

ТЕХНОЛОГИИ, СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

DOI

УДК 664.769

ЭКСТРУДИРОВАНИЕ ВЫСОКОВЛАЖНЫХ ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Фролов Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

440039, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: surr@bk.ru

Курочкин Анатолий Алексеевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Пищевые производства», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

440039, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: anatolii_kuro@mail.ru

Потапов Максим Александрович, аспирант кафедры «Пищевые производства», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

440039, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: maksopotapov@mail.ru

Ключевые слова: помет, отходы, удобрение, экструзия, влажность.

Цель исследований – снижение влажности смеси высоковлажных отходов птицеводства до уровня, достаточного для качественного экструдирования в удобрение. Рассматривается проблема переработки отходов птицеводства с помощью экструзионной технологии. Птичий помёт – ценное сырьё для использования в качестве органического удобрения, т.к. содержит необходимые для питания растений элементы. Перед внесением в почву помёт требует переработки. Рабочий процесс одношнековых экструдеров ограничен влажностью обрабатываемого сырья (15...30 %). Высоковлажное сырьё плохо гомогенизируется и не обеспечивает достаточно развитую пористую структуру обрабатываемых ингредиентов на выходе из фильеры экструдера. Предложена перспективная конструктивно-технологическая схема экструдера для переработки влажной пометной массы, позволяющая путем смешивания ее с различными наполнителями и подсушивания данной смеси произвести экструзию с получением удобрения требуемого качества. Основная цель исследования состоит в снижении содержания жидкости в смеси высоковлажных отходов птицеводства с наполнителями до уровня, обеспечивающего получение качественного органического удобрения в виде экструдата. В качестве наполнителей выбраны компоненты подстилки или растительные отходы. Для обеспечения эффективного рабочего процесса экструдера в части его энергосберегающей составляющей влажность растительного наполнителя должна составлять 5...15 %. Достижение необходимого размера частиц наполнителя, обеспечивающего лучшее

влагопоглощение, осуществляется путем предварительного измельчения применяемого сырья. Разработка рецептуры удобрения для энергосберегающей технологии заключалась в подборе рационального соотношения смешиваемых компонентов. В результате оценки влажности компонентов смеси сделан вывод о том, что птичий помёт с подстилкой (ПП) наименее влажный и может обрабатываться с помощью предлагаемого экструдера без добавления наполнителя; помет птичий от молодняка (ПМ) и помет птичий от взрослой птицы (ПВ) подлежит экструзии при условии смешивания с растительными наполнителями в соотношении 1:1 и 1:2 соответственно.

MANURE EXTRUSION FROM HIGH-MOISTURE POULTRY WASTE

D. I. Frolov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Food Production», FSBEI HE Penza State Technological University.

440039, Penza, Baydukova travel/Gagarin street, 1A /11.

E-mail: surr@bk.ru

A. A. Kurochkin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Food Production», FSBEI HE Penza State Technological University.

440039, Penza, Baydukova travel/Gagarin street, 1A /11.

E-mail: anatolii_kuro@mail.ru

M. A. Potapov, Post-graduate student of the Department «Food Production», FSBEI HE Penza State Technological University.

440039, Penza, Baydukova travel/Gagarin street, 1A /11.

E-mail: makcpotapov@mail.ru

Keywords: manure, poultry waste, fertilizer, extrusion, moisture.

The purpose of the research is the reduction of high-moisture poultry waste to a condition effective for high-quality manure extrusion. The idea of extrusion technology use for poultry waste is considered. Bird dropping is effective raw material to be used as organic fertilizer, containing elements necessary for plant nutrition. Before entering the soil, the waste requires processing. The working ability of a single-screw extruder is limited by moisture of the processed raw materials (15...30%). High-moisture poultry waste is poorly homogenized and does not provide an effective porous structure of processed components at the exit from the extruder die. An effective design and technological scheme of an extruder for wet poultry waste processing is proposed, involving mixing it with various fillers and drying it for extrusion to obtain a manure of the required quality. The main goal of the study is the limitation of liquid content in high-moisture poultry waste with fillers to a condition that ensures the production of effective organic manure. The litter components or plant waste are selected as bulkier material. To ensure an effective work of the extruder in terms of its energy saving ability, the moisture content of the vegetative bulkier material should amount to 5...15%. Pre-grinding of bulkier material is to be provided for achieving the required particle size of the filler resulting in better moisture absorption. The development of the manure composition for energy saving technology was based on the selection of a effective ratio of the components to be mixed. As a result of the evaluation of the moisture content in mixture components, it was concluded that the bird dropping with litter is the least wet and can be processed using the proposed extruder without adding filler; bird dropping of young and adult birds are subject to extrusion, provided that they are mixed with vegetative bulkier material in the ratio of 1:1 and 1:2, respectively.

Развитие сельского хозяйства в России отразилось на птицеводстве как увеличением числа фермерских хозяйств, обеспечивающих личные потребности хозяйствующих субъектов, так и организацией крупных птицефабрик. При этом современная отрасль птицеводства характеризуется высокой концентрацией поголовья и значительными объемами отходов производства (птичий помет, отходы инкубации и убоя птицы, павшая птица и др.).

Анализируя процентное соотношение различных видов отходов от содержания птицы за год на примере одного фермерского хозяйства по разведению кур на 100-150 голов, можно убедиться, что наиболее высокий удельный вес – 98,45% принадлежит помету. Другие отходы распределяются следующим образом: отходы инкубации – 0,64%, павшая птица – 0,1%, отходы убоя птицы – 0,71%, отходы пера и пуха – 0,1%. Следует отметить, что процентное соотношение отходов находится в прямой зависимости от поголовья.

Помёт делят на два типа – свежий и перепревший. Свежий помет занимает примерно 73% от общего количества.

Федеральным классификационным каталогом отходов России (ФККО) свежий птичий помет (куриный, утиный, гусиный и пр.) отнесен к III классу опасности. За размещение и хранение таких отходов на основании постановления правительства Российской Федерации с 1 января 2017 года сельскохозяйственные производители должны платить. В то же время перепревший помёт относится к IV классу опасности и его хранение не требует дополнительных платежей.

Основываясь на вышесказанном, можно сделать вывод, что в настоящее время существует проблема переработки свежего птичьего помёта [1]. Большие объёмы выделяемого помёта обуславливаются его высокой влажностью (до 85%). Остальные отходы производства относятся к IV (перепревший помёт, отходы перьев и пуха) и V (отходы инкубации и убоя птицы) классам опасности, которые не обременены платежами за размещение. Их хранение и утилизация не требуют таких объемов складских помещений и сложностей с переработкой, как свежего помёта.

Птичий помёт содержит необходимые для питания растений элементы. Химический состав делает его ценным органическим сырьём для использования в качестве органического удобрения. Перед внесением в почву помёт требует переработки. Наиболее перспективным способом в настоящее время является переработка отходов птицеводства с помощью экструзии [2, 3]. Важными показателями, которые оказывают влияние на работоспособность экструдера, являются влажность и консистенция помёта [4]. Большинство моделей одношнековых экструдеров ограничены в возможностях переработки влажностью обрабатываемого сырья 15...30% [5, 6, 7]. Несоответствующая данному диапазону влажность первоначального сырья не обеспечивает изменение его характеристик и свойств [8]. Высоковлажное сырьё плохо гомогенизируется и происходит недостаточное образование пористой структуры на выходе из фильеры экструдера [9].

Основной задачей проводимых в настоящее время исследований является разработка технологии энергоэффективной переработки отходов птицеводства методом термовакуумной экструзии. Изучение влияния термовакуумной экструзии при переработке отходов птицеводства позволит исследовать степень воздействия на процесс обезвоживания отходов без применения высокой температуры. Для повышения энергоэффективности технологии переработки отходов предстоит решить задачу совершенствования конструктивно-технологической схемы агрегата, разработанного на основе термовакуумного экструдера. Схема такого агрегата, предназначенного для переработки отходов птицеводства с повышенным содержанием влаги, изображена на рисунке 1.

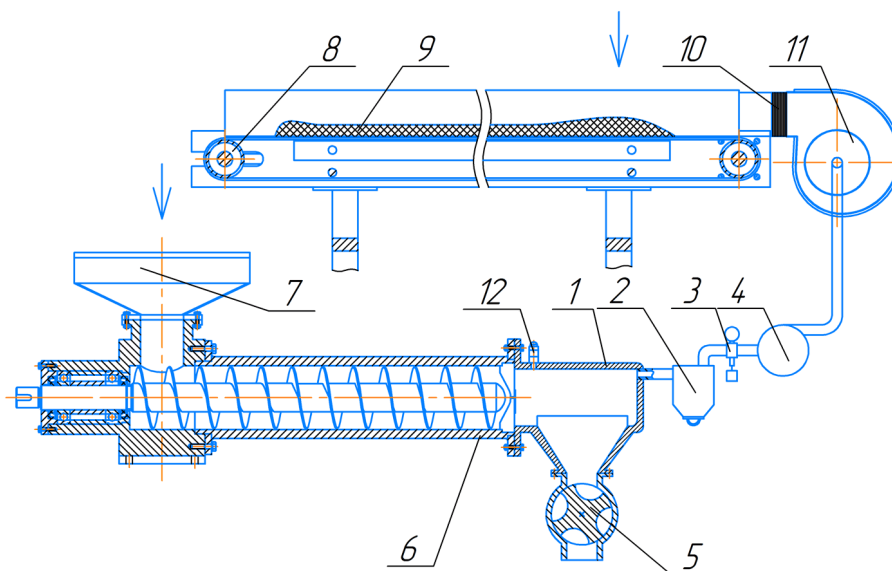


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема агрегата:

- 1 – воздушная камера экструдера; 2 – вакуум-баллон; 3 – вакуум-регулятор; 4 – вакуумный насос;
5 – шлюзовой затвор; 6 – экструдер; 7 – загрузочный бункер; 8 – сетчатый конвейер; 9 – смесь помета с наполнителем;
10 – регулируемый ТЭН; 11 – вентилятор; 12 – воздушный клапан

Агрегат включает экструдер 6 с загрузочным бункером 7, воздушную камеру 1, оснащенную шлюзовым затвором 5 и вакуумной системой, а также вентилятор 11, ТЭН 10 и сетчатый конвейер 8.

Особенностью рабочего процесса данного агрегата можно считать полезное использование образующегося в результате декомпрессионного взрыва горячего пара, который с помощью вентилятора 11 перемещается в зону сетчатого конвейера 8. В случае обработки сырья с повышенной влажностью (более 30%) включаются один, два или три воздушных ТЭНа. Такая схема установки ТЭНов позволяет дополнительно нагревать удаляемый из воздушной камеры горячий водяной пар, одновременно снижая его влагосодержание.

В том случае, если обработке подвергают помёт или навоз с влажностью 15...20%, они могут дополнительно увлажняться за счет влажного горячего водяного пара, поступающего из воздушной камеры экструдера при отключенных ТЭНах.

При этом кроме увеличения энергоэффективности процесса термовакуумной экструзии (в сравнении с применяемой до этого «классической» экструзией) будет решена проблема переработки сырья с повышенной влажностью. Масштабируемость технологии переработки отходов позволит применить ее для решения сходных задач не только на птицеводческих комплексах, но и на других животноводческих предприятиях. Комплексный подход по переработке отходов обеспечит быстрое переоснащение оборудования на требуемый тип выхода продукта – удобрение или корм для животных.

Цель исследований – снижение влажности смеси высоковлажных отходов птицеводства до уровня, достаточного для качественного экструдирования в удобрение.

Задача исследований – разработать рациональную по влажности смесь отходов птицеводства с растительными наполнителями.

Материал и методы исследований. Для переработки отходов и получения органического удобрения перерабатываемое сырьё измельчают с помощью дробилки до размеров частиц не более 10 мм с последующей обработкой в экструдере, оборудованном воздушной камерой с пневмоотсосом пара.

В качестве отходов птицеводства были взяты пробы трех видов птичьего помета: помет птичий с подстилкой (ПП); помет птичий от молодняка (ПМ); помет птичий от взрослой птицы (ПВ).

Для измерения начальной влажности помёта и растительных наполнителей было использовано следующее оборудование: влагомер термогравиметрический инфракрасный МА-45 С «Sartorius», весы лабораторные 4 класса точности МАССА ВК-300.1.

В качестве наполнителей для создания смеси были использованы: солома, зерновые отходы, опилки хвойные, опилки лиственные, опавшая листва, макулатура.

С каждым из видов помёта и растительными наполнителями было проведено три анализа при температуре 60, 70 и 90°С. Образец массой от 1,5 до 2,5 г помещали в алюминиевую ёмкость для отбора проб и при заданной температуре высушивали до отключения прибора.

Для уточнения рецептуры создаваемого удобрения, с целью достижения влажности перерабатываемой смеси 27...32%, количество используемого растительного наполнителя рассчитывали по формуле:

$$m_n = \left(\frac{f_p + f_n}{f_{sm}} - 1 \right) m_p, \quad (1)$$

где m_n – масса растительного наполнителя, кг;

f_p – влажность помёта, %;

f_n – влажность наполнителя, %;

f_{sm} – влажность перерабатываемой смеси, %;

m_p – масса помёта, кг.

Результаты исследований. Измерения влажности всех видов помета показали, что птичий с подстилкой помет (ПП) оказался наименее влажным. Результаты проведенных анализов представлены в таблице 1.

Влажность помета птичьего с подстилкой зависит от материала, из которого состоит подстилка. Если за основу взята измельченная солома, опилки или зерновые отходы, то влага обычно составляет 23...31%, при использовании торфа – 35...48%. Подстилочный помет превосходит помёт двух других групп по содержанию массовой доли органического вещества, а также азота, фосфора и калия из-за растительных компонентов, входящих в состав наполнителей.

Таблица 1

Массовая доля влаги в различных видах птичьего помета

Вид помёта	Влажность при температуре, %			Средняя влажность, %
	60°С	70°С	90°С	
Помет птичий с подстилкой (ПП)	28,1	28,4	28,3	28,3
Помет птичий от молодняка (ПМ)	47,9	48,1	48,7	48,2
Помет птичий от взрослой птицы (ПВ)	64,8	65,2	65,2	65,1

В качестве растительных наполнителей для разрабатываемой смеси взяты как компоненты, использованные в качестве подстилки (солома, опилки, зерновые отходы), так и различные отходы

(опавшая листва, макулатура). Для обеспечения эффективности рабочего процесса энергосберегающей технологии переработки отходов птицеводства влажность растительного наполнителя должна составлять 5...15%. Торф не использовали в качестве наполнителя, так как он сам по себе является хорошим удобрением.

Результаты измерения массовой доли влаги в наполнителях представлены в таблице 2.

Таблица 2

Массовая доля влаги в растительных наполнителях

Наполнитель	Влажность при температуре, %			Средняя влажность, %
	60°C	70°C	90°C	
Солома	7,2	7,3	7,4	7,3
Зерновые отходы	10,4	10,6	10,5	10,5
Опилки хвойные	10,4	10,3	10,5	10,4
Опилки лиственные	11,9	11,9	11,9	11,9
Опавшая листва	8,2	8,3	8,3	8,3
Макулатура	7,2	7,2	7,4	7,3

Процент влажности каждого из взятых образцов растительного наполнителя входит в необходимый диапазон 5...15%, что обеспечит достаточное влагопоглощение при смешивании с помётом. Достижение необходимого размера частиц наполнителя, обеспечивающего лучшее влагопоглощение, осуществляется его предварительным измельчением.

Разработка рецептуры удобрения для энергосберегающей технологии заключалась в подборе правильного соотношения перемешиваемых компонентов. Для достижения необходимого результата ПМ (усредненная влага 48,2%) был смешан со всеми растительными наполнителями в пропорции 1:1. С образцами каждой из получившихся смесей было проведено три анализа по определению влажности на влагомере при температурах 60, 70 и 90°C. Средние значения измерения массовой доли влаги в получившихся образцах представлены на рисунке 2.

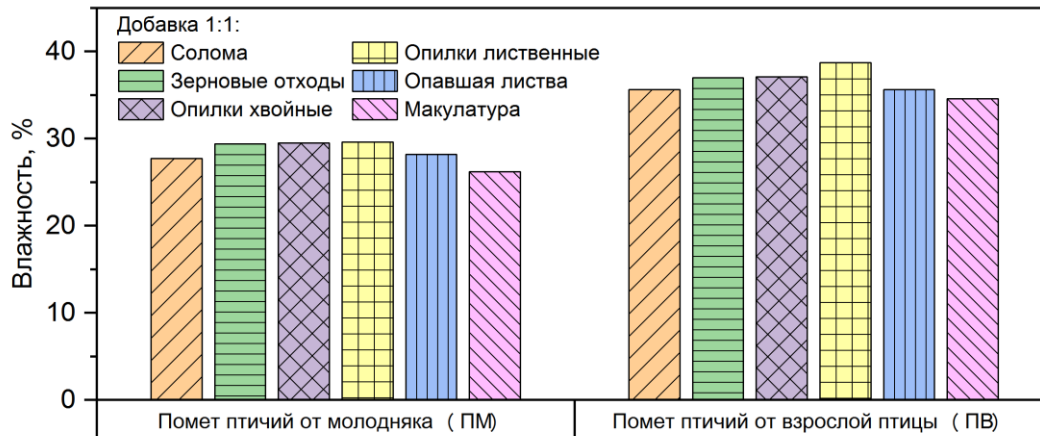


Рис. 2. Массовая доля влаги в смеси помета с растительными наполнителями при соотношении 1:1

По результатам анализов видно, что снижение влажности смеси возможно при смешивании ПМ и ПВ с растительными наполнителями в соотношении 1:1. Полученная влажность смеси отходов достаточна для обработки в экструдере. При этом оптимальная влажность смеси обеспечит необходимую влажность и текстуру готового продукта.

Результаты проведенных анализов по определению массовой доли влаги в смеси ПВ с растительными наполнителями в соотношение 1:2 представлены на рисунке 3.

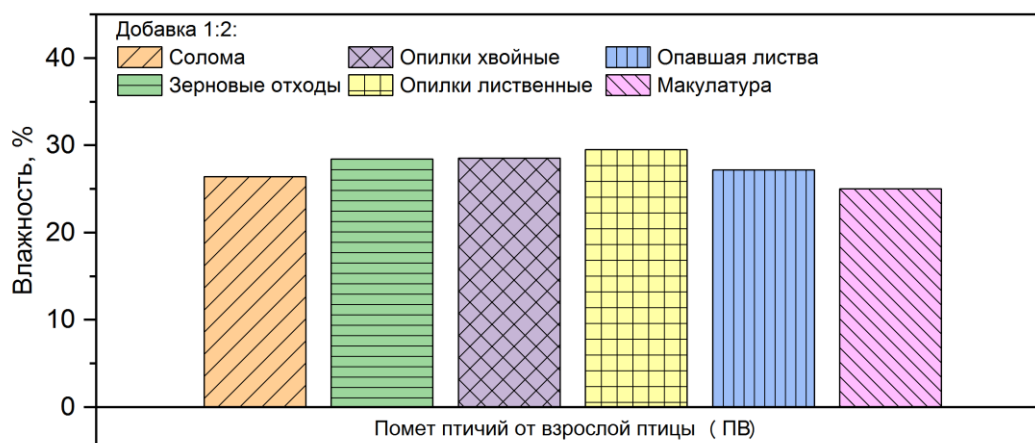


Рис. 3. Массовая доля влаги в смеси помет птичий от взрослой птицы с растительными наполнителями при их соотношении 1:2

По результатам анализов видно, что снижение влажности, при соотношении ПВ и растительного наполнителя 1:1, хоть и достаточно для обработки в экструдере, но не сможет обеспечить необходимую влажность готового продукта для его сохранности. Следовательно, для этого вида помёта следует увеличить количество растительного наполнителя до соотношения 1:2.

Заключение. Основным отходом птицеводства является помёт различных видов, который занимает долю почти в 98,5 % от общего количества отходов птицеводства и требует платы за хранение и особых условий утилизации. Наиболее перспективным способом в настоящее время является переработка отходов птицеводства с помощью экструзии. Важными показателями, которые оказывают влияние на работоспособность термовакуумного экструдера, являются влажность и консистенция помёта. Снижение влажности смеси высоковлажных отходов птицеводства до уровня, достаточного для качественного экструдирования сырья в удобрение возможно путем смешивания его с растительными наполнителями. В качестве наполнителей выбраны компоненты подстилки или растительные отходы.

Исследование влияния растительных наполнителей на сохранность готового продукта показало, что уменьшение влажности удобрения до 15% и меньше исключает развитие процессов гниения и разложения. Для создания качественных удобрений из отходов птицеводства с добавлением растительных наполнителей необходимо смешать помёт с наполнителями до достижения влажности смеси 28...33%. В результате измерений влажности компонентов смеси определено: птичий помёт с подстилкой (ПП) наименее влажный и может использоваться для переработки экструзией; помет птичий от молодняка (ПМ) и помет птичий от взрослой птицы (ПВ) может использоваться для переработки экструзией при смешивании с растительными наполнителями в соотношениях 1:1 и 1:2 соответственно.

Библиографический список

1. Руденко, Ю. С. Автоматизированная система переработки птичьего помета в удобрения / Ю. С. Руденко, В. Г. Рябцев // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3 (14). – С. 94-99.
2. Курочкин, А. А. Энергосберегающая технология переработки куриного помета в органическое удобрение / А. А. Курочкин // Инновационная техника и технология. – 2018. – № 3 (16). – С. 16-19.
3. Курочкин, А. А. Способ производства кормов из отходов животного и растительного происхождения с повышенной влажностью ингредиентов / А. А. Курочкин // Инновационная техника и технология. – 2019. – № 2 (19). – С. 21-25.
4. Potapov, M. A. Equalization of the moisture content of the mixture for obtaining fertilizers from high-moisture waste of poultry farming by extrusion / M. A. Potapov, A. A. Kurochkin, D. I. Frolov // Materials Science and Engineering : IOP Conference Series. – 2020. – Vol. 1001. – P. 012029.

5. Фролов, Д. И. Увеличение эффективности работы одношнекового экструдера / Д. И. Фролов, М. А. Потапов // *Инновационная техника и технология*. – 2020. – № 2 (23). – С. 42-47.
6. Sarghini, F. Experimental analysis and numerical simulation of pasta dough extrusion process / F. Sarghini, A. Romano, P. Masi // *Journal of Food Engineering*. – 2016. – Vol. 176. – P. 56-70.
7. Kong, X. Enhancing anaerobic digestion of high-pressure extruded food waste by inoculum optimization / X. Kong, S. Xu, J. Liu [et al.] // *Journal of Environmental Management*. – 2016. – Vol. 166. – P. 31-37.
8. da Silva, E. M. M. Quality assessment of gluten-free pasta prepared with a brown rice and corn meal blend via thermoplastic extrusion / E. M. M. da Silva, J. L. R. Ascheri, D. P. R. Ascheri // *LWT – Food Science and Technology*. – 2016. – Vol. 68. – P. 698-706.
9. Shahmohammadi, H. R. Optimization of puffed corn-fish snack extrusion conditions using response surface methodology / H. R. Shahmohammadi, B. Jamilah, A. R. Russly, M. A. Noranizan // *International Food Research Journal*. – 2016. – 23(4). – 1685-1693.

References

1. Rudenko, Yu. S., & Ryabtsev, V. G. (2020). Avtomatizirovannaya sistema pererabotki ptichyego pometa v udobreniya [Automated system for processing poultry waste into fertilizers]. *Vestnik Chuvashskoi gosudarstvennoi sel'skokozyaistvennoi akademii – Vestnik Chuvash State Agricultural Academy*, 3 (14), 94-99 [in Russian]. doi: org/10.17022/k6tq-3p47.
2. Kurochkin, A. A. (2018). Energoberegaiushchaya tekhnologiya pererabotki kurinogo pometa v organicheskoe udobrenie [Energy-Saving technology for processing chicken flour into organic fertilizer]. *Innovacionnaya tekhnika i tekhnologiya – Innovative machinery and technology*, 3 (16), 16-19 [in Russian].
3. Kurochkin, A. A. (2019). Sposob proizvodstva kormov iz otkhodov zhivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdeniya s povyshennoi vlazhnosti u ingredientov [Method of production of feed based on waste of animal and vegetable origin with increased moisture of ingredients]. *Innovacionnaya tekhnika i tekhnologiya – Innovative machinery and technology*, 2 (19), 21-25 [in Russian].
4. Potapov, M. A., Kurochkin, A. A., & Frolov, D. I. (2020). Equalization of the moisture content of the mixture for obtaining fertilizers from high-moisture waste of poultry farming by extrusion. *Materials Science and Engineering '20: IOP Conference Series*, 1001, 012029. doi: org/10.1088/1757-899X/1001/1/012029.
5. Frolov, D.I., & Potapov, M.A. (2020). Uvelichenie effektivnosti raboti odnoшнеkovogo ekstrudera [Increase the efficiency of the single screw extruder]. *Innovacionnaya tekhnika i tekhnologiya – Innovative machinery and technology*, 2 (23), 42-47 [in Russian].
6. Sarghini, F., Romano, A., & Masi, P. (2016). Experimental analysis and numerical simulation of pasta dough extrusion process. *Journal of Food Engineering*, 176, 56-70.
7. Kong, X., Xu, S., Liu, J., Li, H., Zhao, K., & He, L. (2016). Enhancing anaerobic digestion of high-pressure extruded food waste by inoculum optimization. *Journal of Environmental Management*, 166, 31-37. doi: org/10.1016/j.jenvman.2015.10.002.
8. da Silva, E. M. M., Ascheri, J. L. R., & Ascheri, D. P. R. (2016). Quality assessment of gluten-free pasta prepared with a brown rice and corn meal blend via thermoplastic extrusion. *LWT – Food Science and Technology*, 68, 698-706. doi: org/10.1016/j.lwt.2015.12.067
9. Shahmohammadi, H. R., Jamilah B., Russly, A. R. Noranizan M. A. (2016) Optimization of puffed corn-fish snack extrusion conditions using response surface methodology. *International Food Research Journal*, 23(4), 1685-1693.