ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-41

ENERGY EFFICIENCY OF TECHNOLOGIES AND TECHNICAL EQUIPMENT DURING THE PROCESSING OF ORGANIC LIVESTOCK WASTE

E. V. Timofeev, A. F. Erk

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center of All-Russian Institute of Mechanization», the branch of «Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production», Saint Petersburg, Russia

Received 30.06.2020

Submitted 15.08.2020

Abstract

Introduction. One of the criteria for the efficiency of technologies for the production of cattle meat, milk, pork and poultry is energy indicators. Therefore, the decline in these indicators is of increasing interest. With the intensification of the production of cattle meat, milk, pork and poultry, both the consumption of energy resources and production waste are growing. Recycling of organic waste is also an integral part of the production of livestock and poultry products. Reducing the energy intensity of these processes is an urgent task for agricultural production. The purpose of this work is to conduct an energy assessment of technologies and technical means for processing organic animal waste. **Materials and methods.** Energy assessment of technologies and technical means was carried out using the energy efficiency coefficient K_{EF} . **Results.** As a result, an assessment of the energy efficiency of technologies used in the processing of organic waste of cattle, pigs and poultry was carried out. Identified as the best: for cattle and pig breeding - fractionation and composting technology; for poultry - the technology of tunnel drying and granulation of manure. **Discussion and conclusion.** The research results are significant for the development of technical standards in the framework of the transition to a system of environmental impact regulation based on the system of best available technologies in intensive agricultural production.

Key words: energy supply, energy efficiency, energy intensity, energy and environmental compatibility.

Citation. Timofeev E.V., Erk A.F. Energy efficiency of technologies and technical equipment during the processing of organic livestock waste. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 3(59). 388-394 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-41.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.531.17-52:633(470.31)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

Е. В. Тимофеев, кандидат технических наук

А. Ф. Эрк, кандидат технических наук

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», филиал «Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства», г. Санкт-Петербург, Россия

Дата поступления в редакцию 30.06.2020

Дата принятия к печати 15.08.2020

Актуальность. Одним из критериев эффективности технологий производства мяса крупного рогатого скота, молока, свинины и птицы являются энергетические показатели. Поэтому снижение этих показателей вызывает все больший интерес. При интенсификации произ-

водства мяса крупного рогатого скота, молока, свинины и птицы растет как потребление энергетических ресурсов, так и отходов производства. Переработка органических отходов также является неотъемлемой частью производства продукции животноводства и птицеводства. Снижение энергоемкости данных процессов является актуальной задачей для сельскохозяйственного производства. Цель данной работы – провести энергетическую оценку технологий и технических средств при переработке органических отходов животноводства. **Материалы и методы.** Энергетическую оценку технологий и технических средств проводили с помощью коэффициента энергоэффективности $K_{эф}$. **Результаты.** В результате проведена оценка энергоэффективности технологий, применяемых при переработке органических отходов крупного рогатого скота, свиней и птицы. Определены как наилучшие: для КРС и свиноводства – технология фракционирования и компостирования; для птицеводства – технология туннельной сушки и гранулирования помета. **Обсуждение и заключение.** Результаты исследований имеют значимость для разработки технических нормативов в рамках перехода к системе регулирования воздействия на окружающую среду на основе системы наилучших доступных технологий в интенсивном сельскохозяйственном производстве.

Ключевые слова: органические отходы животноводства, переработка отходов животноводства, технологии переработки отходов животноводства.

Цитирование. Тимофеев Е. В., Эрк А. Ф. (2020). Энергоэффективность технологий и технических средств при переработке органических отходов животноводства. *Известия НВ АУК*. 2020. 3(59). 388-394. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-41.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Решение вопросов энергетической оценки технологий и технических средств при производстве мяса крупного рогатого скота, молока, свинины и птицы является актуальным. Анализ эффективности технологических процессов и технических средств, в том числе и электрооборудования, в сельскохозяйственном производстве традиционно проводят по экономическим факторам. Однако все больший интерес приобретает экологическая оценка [4]. Чистота окружающей среды связана с уменьшением количества выбросов загрязняющих веществ, которые зависят не только от подбора источника генерации энергии, но и уменьшения её потребления, т.е. при наименьшем значении критерия оценки технологий потребления энергоресурсов [2]. Энергоэффективность оборудования в системах энергопотребления является основным фактором оценки по экологическим и экономическим критериям.

Исследованиям в области снижения энергоемкости при производстве сельскохозяйственной продукции широко занимаются ученые в России [1, 5] и за рубежом [8, 9]. Энергетическая оценка проводится при проектировании и сравнительном анализе существующих технологий с целью выявления наиболее привлекательных по наименьшему значению энергоемкости производства [3, 6]. Чистота окружающей среды связана с уменьшением количества выбросов загрязняющих веществ, которые зависят не только от подбора источника генерации энергии, но и от снижения её потребления [7]. Цель работы – провести энергетическую оценку технологий и технических средств при переработке органических отходов животноводства.

Материалы и методы. Исследования проведены по результатам энергетических обследований хозяйств Ленинградской области. Энергетическая оценка переработки органических отходов животноводства и птицеводства проведена с помощью коэффициента энергоэффективности $K_{эф}$.

Коэффициент $K_{эф}$ позволяет оценить энергетическую эффективность технологий и

технических средств. Он определяется отношением суммы потребленных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) к объему производства:

$$K_{эф} = \frac{\sum S \cdot K_{исп} \cdot K_{эл} + \sum Q \cdot K_{испт} \cdot K_t + \sum P_{топл} \cdot K_{испмт}}{V}, \quad (1)$$

где S – величина потребления электрической энергии, кВт·ч; $K_{исп}$ – коэффициент годового использования оборудования, ч; $K_{эл}$ – коэффициент перевода кВт·ч в т.у.т.; Q – величина потребления тепловой энергии, ккал; $K_{испт}$ – коэффициент перевода ккал в т.у.т.; K_t – коэффициент годового использования теплового оборудования; $P_{топл}$ – величина потребления моторного топлива, т; $K_{испмт}$ – коэффициент перевода тонны в т.у.т.; V – объем выпускаемой продукции, т.

Энергетическая оценка произведена для основных технологий животноводства и птицеводства, отраженных как наилучшие в справочниках НДТ. Структурная схема рассматриваемых технологий представлена на рисунке 1. Для удобства представления данных названия технологий структурированы и пронумерованы.

Рисунок 1 – Структурная схема технологий переработки органических отходов животноводства и птицеводства

Figure 1 – Block diagram of technologies for processing the livestock and poultry organic waste

Результаты и обсуждение. По результатам энергетической оценки различных технологий обработки органических отходов на фермах КРС, свиней и птицы получены коэффициенты энергоэкологичности (рисунки 2, 3, 4).

На рисунке 2 представлены результаты оценки технологий переработки органиче-

ских отходов при выращивании КРС – хозяйство на 1000 голов, выход навоза 25600 т/год, радиус транспортировки – 10 км. В технологии 1-1 использована следующая техника: для транспортировки в хранилище - Насос PTS-5,5 с мешалкой ТВМ, для транспортировки и внесения на поле – трактор МТЗ-2022 с прицепом МЖУ-16. В технологии 1-2 использована следующая техника: Насос PTS-5,5, мешалка ТВМ, Трактор МТЗ 2022 с прицепом МЖУ-16, Сепаратор FAN PSS-800, погрузчик Амкадор 342, для внесения ТОУ трактор МТЗ-1523 с прицепом МТТ-9. В технологии 1-3 использована следующая техника: Насос PTS-5,5 и мешалка ТВМ, Трактор МТЗ 2022 с прицепом МЖУ, Сепаратор FAN PSS-800, погрузчик Амкадор 342, биоферментатор барабанного типа (ИАЭП), трактор МТЗ 2022 с прицепом МЖУ, трактор МТЗ-1523 с прицепом МТТ-9. В технологии 1-4 использована следующая техника: трактор МТЗ-82,1 с прицепом ПТС-6, погрузчик Амкадор 342, для транспортировки на поле Камаз – 6520, для внесения – трактор МТЗ 1523 с прицепом МТТ-9.

Рисунок 2 – Результаты энергетической оценки технологий переработки навоза КРС

Figure 2 – Results of the energy assessment of cattle manure processing technologies

На рисунке 3 представлены результаты оценки технологий переработки свиного навоза в хозяйстве на 16 500 голов с выходом навоза 54 150 т/год и радиусом транспортировки 30 км.

Рисунок 3 – Результаты энергетической оценки технологий переработки свиного навоза

Figure 3 – Results of the energy assessment of pig slurry processing technologies

На рисунке 4 представлены результаты оценки технологий переработки куриного помета на птицефабрике на 1 млн голов с выходом помета 45 625 т/год и радиусом транспортировки 50 км.

Рисунок 4 – Результаты энергетической оценки технологий переработки куриного помета

Figure 4 – Results of the energy assessment of poultry manure processing technologies

По результатам оценки установлено, что утилизация птичьего помета на основе технологии туннельной сушки и гранулирования наиболее привлекательна как по энергетическим, так и по экологическим показателям среди высокотехнологичных производств. Среди традиционных технологий по энерго-экологическим критериям преимущество имеет технология 3-1 – длительное выдерживание и внесение твердого органического удобрения. В экономическом выражении экономия средств при внедрении технологии туннельной сушки и гранулирования составит 38 млн руб./год по сравнению с остальными рассмотренными технологиями.

Выводы. Снижение негативного воздействия на чистоту окружающей среды зависит от количества выбросов загрязняющих веществ не только от источника генерации энергии, но и от энергоемкости процессов энергопотребления.

На примере оценки технологий утилизации птичьего помета объемом 45 625 т/год на основе комплексного коэффициента определена как наилучшая технология туннельной сушки и гранулирования, для которой затраты на переработку меньше на 38 млн руб./год по сравнению с остальными.

На примере оценки технологий переработки органических отходов свиноводства объемом 54 150 т/год определена наилучшая технология: разделение навоза на фракции, переработка методом пассивного компостирования твердой фракции, очистка жидкой фракции в биологических прудах.

На примере оценки технологий переработки органических отходов КРС объемом 25 600 т/год определена как наилучшая технология разделения на фракции с последующей переработкой твердой фракции методом компостирования и длительным выдерживанием жидкой фракции, и внесением жидкого и твердого органических удобрений.

Результаты исследования могут быть использованы в различных отраслях сельскохозяйственного производства. Выбор оптимальных технологических процессов и состава

машин в агросекторе позволит получать дополнительный экономический эффект от снижения затрат на топливно-энергетические ресурсы и обеспечит охрану окружающей среды.

Библиографический список

1. Методы повышения эффективности использования электрической энергии в животноводстве / А. Ф. Эрк, В. Н. Судаченко, Е. В. Тимофеев, В. А. Размук // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 89. С. 23-32. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27338191>.
2. Оптимизация схем энергоснабжения современных сельскохозяйственных предприятий / Е. В. Тимофеев, А. Ф. Эрк, В. Н. Судаченко, В. А. Размук // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 1 (94). С. 63-71. DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10008.
3. Ракутько С. А., Иванникова Н. Ю., Хомутова К. И. Процессный подход системного обеспечения энергосбережения потребителя в схемах электроснабжения предприятий // Международный технико-экономический журнал. 2019. № 2. С. 54-60. DOI: 10.34286/195-4646-2019-65-2-54-60.
4. Ракутько С. А., Ракутько Е. Н. Моделирование и численный анализ энергоэкологичности светокультуры // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. Т. 13. № 3. С. 11-17. DOI: 10.22314/20737599-2019-13-3-11-17.
5. Тихомиров Д. А., Тихомиров А. В. Распределенные системы энергоснабжения АПК // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 3 (36). С. 3-10. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41192521>.
6. Air quality, primary air pollutants and ambient concentrations inventory for Romania / G. Nastase, A. Serban, A. Nastase, G. Dragomir, A. Brezeanu // Atmospheric Environment. 2018. Vol. 184. P. 292-303. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.04.034.
7. Environmental assessment of livestock farms in the context of bat system introduction in Russia / A. Yu. Bryukhanov, E. V. Vasilev, N. P. Kozlova, E. V. Shalavina, I. A. Subbotin, S. M. Lukin // Journal of Environmental Management. 2019. V. 246. P. 283-288. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.05.105.
8. Malladi K. T., Sowlati T. Biomass logistics: A review of important features, optimization modeling and the new trends // Renewable & Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 94. P. 587-599. DOI: 10.1016/j.rser.2018.06.052.
9. Xu J. Z., Assenova A., Erokhin V. Renewable Energy and Sustainable Development in a Resource-Abundant Country: Challenges of Wind Power Generation in Kazakhstan // Sustainability. 2018. Vol. 10. DOI: 10.3390/su10093315.

Conclusions. Reducing the negative impact on the cleanliness of the environment depends on the amount of pollutant emissions, not only on the source of energy generation, but also on the energy intensity of energy consumption processes. Based on the assessment of technologies for the utilization of poultry manure with a volume of 45625 t/year, based on a complex coefficient, it is determined as the best technology for tunnel drying and granulation, for which the processing costs are lower by 38 million rubles/year compared to the rest. On the example of evaluating technologies for processing organic waste from pig breeding with a volume of 54150 t / year, the best technology was determined: separation of manure into fractions, processing by passive composting of the solid fraction, purification of the liquid fraction in biological ponds. On the example of evaluating the technologies for processing organic waste of cattle with a volume of 25600 t / year, it was determined as the best technology for separating into fractions with subsequent processing of the solid fraction by composting and long-term holding of the liquid fraction and the introduction of liquid and solid organic fertilizers. The results of the research can be used in various branches of agricultural production. The choice of optimal technological processes and the composition of machines in the agricultural sector will allow obtaining an additional economic effect from reducing the cost of fuel and energy resources and ensuring environmental protection.

References

1. Methods to increase the efficiency of electric power use in livestock farming / A. F. Erk, V.

N. Sudachenko, E. V. Timofeev, V. A. Razmuk // Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production. 2016. V. 89. P. 23-32. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27338191>.

2. Optimization of power supply schemes of modern agricultural enterprises / E. V. Timofeev, A. F. Erk, V. N. Sudachenko, V. A. Razmuk // Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production. 2018. No.1 (94). P. 63-71. DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10008 (In Russ.).

3. Rakutko S. A., Ivannikova N. Yu., Khomutova K. I. Process approach of system ensuring of energy saving of the consumer in the power supply circuits of enterprises // The International Technical-Economic Journal. 2019. No. 2. P. 54-60. (In Russ.). DOI: 10.34286/195-4646-2019-65-2-54-60.

4. Rakutko S. A., Rakutko E. N. Simulation and numerical analysis of energy and ecological compatibility of indoor plant lighting // Agricultural Machinery and Technologies. 2019. No.13 (3). P. 11-17. DOI: 10.22314/20737599-2019-13-3-11-17 (In Russ.).

5. Tikhomirov D. A., Tikhomirov A. V. Distributed power systems for agriculture // Electrical engineering and electrical equipment in agriculture. 2019. No.3 (36). P. 3-10. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41192521>.

6. Air quality, primary air pollutants and ambient concentrations inventory for Romania / G. Nastase, A. Serban, A. Nastase, G. Dragomir, A. Brezeanu // Atmospheric Environment. 2018. Vol. 184. P. 292-303. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.04.034.

7. Environmental assessment of livestock farms in the context of bat system introduction in Russia / A. Yu. Bryukhanov, E. V. Vasilev, N. P. Kozlova, E. V. Shalavina, I. A. Subbotin, S. M. Lukin // Journal of Environmental Management. 2019. V. 246. P. 283-288. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.05.105.

8. Malladi K. T., Sowlati T. Biomass logistics: A review of important features, optimization modeling and the new trends // Renewable & Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 94. P. 587-599. DOI: 10.1016/j.rser.2018.06.052.

9. Xu J. Z., Assenova A., Erokhin V. Renewable Energy and Sustainable Development in a Resource-Abundant Country: Challenges of Wind Power Generation in Kazakhstan // Sustainability. 2018. Vol. 10. DOI: 10.3390/su10093315.

Authors Information

Timofeev Evgeniy Vsevolodovich, candidate of Sciences (Engineering), senior researcher of the laboratory of Ecological Aspects of Energy Supply of Agricultural Production, 196625 Russia, St. Petersburg, pos. Tyarlevo, Filtrovskoe shosse, 3 Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM” (IEEP – BRANCH OF FSAC VIM), ResearcherID: C-2502-2019, <https://orcid.org/0000-0002-9022-0183>, E-mail: demon_zht84@mail.ru

Erk Andrey Fedorovich, candidate of Sciences (Engineering), head of the laboratory of Ecological Aspects of Energy Supply of Agricultural Production, leading researcher, 196625 Russia, St. Petersburg, pos. Tyarlevo, Filtrovskoe shosse, 3 Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM” (IEEP – BRANCH OF FSAC VIM), Researcher ID: C-2518-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4394-4322>, E-mail: 4666866@bk.ru

Информация об авторах

Тимофеев Евгений Всеволодович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Экология в энергообеспечении сельскохозяйственного производства» Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (РФ, 196625, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш., д. 3), ResearcherID: C-2502-2019, <https://orcid.org/0000-0002-9022-0183>, E-mail: demon_zht84@mail.ru

Эрк Андрей Федорович, кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Экология в энергообеспечении сельскохозяйственного производства», ведущий научный сотрудник Института агроин-

******* ИЗВЕСТИЯ *******

**НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

№ 3 (59), 2020

женерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиала ФГБ-НУ ФНАЦ ВИМ (РФ, 196625, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш., д. 3), ResearcherID: C-2518-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4394-4322>. E-mail: 4666866@bk.ru