

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 631.95

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-3-4-11

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

ПОПОВ ВЛАДИМИР ДМИТРИЕВИЧ, академик РАН, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: popov_vd@mail.ru

ЕРОХИН МИХАИЛ НИКИТЬЕВИЧ, академик РАН, докт. техн. наук, профессор²

E-mail: er.mihn@mail.ru

БРЮХАНОВ АЛЕКСАНДР ЮРЬЕВИЧ, член-корреспондент РАН, докт. техн. наук, доцент¹

E-mail: sznii@yandex.ru

ВАСИЛЬЕВ ЭДУАРД ВАДИМОВИЧ, канд. техн. наук¹

E-mail: sznii6@yandex.ru

ШАЛАВИНА ЕКАТЕРИНА ВИКТОРОВНА, канд. техн. наук¹

E-mail: shalavinaev@mail.ru

¹ Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ; 196625, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Филътровское ш., 3

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Интенсификации животноводства приводит к возрастанию антропогенной нагрузки на окружающую среду, что требует разработки новых технологических и управленческих решений. Целью исследований являлось изучение концептуальных подходов по созданию экологических центров промышленной переработки органических отходов животноводства, определение их целей и задач, поиск реализованных примеров. Проанализированы наилучшие доступные технологии и изучены мировые тенденции в области создания интеллектуализированных машинных технологий в сельскохозяйственном производстве. Проведён анализ базовых и перспективных технологий утилизации органических отходов животноводства, включающих шесть основных направлений, выявлены их основные достоинства и недостатки. Удельные капитальные затраты на внедрение технологий из расчёта годового объёма навоза находятся в диапазоне 1600...12600 руб. на тонну, удельные эксплуатационные затраты в диапазоне 300...10000 руб. на тонну. Полученные данные свидетельствуют о сложности выбора единой технологии утилизации, поскольку эффективность каждого технологического решения зависит от ряда факторов. Для решения проблемы предложена концептуальная схема построения центров промышленной переработки органических отходов животноводства. Основной целью центров является вовлечение в хозяйственный оборот дополнительных ресурсов в виде органического вещества, питательных элементов, биоэнергии и новых вторичных продуктов. Основной задачей центров является формирование технических систем, оптимизированных по составу и производительности отдельных технологических блоков, обеспечивающих наиболее эффективное производство востребованных видов конечной продукции и энергетических ресурсов. В качестве аналога рассмотрен итальянский комплекс Biogas Wipptal, перерабатывающий 70 тыс. т навоза в год, выпускающий ежегодно 45 тыс. т органических удобрений, 18 тыс. т очищенной жидкости и вырабатывающий 2 МВт·ч электрической и тепловой энергии. Предварительная оценка на примере Ленинградской области показывает, что создание центров позволит производить высококачественные органоминеральные удобрения экспортного сегмента на сумму не менее 1 млрд руб. в год.

Ключевые слова: экологическая безопасность, технологии переработки, органические отходы, навоз, помёт.

Формат цитирования: Попов В.Д., Ерохин М.Н., Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Перспективы создания экологических центров промышленной переработки органических отходов животноводства // Агроинженерия. 2020. № 3(97). С. 4-11. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-3-4-11.

PROSPECTS OF ESTABLISHING ECOLOGICAL CENTERS FOR INDUSTRIAL PROCESSING OF ORGANIC ANIMAL WASTE

VLADIMIR D. POPOV, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor¹
E-mail: popov_vd@mail.ru

MIKHAIL N. YEROKHIN, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor²
E-mail: er.mihn@mail.ru

ALEKSANDR YU. BRYUKHANOV, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Associate Professor¹
E-mail: sznii@yandex.ru

EDUARD V. VASILIEV, PhD (Eng)¹
E-mail: sznii6@yandex.ru

YEKATERINA V. SHALAVINA, PhD (Eng)¹
E-mail: shalavinaev@mail.ru

¹ Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production (IAEP) – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 196625, Russian Federation, Saint Petersburg, Filtrovskoe Ave., 3

² Russian Timiryazev State Agrarian University; 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

The intensification of animal husbandry leads to an increase in the anthropogenic impact on the environment, which requires the development of new technological and management solutions. The research purpose was to study conceptual approaches to creating environmental centers for industrial processing of organic waste from livestock, to determine their goals and objectives, and to search for implemented practical examples. The authors have analyzed the best available technologies and world trends in the development of intelligent machine technologies in agricultural production. The analysis of basic and promising technologies for utilization of organic waste from animal husbandry, including six main directions, has been carried out, and their main advantages and disadvantages have been identified. The specific capital costs for the introduction of technologies based on the annual manure output range between 1,600 and 12,600 rubles per ton, and the specific operating costs are in the range between 300 and 10,000 rubles per ton. The obtained data indicate the complexity of choosing a single recycling technology, since the effectiveness of each technological solution depends on a number of factors. To solve the problem, a conceptual scheme for building centers for industrial processing of organic animal waste has been proposed. The main goal of the centers is to involve additional resources in the economic turnover in the form of organic matter, nutrients, bioenergy and new afterproducts. The main task of the centers is to design technical systems optimized by the composition and performance of individual technological units, ensuring the most efficient production of highly sought-after types of final products and energy resources. As an analog, the Italian complex Biogas Wipptal is considered, which processes 70 thousand tons of manure per year, produces 45 thousand tons of organic fertilizers annually, 18 thousand tons of purified liquid and generates 2 MW·h of electrical and thermal energy. A preliminary assessment based on the example of the Leningrad region shows that the establishing of centers will allow producing high-quality organic fertilizers for export in the amount of at least 1 billion rubles per year.

Key words: environmental safety, processing technologies, organic waste, manure, litter.

For citation: Popov V.D., Yerokhin M.N., Bryukhanov A.Yu., Vasiliev E.V., Shalavina Ye.V. Prospects of establishing ecological centers for industrial processing of organic animal waste // *Agricultural Engineering*, 2020; 3 (97): 4-11. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-3-4-11.

Введение. Интенсификация сельскохозяйственного производства позволяет придерживаться заданного темпа наращивания производства с целью достижения показателей продовольственной безопасности страны и увеличения экспорта отечественной продукции. Однако, интенсификация производства часто связана с увеличением антропогенной нагрузки на окружающую среду. Одной из глобальных проблем интенсивного животноводства и птицеводства является утилизация органических отходов (навоза и помёта). Несмотря на то, что данный вид отходов является ценным сырьём для получения вторичных ресурсов, работа с ними имеет ряд технических, экономических и экологических ограничений. Применение традиционных технологий утилизации (удаления

из помещений, транспортировки, переработки, хранения и внесения/использования) навоза и помёта ограничивается рентабельным радиусом транспортировки, который составляет 8...15 км в зависимости от питательной ценности органических удобрений и способов транспортировки. Фактически, в некоторых регионах, на крупных комплексах с поголовьем свиней более 100 тыс. голов и птицы более 1000 тыс. голов радиус транспортировки достигает 50 км и выше, что делает применение органических удобрений для данных предприятий экономически не целесообразным. Такая ситуация приводит к сверхнормативным дозам внесения, накоплению больших масс органики на сельскохозяйственных угодьях, и как следствие, к повышенной эмиссии биогенных элементов в основные

компоненты окружающей среды и её загрязнению. Анализ статистических данных показал, что из 590 млн т ежегодно образующихся навоза и помёта полноценно используется менее 45%, что свидетельствует о высоких рисках загрязнения окружающей среды. Одним из перспективных направлений решения проблемы является создание экологических центров промышленной переработки органических отходов сельского хозяйства (ЭЦППО СХ).

Цель исследований: изучение концептуальных подходов по созданию экологических центров промышленной переработки органических отходов животноводства, определение их целей и задач, поиск реализованных примеров.

Материал и методы. Исследования проводились на основе изучения литературных данных, статистической отчётности, методик обработки данных, обеспечивающих оценку эффективности различных технологий утилизации органических отходов с учётом критериев наилучших доступных технологий (НДТ). Полученные результаты учитывают итоги многолетних исследований, проводимых по данной теме в рамках выполнения государственных заданий и международных проектов. Основными методами являлись комплексный анализ рисков воздействия сельскохозяйственного производства на окружающую среду, оценка НДТ и мировых тенденций в области создания интеллектуализированных машинных технологий в сельскохозяйственном производстве.

Результаты и обсуждение. Ранее проведённые исследования подтверждают, что основной риск загрязнения окружающей среды от сельскохозяйственного производства связан с утилизацией навоза и помёта, риск составляет около 85% по сравнению с другими технологическими процессами сельскохозяйственного производства [1]. Учитывая, что в настоящее время степень утилизации навоза и помёта остаётся низкой, (менее 45%), существующие риски приводят к фактическому загрязнению окружающей среды. По оценкам многих учёных, складывающаяся ситуация приводит к ежегодному эколого-экономическому ущербу более чем в 150 млрд руб. [2]. Эколого-экономический ущерб складывается из суммы оценок негативного воздействия на окружающую среду и упущенной выгоды от возможности получения дополнительного урожая при эффективном использовании органических удобрений. Поэтому, реализуя путь интенсивного развития животноводства и птицеводства, необходимо определить концептуальный подход к решению проблемы обеспечения экологической безопасности на основе освоения высокоэффективных инженерных и технологических решений. Наряду с базовыми, в настоящее время широко предлагаются технологии, так называемой, глубокой, или комплексной, утилизации органических отходов сельскохозяйственного производства. Под терминами «глубокая», или «комплексная», утилизация, подразумевается использование технологий, включающих совокупность технологических операций, позволяющих существенно изменить характеристики исходного сырья, получить различные виды конечных продуктов, в том числе энергетические ресурсы.

Все технологии как базовые, так и предлагаемые (перспективные) имеют свои достоинства и недостатки (табл.).

Технологии утилизации предъявляют определённые условия к конкретным производственным и агроклиматическим условиям, к возможности эффективного использования получаемых вторичных ресурсов (табл.). Поэтому зачастую сложно обосновать единую технологию для утилизации, особенно для крупных комплексов и регионов с большой концентрацией крупных животноводческих и птицеводческих комплексов. Одним из эффективных вариантов решения данной проблемы является создание экологических центров промышленной переработки органических отходов сельского хозяйства (ЭЦППО СХ). Примерами таких центров являются предприятия утилизации органических отходов, созданные за последние десятилетия в Нидерландах, Великобритании, Германии, Италии, Канаде и др. ЭЦППО СХ представляет собой индустриальное предприятие, обеспечивающее эффективную утилизацию преимущественно органических отходов сельскохозяйственного производства с целью обеспечения экологической безопасности отдельных территорий (регионов) и создания вторичных полезных продуктов, востребованных народным хозяйством и на экспортном рынке. Технологическое и машинное оснащение ЭЦППО СХ комплектуется с учётом следующих факторов:

- вида поступающих органических отходов и их качественных характеристик;
- внутренней и внешней потребности в органических и органоминеральных удобрениях с учетом их физико-химических и биологических свойств (район, область, регион, другие страны);
- потребности в энергетических ресурсах и дополнительных материалах.

Один из вариантов построения ЭЦППО СХ показан в виде концептуальной схемы (рис. 1).

С учётом перечисленных факторов формируется техническая система, оптимизированная по составу и производительности отдельных технологических блоков, обеспечивающих наиболее эффективное производство востребованных видов конечной продукции (Prod – удобрения, зола, топливо и т.д.) и энергетических ресурсов [3-7].

Данная техническая система может включать технологии, которые обеспечат биоэнергетическими ресурсами (теплом, электроэнергией, газом) все технологические блоки ЭЦППО СХ [8-10]. Исходя из потребности в конечных продуктах и имея модульный принцип формирования технической системы ЭЦППО СХ, есть возможность варьировать производительностью отдельных блоков [11].

В качестве одного из примеров подобной системы можно привести ЭЦППО СХ «Biogas Wipptal» в Южном Терроле (Италия) вблизи населенного пункта Випитено, где реализован один из наиболее современных в Европе проектов по глубокой переработке навоза крупного скота (рис. 2).

Проект реализован в виде перерабатывающего предприятия Biogas Wipptal. Уникальность функционирующего предприятия заключается в том, что, наряду с уже известной технологией анаэробного сбраживания, реализована технология глубокой очистки жидкой фракции эффлюента (жидкого органического удобрения, получаемого при метановом сбраживании).

Анализ технологий утилизации органических отходов животноводства

Analysis of technologies for utilization of organic animal waste

Технологии утилизации <i>Recycling technology</i>	Достоинства <i>Advantages</i>	Недостатки <i>Disadvantages</i>	Экономические показатели / <i>Economic performance</i>		
			Удельные капитальные затраты из расчёта годового объёма навоза, помёта, руб/т <i>Specific capital costs based on the annual output of manure and litter, rub/t</i>	Удельные эксплуатационные затраты на конечный продукт, руб/т <i>Specific operating costs of the final product, rub/t</i>	Удельные эксплуатационные затраты из расчёта годового объёма навоза, помёта, руб/т <i>Specific operating costs based on the annual output of manure and litter, rub/t</i>
1	2	3	4	5	6
Базовые технологии (разделение на фракции, компостирование, длительное хранение с последующим внесением) <i>Basic technologies (fractionation, composting, long-term storage with subsequent application)</i>	Относительно низкие капитальные и эксплуатационные затраты. Простота технологии и используемых технических средств, оборудования <i>Relatively low capital and operating costs. Simplicity of technology and used technical means and equipment</i>	Низкое и нестабильное качество конечного продукта (органического удобрения). Большие объёмы конечного продукта, ограниченность его использования <i>Low and unstable quality of the final product (organic fertilizer). Large amount of the final product, its limited use</i>	1600...3000	(учтена утилизация) <i>(recycling taken into account)</i> 300...500	300...500
Сушка и грануляция <i>Drying and granulation</i>	Снижение объёма (концентрация) и высокое качество конечного продукта. Технологичность транспортировки и хранения конечного продукта. Технологичность использования конечного продукта <i>Optimized volume (due to concentration) and high quality of the final product. Technologically efficient transportation and storage of the final product. Technologically efficient use of the final product</i>	Высокие эксплуатационные затраты (энергетические). Необходимость в складах для хранения готовой продукции <i>High operating costs (energy). Need in warehouses to store finished products</i>	7600...12600	7000...10000	2600...3500
Биоферментация в установках закрытого типа <i>Biofermentation in closed-type processing units</i>	Высокое качество конечного продукта. Максимальное сохранение полезных свойств органических удобрений. Усиление полезных микробиологических свойств конечного продукта <i>High-quality final product. Maximum preservation of the beneficial properties of organic fertilizers. Enhancing the beneficial microbiological properties of the final product</i>	Высокие эксплуатационные затраты. Сохранение исходного объёма удобрений, ограниченность его использования <i>High operating costs. Preservation of the initial volume of fertilizers, its limited use</i>	2000...3500	400...600	750...900

1	2	3	4	5	6
Анаэробное сбраживание <i>Anaerobic digestion</i>	Получение вторичных ресурсов биогаз, тепловая и электрическая энергия. Удовлетворительное качество органических удобрений <i>Obtaining secondary energy sources – biogas, thermal and electric energy. Satisfactory quality of organic fertilizers</i>	Высокие эксплуатационные затраты. Сохранение или увеличение исходного объёма удобрений, ограниченность его использования. Высокие требования к соблюдению технологических параметров процесса <i>High operating costs. Preservation or increase of the initial amount of fertilizers, its limited use. High requirements for compliance with process parameters</i>	9500...10000	1000...1500	1000...1500
Пиролиз, генерация газа, сжигание <i>Pyrolysis, gas generation, combustion</i>	Снижение количества отходов на 80...85%. Получение вторичных ресурсов: генераторный газ, тепловая и электрическая энергия. Получение вторичных продуктов в виде минерального остатка <i>Reducing the waste amount by 80...85%. Obtaining secondary energy sources: generator gas, thermal and electric energy. Obtaining secondary products in the form of a mineral residue</i>	Уничтожение ценного органического ресурса. Высокие эксплуатационные затраты. Высокие требования к соблюдению технологических параметров процесса. Высокие требования к очистке выбросов в атмосферу <i>Destruction of a valuable organic resource. High operating costs. High requirements for compliance with process parameters. High requirements for cleaning emissions</i>	8500...14000	Конечный продукт (зола) <i>Final product (ash)</i>	2500...4000
Глубокая очистка жидких фракций <i>Deep purification of liquid fractions</i>	Снижение количества отходов на 40...60%. Получение очищенной воды 40...60% <i>Reducing the waste amount by 40...60%. Obtaining purified water 40...60%</i>	Высокие эксплуатационные затраты. Высокие требования к соблюдению технологических параметров процесса. Высокие требования к очищенной воде <i>High operating costs. High requirements for compliance with process parameters. High requirements for purified water</i>	2000...2500	Конечный продукт (концентрированное удобрение) <i>Final product (concentrated fertilizer)</i>	500...800

Основными предпосылками строительства Biogas Wipptal являлось то, что в Южном Тироле много сельхозпредприятий по выращиванию КРС. Учитывая горный рельеф местности и строгие требования по обращению с навозом, существующие сельхозпредприятия не имеют возможности увеличивать поголовье животных, более того в районах с особыми экологическими требованиями они были вынуждены даже сокращать поголовье. Именно для решения этих проблем было построено предприятие

Biogas Wipptal, принимающее на переработку навоз КРС от более чем 70 сельхозпредприятий с общим количеством около 70000 тонн навоза в год. На рисунке 3 представлена блок-схема основных технологических этапов, реализованных на предприятии Biogas Wipptal.

Согласно представленной схеме предприятие принимает ежегодно около 70000 навоза КРС (190 т/сут), из которого около 30% твёрдого навоза с влажностью 80...85% и 70% жидкого навоза с влажностью 90...93%. Поступивший

навоз смешивается и поступает в биореактор на анаэробное сбраживание. В результате анаэробного сбраживания происходит выделение биогаза, который проходит

подготовку и направляется на газогенераторные установки, с помощью которых вырабатывается около 1 МВт·ч электроэнергии и 1 МВт·ч тепловой энергии.

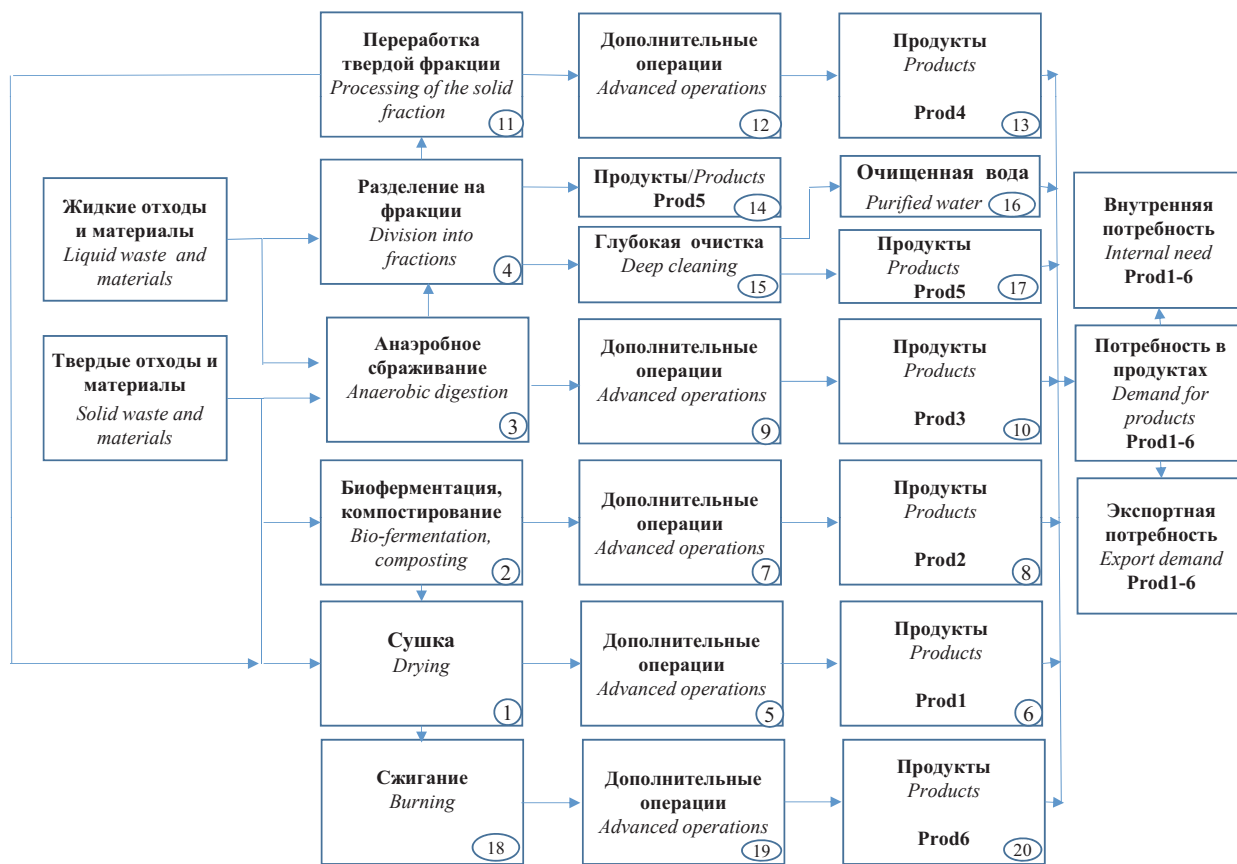


Рис. 1. Вариант концептуальной схемы построения ЭЦПО СХ

Fig. 1. Variant of the conceptual scheme for building the ecological centers for industrial processing of farm waste



Рис. 2. Перерабатывающее предприятие Biogas Wipptal в Южном Тироле (Италия)

Fig. 2. Biogas Wipptal Processing plant in South Tyrol (Italy)

Образовавшийся эффлюент (сброженная после биореактора масса) в равных долях поступает в хранилище готовых жидких органических удобрений и на стадию глубокой переработки. Первой стадией глубокой переработки является двухстадийное механическое разделение эффлюента на фракции с помощью винтового прессепаратора

с ячейкой 0,75 мм и центрифуги с ячейкой 350 мкм. В результате разделения на фракции образуется около 5000 т/год твёрдой фракции и около 28000 т/год жидкой фракции. Твёрдая фракция с влажностью 65...68% идёт на сушку и грануляцию, в результате чего производится около 2000 т/год гранулированных органических удобрений. Жидкая фракция с влажностью около 96...97% поступает на трёхстадийную очистку. На первой стадии жидкая фракция поступает на обработку в вертикальных мембранных виброфильтрах, в результате которой около 60% поступившей жидкой фракции переходит на вторую и третью стадию очистки, а около 40% выходит в виде жидкого органического удобрения. Вторая и третья стадии глубокой очистки представляют собой последовательную систему установок по обратному осмосу. Каждая установка включает пять спиральных мембран, изготовленных на органической основе. Рабочее давление второй стадии 200 бар, третьей – 80 бар. В результате трёхстадийной глубокой переработки жидкой фракции в количестве 28000 т/год образуется около 18000 т/год очищенной жидкости с показателями химического и биологического потребления кислорода (ХПК) и (БПК) около 0, Р – менее 1,0 и N – 5...10 мг/л и около 10000 т/год жидких органических удобрений с содержанием N – 300...350 мг/л. Характеристики очищенной жидкости дают возможность её дальнейшего технического

использования или сброса в открытые водоёмы. Получаемая в результате сжигания биогаза тепловая энергия

расходуется на сушку твёрдой фракции (около 85%) и подогрев биореакторов (около 15%).

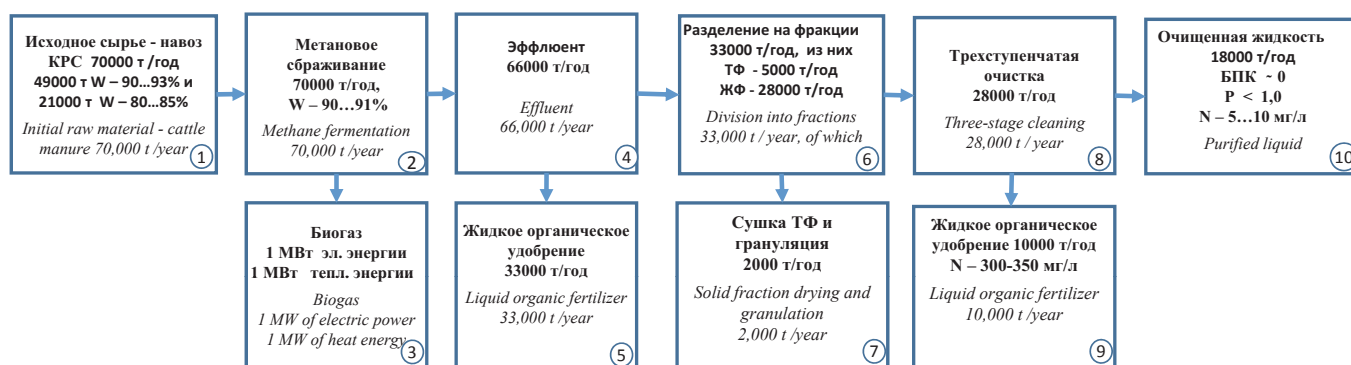


Рис. 3. Блок-схема основных технологических этапов Biogas Wipptal

Fig. 3. Flow diagram of the main technological stages at Biogas Wipptal

Часть получаемых органических удобрений возвращается сельхозпредприятиям для использования, а часть реализуется на внутреннем и внешних рынках.

Данный подход показал свою эффективность во многих аграрноразвитых странах, например, в Дании, где удельное поголовье только свиней составляет почти 4 головы на одного жителя страны.

Предварительная оценка на примере Ленинградской области показала, что создание ЭЦППО СХ позволит производить высококачественные органоминеральные удобрения экспортного сегмента на сумму не менее чем 1 млрд руб. в год.

Выводы

1. Создание экологических центров промышленной переработки органических отходов животноводства (ЭЦППО СХ) может ускорить решение проблем

эффективного и экологически безопасного развития интенсивного животноводства и птицеводства в части утилизации органических отходов.

2. Центры переработки навоза позволяют вовлечь в хозяйственный оборот дополнительные ресурсы в виде органического вещества и питательных элементов, биоэнергии и новых вторичных продуктов.

3. Формирование технических систем, оптимизированных по составу и производительности отдельных технологических блоков, обеспечит наиболее эффективное производство востребованных видов конечной продукции и энергетических ресурсов для заданных природно-климатических и производственных условий.

4. Получение новых видов органоминеральных удобрений позволит существенно расширить возможность их транспортировки и применения, а также создать востребованный на мировом рынке экспортный продукт.

Библиографический список

1. Попов В.Д., Максимов Д.А., Брюханов А.Ю. Экология сельхозпроизводства: проблемы и решения // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. N3. С. 43-48.
 2. Брюханов А.Ю. Обеспечение экологической безопасности животноводческих и птицеводческих предприятий (Наилучшие доступные технологии). СПб.: ИАЭП, 2017. 294 с.
 3. Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии и техника нового поколения для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // Техника и оборудование для села. 2017. N7. С. 2-6.
 4. Оболдина Г.А., Сечкова Н.А., Попов А.Н., Поздина Е.А. Методы оценки комплексного воздействия технологий при водопользовании // Водное хозяйство России. 2014. N2. С. 33-49.
 5. Ковалев Н.Г., Коровин Л.К., Малунов И.А., Новоскольцев А.В., Подольничук В.С., Юлдашев К.С. Концептуальный подход к изменению негативных последствий воздействия на окружающую среду // Региональная экология. 2015. N5. С. 50-54.

References

1. Popov V.D., Maksimov D.A., Bryukhanov A.Yu. Ekologiya sel'khozproduktstva: problemy i resheniya [Ecology of agricultural production: problems and solutions]. *Sel'skokhozyaystvenniye mashiny i tekhnologii*, 2016; 3: 43-48. (In Rus.)
 2. Bryukhanov A.Yu. Obespecheniye ekologicheskoy bezopasnosti zhivotnovodcheskikh i ptitsevodcheskikh predpriyatiy (Nailuchshiye dostupnyye tekhnologii) [Ensuring environmental safety of livestock and poultry enterprises (the best available technologies)]. SPb., IAEP, 2017: 294. (In Rus.)
 3. Izmaylov A.Yu., Shogenov Yu.Kh. Intensivnyye mashinnyye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya proizvodstva osnovnykh grupp sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Intensive machine technologies and equipment of a new generation for the production of main groups of farm produce]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*, 2017; 7: 2-6. (In Rus.)
 4. Oboldina G.A., Sechkova N.A., Popov A.N., Pozdina Ye.A. Metody otsenki kompleksnogo vozdeystviya tekhnologii pri vodopol'zovanii [Methods for assessing the complex impact of technologies in water use]. *Vodnoye khozyaystvo Rossii*, 2014; 2: 33-49. (In Rus.)
 5. Kovalev N.G., Korovin L.K., Malunov I.A., Novoskol'tsev A.V., Podolyanchuk V.S., Yuldashev K.S. Kontseptual'nyy

6. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // Вестник ВИЭСХ. 2018. №3. С. 94-100.

7. Измайлов А.Ю., Артюшин А.А., Евтюшенков Н.Е., Ерохин М.Н., Левшин А.Г., Дзотсенидзе Т.Д., Галкин С.Н. Развитие транспортной инфраструктуры АПК с учётом требований экологии земледелия // Техника в сельском хозяйстве. 2012. № 1. С. 19-21.

8. Тимофеев Е.В., Эрк А.Ф., Судаченко В.Н., Размук В.А. Оптимизация энергоснабжения сельскохозяйственных объектов методом математического моделирования структуры энергетических потоков // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 94. С. 48-55. DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10006

9. Брюханов А.Ю., Субботин И.А., Тимофеев Е.В., Эрк А.Ф. Экологоэнергетический показатель внедрения наилучших доступных технологий утилизации куриного помёта // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 12. С. 29-33. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-12-29-33

10. Тихомиров Д.А., Тихомиров А.В. Разработка экспертной программы выбора эффективной системы энергообеспечения сельхозобъектов // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 1 (30). С. 75-84.

11. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе // Техника и оборудование для села. 2019. №6 (264). С. 2-9. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8

podkhod k izmeneniyu negativnykh posledstviy vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu [Conceptual approach to changing the negative consequences of environmental impact]. *Regional'naya ekologiya*, 2015; 5: 50-54. (In Rus.)

6. Mazitov N.K., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: resheniya i perspektivy [Agricultural machinery: solutions and prospects]. *Vestnik VIESKH*, 2018; 3: 94-100. (In Rus.)

7. Izmaylov A.Yu., Artyushin A.A., Yevtyushenkov N.Ye., Yerokhin M.N., Levshin A.G., Dzotsenidze T.D., Galkin S.N. Razvitiye transportnoy infrastruktury APK s uchetom trebovaniy ekologii zemledeliya [Development of transport infrastructure of the farm sector with regard to the requirements of agricultural ecology]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*, 2012; 1: 19-21. (In Rus.)

8. Timofeyev Ye.V., Erk A.F., Sudachenko V.N., Razmuk V.A. Optimizatsiya energosnabzheniya sel'skokhozyaystvennykh ob'yektov metodom matematicheskogo modelirovaniya struktury energeticheskikh potokov [Optimization of power supply of agricultural facilities with mathematical modeling of the structure of energy flows]. *Tekhnologii i tekhnicheskkiye sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva*, 2018; 94: 48-55. DOI: 10.24411 / 0131-5226-2018-10006 (In Rus.)

9. Bryukhanov A.Yu., Subbotin I.A., Timofeyev Ye.V., Erk A.F. Ekologo-energeticheskiy pokazatel' ispol'zovaniya nailuchshikh tekhnologiy utilizatsii kurinogo pometa [Ecological-and-energetic indicator of implementation of the best available technologies for utilization of chicken litter]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2019; 23; 12: 29-33. DOI: 10.18412 / 1816-0395-2019-12-29-33. (In Rus.)

10. Tikhomirov D.A., Tikhomirov A.V. Razrabotka ekspertnoy programmy vybora effektivnoy sistemy energoobespecheniya sel'khozob'yektov [Development of an expert program for selecting an effective energy supply system for agricultural facilities]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*, 2019; 1 (30): 75-84. (In Rus.)

11. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Razvitiye intensivnykh mashinnykh tekhnologiy, robotizirovannoy tekhniki, effektivnogo energoobespecheniya i tsifrovyykh sistem v agropromyshlennom komplekse [Development of intensive machine technologies, robotic equipment, effective energy supply and digital systems in the agricultural sector]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*, 2019; 6 (264): 2-9. DOI: 10.33267 / 2072-9642-2019-6-2-8. (In Rus.)

Критерии авторства

Попов В.Д., Ерохин М.Н., Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Шалавина Е.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Попов В.Д., Ерохин М.Н., Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Шалавина Е.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 25.04.2020

Опубликована 29.06.2020

Contribution

V.D. Popov, M.N. Yerokhin, A. Yu. Bryukhanov, E.V. Vasiliev, Ye.V. Shalavina performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. V.D. Popov, M.N. Yerokhin, A. Yu. Bryukhanov, E.V. Vasiliev, Ye.V. Shalavina have equal author's rights and bearequal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on April 25, 2020

Published 29.06.2020