биомасса

Производство основных видов сельскохозяйственных продуктов связано с образованием большого количества отходов. Выход основного продукта иногда составляет 15...30% от массы исходного сырья. Наибольшая часть отходов в России приходится на отрасль животноводства (более 50%), второе место занимают отходы растениеводства (более 35%), а на долю перерабатывающих отраслей приходится около 5% [1, 2].

Обострение экологических проблем, а также рост цен на традиционные энергоресурсы обусловили значительный интерес к био-конверсии органических отходов (особенно навоза) методом анаэробной ферментации для получения энергии. Тот факт, что животные плохо усваивают энергию растительных кормов и более половины ее используется непроизводительно (уходит в навоз) позволяет рассматривать последний не только как ценное сырье для органических удобрений, но и как мощный источник возобновляемой энергии, позволяющий в значительной мере экономить

топливные и материальные ресурсы [3, 4].

Один из путей рационального использования навоза и навозных стоков животноводческих ферм – анаэробное сбраживание, метаногенез, который оказался хорошим способом обезвоживания жидкого навоза и сохранения его как удобрения при одновременном получении локального энергоносителя – биогаза. Например, ежедневный органический потенциал переработки навоза от одной головы КРС составляет 0,25 кг азота, 0,13 кг оксида фосфора, 0,3 кг оксида кальция и сравним с 1 кг комплексных удобрений. Для сельского хозяйства такие дешевые и доступные удобрения – это дополнительная интенсификация производства и повышение конкурентоспособности отечественной продукции [3, 5, 6, 7].

Цель исследований – разработка энергосберегающей технологии переработки бесподстилочного навоза и растительной биомассы для получения биогаза и ферментированного перегноя в условиях сельскохозяйственного предприятия Польши.

Материал и методы. Технология переработки бесподстилочного навоза и растительной биомассы разработана с применением биогазовой установки – комплекса машин, служащих для проведения метановой ферментации органических субстратов, представляющих собой смесь навоза и растительной биомассы. В качестве растительной массы в биогазовой установке используется зерно и солома зерновых культур, травы, корнеклубнеплоды как наземные, так и подземные части растений, не переработанные отходы пищевой и сельскохозяйственной промышленности.

Процесс метановой ферментации основывается на биохимическом разложении органических субстанций в анаэробных условиях. В результате реакций, происходящих с участием метановых бактерий, образуется биогаз,

состоящий, в основном, из метана в количестве около 60%, а также двуокиси углекислоты, и экологически чистые органические удобрения.

Результаты и их обсуждение. Технологическая схема получения биогаза представлена на рисунке 1. Навозная жижа из навозного канала поступает в предварительный накопитель субстрата, где перемешивается с помощью мешалки, а затем транспортируется в ферментационную камеру, которую заполняют раз в день суточным выходом навоза. Растительная биомасса подается в ферментационную камеру в двух порциях по 2,5 м³ (4% вместимости ферментационной камеры), что предусматривает трехкратное перемешивание содержимого ферментационной камеры в течение суток агрегатом для перемешивания гидравлического типа. Каждый раз время перемешивания составляет около 10 минут.

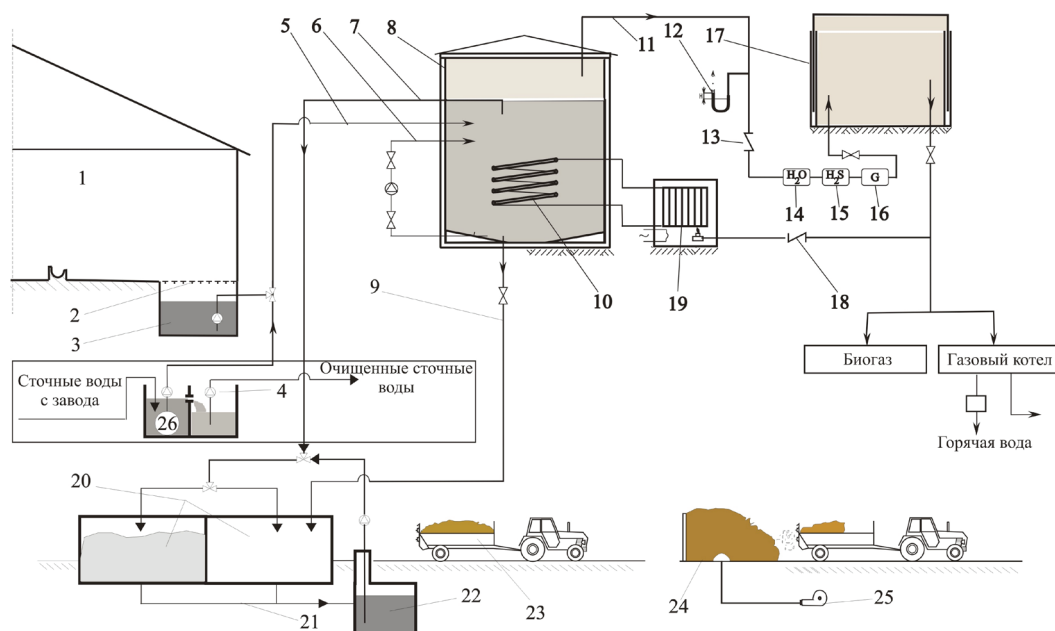


Рис. 1. Технологическая схема биогазовой установки: 1 – здание; 2 – щелевой пол; 3 – канал для жидкого навоза; 4 – емкость для плохо сбраживаемых отходов; 5 – трубопровод для снабжения; 6 – трубопровод для смешивания; 7 – перелив; 8 – камера брожения; 9 – сливной трубопровод; 10 – подогрев; 11 – газовый трубопровод; 12 – предохранитель; 13 – прерыватель потока; 14 – отведение воды; 15 – отведение серы; 16 – газомер; 17 – емкость для газа; 18 – прерыватель потока; 19 – котельная; 20 – накопительный сборник ферментированного перегноя; 21 – дренаж; 22 – сборник жидкости; 23 – навозоразбрасыватель; 24 – компостная плита; 25 – вентилятор

Насосом агрегата для перемешивания, например, типа UM-200-125 по трубопроводу засасывается перегной из нижней части камеры и проталкивается в верхнюю часть в целях недопущения скопления осадков на дне камеры, вызывая тем самым интенсивное перемешивание. С помощью сливного трубопровода происходит опорожнение ферментационной камеры путем отправки ее содержимого в накопительный сборник ферментированного перегноя.

На рисунке 2 представлена низкооборотная лопастная мешалка в ферментационной камере объемом более 500 м³ с мотор-редуктором, установленным на внешнем бетонном основании ферментационной камеры. По внутренней стороне покрытия камеры запрессованы крепления для установки нагревательного элемента, выполненные из полиуретана.

Для очистки газа использованы два очистителя серы, работающие последовательно,

и осушитель. Процесс удаления серы основан на пропуске газа сквозь сепаратор серы, размещенный на полках очистителя. Главным компонентом массы, поглощающей серу, является древесный уголь. Счетчик газа позволяет контролировать его производство. Газ собирается в газовом сборнике, откуда направляется в водяной котел, работа которого автоматизиро-

вана. Котел приспособлен для работы от двух источников энергии: электрической, используемой при запуске, и в случае аварии биогазовой станции, а также биогаза. Давление газа, необходимое для правильной работы приборов, равняется $2 \cdot 10^4 \dots 2,7 \cdot 10^4$ Па. Оставшаяся часть выработанного биогаза используется в газовых приборах хозяйства.



Рис. 2. Общий вид размещения лопастной мешалки в ферментационной камере с установленным обогревателем

В технологическую схему включена ферментационная камера с оборудованием для за-

грузки субстрата из натурального навоза и растительной биомассы (рис. 3) [8, 9, 10].

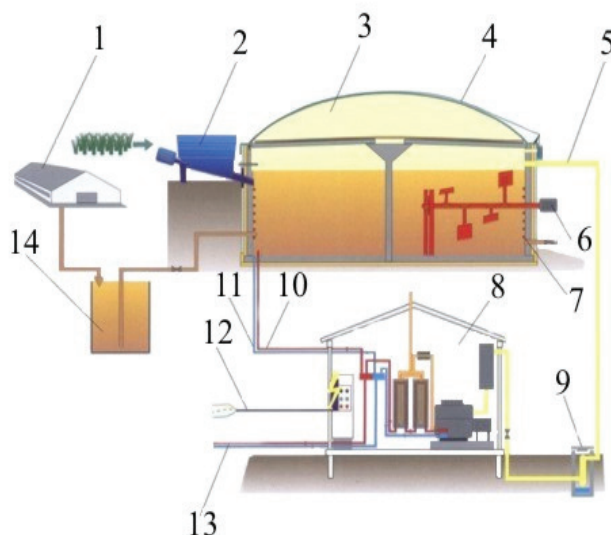


Рис. 3. Схема ферментационной камеры с элементами оборудования для загрузки субстратом (перегной + растительная биомасса): 1 – животноводческое помещение; 2 – система дозирования и подачи биомассы; 3 – ферментационная камера; 4 – мембрана сборника биогаза; 5 – биогазовый трубопровод; 6 – мешалка; 7 – нагревательная установка; 8 – машинное отделение с генератором; 9 – осушитель; 10 – подвод тепловой энергии; 11 – отвод охлажденных стоков/воды; 12 – отвод электрической энергии; 13 – трубопровод тепловой энергии; 14 – предварительный накопитель

Подаваемый перегной имеет температуру около 20°C. Теплая вода для подогрева ферментационной массы поступает из котла по трубам в ферментационную камеру. Ее задачей является доведение температуры перегноя до 36°C и поддержание ее во время процесса ферментации. Постоянство температуры перегноя в камере обеспечивает регулятор температуры (термостат).

После добавления одной порции в количестве 2,5 м³ и достижении однородности массы с помощью перемешивающего насоса температура в камере снижается обычно на 0,5°C. В таких условиях работы установка, даже при пониженных температурах, вырабатывает в течение суток около 70 м³ биогаза. Состав компонентов биогаза представлен в таблице.

Таблица

Среднее содержание компонентов биогаза, %

Составляющие биогаза	Июнь	Октябрь
CH ₄	56,2	59,95
CO ₂	40,1	35,79
H ₂ S	0,5	0,55
CO	0,3	0,40
N ₂	2,9	3,31

Оптимальными параметрами эффективной ферментации в биогазовых станциях являются:

- диапазон температур 35-38° С (указаны постоянно поддерживаемые температуры);
- содержание сухой массы не менее 5%;
- постоянное перемешивание гидравлическое или механическое (предотвращает разделение перегноя на фракции и повышает активность работы бактерий);
- уровень pH = 6,5-7,5;
- пропорция углерода С к азоту N_{max} = 100 : 3.

Метановая ферментация растительных отходов и навоза позволяет получить:

1. Горючий биогаз, состоящий в основном из метана, получаемый в количестве 1,0 м³ (в среднем) с 1 м³ камеры с тепловой энергоемкостью около 23 МДж·м⁻³.

2. Ферментированный перегной - остаточный продукт без кислородной ферментации. Ферментированный перегной обладает улучшенными показателями качества в сравнении с твердым навозом, поскольку:

- во время ферментации не наблюдаются потери ценного азота, необходимого для питания растений;
- pH возрастает с 7 до 8;
- уменьшается содержание органических

субстанций на 30...50%, что вызывает уменьшение соотношения кислорода и азота (O:N), это очень полезно, если ферментированный перегной вносится на поля, где есть пожнивные и пастбищные остатки;

- фосфор и сода выступают также в виде, легко усваиваемом растениями;
- семена сорняков утрачивают всхожесть;
- имеет менее неприятный запах и приемлемую консистенцию, более удобную для сушки.

Кроме этого, ферментированный перегной уменьшает санитарную угрозу прилегающим полям и городским окраинам, так как:

- уменьшается до минимума количество болезнетворных бактерий;
- предотвращается накопление в почве, водах и растительности вредных веществ, которые в процессе ферментации распадаются на простые соединения, отсорбируемые почвой;
- наблюдается уменьшение объема перегноя, что облегчает процесс его использования;
- уменьшаются базовые загрязнения, такие как: биохимическое потребление кислорода в течение 5 суток (БПК₅) на 60...80% и химическое потребление кислорода (ХПК) на 50...60%.

Вторым этапом в процессе использования ферментированного перегноя, в целях его более эффективного использования, является производство компоста. Ферментированный перегной подвергается дальнейшей обработке, заключающейся в его смешивании с измельченной соломой, торфом и другими растительными отходами. Масса направляется в открытую перегнойную камеру, в которой находится около 3 месяцев и дополняется свежим перегноем на протяжении всего периода. На первом этапе процесса компостирования происходят главные анаэробные процессы в результате разложения метановыми бактериями из ферментированного перегноя биогазовой установки. Этот процесс провоцирует быстрое разложение сложных сахаров, пептидов и липидов в простые соединения и их минерализацию. На следующем этапе компостная масса насыщается воздухом. В массе соломы начинается процесс кислородной ферментации, во время которого температура достигает 50...60°C. Процесс завершится, когда температура достигнет температуры окружающей среды. Затем следует полученную массу перемешать, уложить на компостную плиту, где вся масса дополнительно насыщается воздухом с помощью вентилятора и воздухопроводов. Компостная масса, подвергнутая интенсивному насыщению воздухом, хранится еще в течение одно-

го месяца. Компостная установка в Духнове (Польша) представлена на рисунке 4. В хозяй-

стве отработанная биомасса вносится в почву под посев сельскохозяйственных культур.



Рис. 4. Основные биогазовые и компостные объекты в Духнове (Польша)

Выводы. Биогазовая установка позволяет утилизировать отходы в зонах производства и переработки сельхозпродукции, улучшить экологическую обстановку, получить дополнительные энергетические ресурсы на основе местного возобновляемого сырья, использовать экологически чистый ферментированный перегной с различными растительными добавками, такими как кукуруза, силос и зеленая масса, которые относятся к группе очень активных биологических удобрений, стимулирующих рост и развитие культурных растений.

Список литературы

1. Чуриков А. Биогазовая энергетика: перспективы России [Электронный ресурс] // Сайт «AEnergy.ru». URL: <http://aenergy.ru/2015> (дата обращения 19.12.2017).
2. Савиных П.А., Романюк В., Юнусов Г.С. Обоснование конструктивно-технологических параметров биогазовой установки // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Мосоловские чтения: материалы международной научно-практической конференции. Йошкар-Ола: МарГУ, 2016. Вып. XVIII. С. 244-248.
3. Федоренко В.Ф., Сорокин Н.Т., Буклагин Д.С., Тихонравов В.С. Инновационное развитие альтернативной энергетики: научное издание [в 2 ч.] // Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропро-

мышленного комплекса. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. Ч.2. 411 с.

4. Конкин М. Ресурсосбережение и его этапы // АПК: экономика, управление. 2000. № 6. С. 70-77.

5. Баадер В., Доне Е., Бренндефер М. Биогаз: теория и практика. М.: Колос, 1982. 148 с.

6. Зуева С.Б., Остриков А.Н., Ильина Н.М., Ноздрин Е.О. Утилизация отходов мясной промышленности способом анаэробного сбраживания // Мясная индустрия. 2011. № 6. С. 54-67.

7. Коваленко Л.Ю. Использование отходов пищевой промышленности для получения альтернативных видов топлива. М.: ФГБУ «Росинформагротех», 2012. 44 с.

8. ROMANIUK W. Ekologiczne systemy gospodarki obornikiem i gnojowicą. Warszawa: IBMER, 2005. 120 p.

9. PATENT NR 224455 Urządzenie do wytwarzania biogazu z odchodów zwierząt chowanych na ściółce / Wacław Romaniuk, Andrzej Myczko, Bogdan Łochowski, Tadeusz Domasiewicz, Andrzej Głasczka, Katarzyna Biskupska, Peter Aleksejewicz Savinyh, Sergiej Aleksejewicz Otroshko. Uprawniony z patent Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Falenty, PL. O udzieleniu patent ogłoszono 30.12.2016 WUP 12/16.

10. PATENT NR 225111 Urządzenie do odseparowywania i magazynowania stałej z gnojowicy / Wacław Romaniuk, Bogdan Łochowski, Tadeusz Domasiewicz, Kinga Borek, Peter A. Savinyh, Vasilij A. Susujev, Vladimir M. Kosolapov, Sergiej A. Otroshko. Uprawniony z patent Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, PL. O udzieleniu patent ogłoszono 28.02.2017 WUP 02/17.

Сведения об авторах:

Романюк Вацлав¹, доктор техн. наук, профессор, e-mail: w.romaniuk@itp.edu.pl

Савиных Пётр Алексеевич², доктор техн. наук, профессор, e-mail: peter.savinyh@mail.ru

¹Технолог-Природоведческий институт Фаленты, ул. Раковецка, 32, г. Варшава, Польша, 02-532,

²ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», ул. Ленина, д.166а, Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Technology of biogas and fermented humus production in the conditions of an agricultural enterprise in Poland**W. Romanyuk¹, P.A. Savinykh²**¹*Institute of Technology and Life Sciences, Falenty, Warsaw branch, Poland,*²*Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Kirov, Russian Federation*

The article provides the results of research on the development of non-wood manure and plant biomass processing technology for the production of biogas and environmentally friendly fertilizer (fermented humus) in the conditions of an agricultural enterprise in Poland. The slurry from the manure channel enters the preliminary storage unit of the substrate, where it is mixed and then transported to the fermentation chamber. Fermentation chamber is filled once a day with daily output of manure. Vegetable biomass is fed to the fermentation chamber in two portions, which provides three-fold mixing of the contents during the day with a hydraulic unit. The substrate subjected to methane fermentation is periodically stirred with a spatula mixer, which allows to accelerate the biogas process. The sulfur removal process is based on the passage of gas through charcoal, placed on the shelves of the cleaner. Gas meter allows you to control its production. Gas from the collector is sent to the water boiler, the work of which is automated. Warm water for heating the fermentation mass comes from the boiler through pipes into the fermentation chamber. Its task is to increase the temperature of compost up to 36°C and maintaining it during the fermentation process. Stability of humus temperature in the chamber is provided by the temperature controller (thermostat). Fermented compost undergoes further processing, which consists in mixing it with chopped straw, peat and other plant wastes. The mass is sent to an open humus chamber, where it is kept for about 3 months and is supplemented with fresh humus throughout the period. Biogas unit allows to recycle wastes in the areas of production and processing of agricultural products, to improve the environmental situation, to obtain biogas and environmentally friendly fermented humus with various plant additives, which belong to the group of very active biological fertilizers that stimulate the growth and development of cultivated plants.

Key words: *biogas, manure, fermented humus, substrate, fermentation chamber, biogas unit, fermentation, plant biomass*

References

1. Churikov A. *Biogazovaya energetika: perspektivy Rossii*. [Biogas power engineering: prospects of Russia]. *Sayt «AEnergy.ru»*. Available at: <http://aenergy.ru/2015> (accessed 19.12.2017).
2. Savinykh P.A., Romanyuk V., Yunusov G.S. *Obosnovanie konstruk-tivno-tekhnologicheskikh parametrov biogazovoy ustanovki*. [Substantiation of structural and technological parameters of biogas unit]. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva: Mosolovskie cheniya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Topical issues of improving the technology of production and processing of agricultural products: Mosol readings: materials of the international scientific and practical conference]. Yoshkar-Ola: *MarGU*, 2016. Iss. XVIII. pp. 244-248.
3. Fedorenko V.F., Sorokin N.T., Buklagin D.S., Tikhonravov V.S. *Innovatsionnoe razvitie al'ternativnoy energetiki: nauchnoe izdanie [v 2 ch.]*. [Innovative development of alternative energy: scientific publication]. *Rossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut informatsii i tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniy po inzhenerno-tekhnicheskoy obespecheniyu agropromyshlennogo kompleksa*. [The Russian Research Institute of information and technical and economic researches on engineering and technical support of agroindustrial complex]. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2011. Part 2. 411 p.
4. Konkin M. *Resursosberezhenie i ego etapy*. [Resource saving and its stages]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2000. no. 6. pp. 70-77.
5. Baader V., Done E., Brenndefer M. *Biogaz teoriya i praktika*. [Biogas theory and practice]. Moscow: *Kolos*, 1982. 148 p.
6. Zueva S.B., Ostrikov A.N., Il'ina N.M., Nozdrina E.O. *Utilizatsiya otkhodov myasnoy promyshlennosti sposobom anaerobnogo sbrashivaniya*. [Utilization of meat industry wastes by anaerobic fermentation method]. *Myasnaya industriya*. 2011. no. 6. pp. 54-67.
7. Kovalenko L.Yu. *Ispol'zovanie otkhodov pishchevoy promyshlennosti dlya polucheniya al'ternativnykh vidov topliva*. [Use of food industry wastes for production of alternative fuels]. Moscow: *FGBU «Rosinformagrotekh»*, 2012. 44 p.
8. Romaniuk W. *Ekologiczne systemy gospodarki obornikiem i gnojowicą*. Warszawa. IBMER ISBN 83-86264-58-6 2005. pp. 120.
9. PATENT NR 224455 Urządzenie do wytwarzania biogazu z odchodów zwierząt chowanych na ściółce / Wacław Romaniuk, Andrzej Myczko, Bogdan Łochowski, Tadeusz Domasiewicz, Andrzej Głaszczka, Katarzyna Biskupska, Peter Aleksejewitz Savinyh, Sergiej Aleksejewitz Otroshko. Uprawniony z patent Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Falenty, PL. O udzieleniu patent ogłoszono 30.12.2016 WUP 12/16.
10. PATENT NR 225111 Urządzenie do odseparowywania i magazynowania stałej z gnojowicy / Wacław Romaniuk, Bogdan Łochowski, Tadeusz Domasiewicz, Kinga Borek, Peter A. Savinyh, Vasilij A. Susujev, Vladimir M. Kosolapov, Sergiej A. Otroshko. Uprawniony z patent Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, PL. O udzieleniu patent ogłoszono 28.02.2017 WUP 02/17.

Information about the authors:

W. Romanyuk¹, DSc in Engineering, professor, e-mail: w.romaniuk@itp.edu.pl,
 P.A. Savinykh², DSc in Engineering, professor, e-mail: peter.savinyh@mail.ru

¹Institute of Technology and Life Sciences, Falenty, 32, Rakowicka street, Warsaw, Poland, 02-532,

²Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Lenina str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru