

Научная статья

УДК 631.86

EDN TKWMWY

DOI: 10.22450/199996837_2022_3_81

Эколого-экономическая модель технологического процесса получения, переработки жидкого навоза и применения полученных удобрений

Александр Николаевич Головки¹, Анатолий Михайлович Бондаренко², Александр Викторович Хаценко³

^{1,2} Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, Ростовская область, Зерноград, Россия

³ Донской государственный технический университет
Ростовская область, Ростов-на-Дону, Россия

¹ alexnikgol@rambler.ru, ² bondanmih@rambler.ru, ³ khatsenko.aleksandr@yandex.ru

Аннотация. В условиях жёсткой конкуренции и действующих санкций продовольственная независимость России приобретает важное стратегическое значение. Основным поставщиком пищевого сырья для обеспечения нашей страны продовольствием является сельское хозяйство. В основные отрасли сельского хозяйства входят отрасли растениеводства, животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции. Каждая из отраслей сталкивается с проблемами, снижающими их конкурентоспособность в процессе производства. Отрасли сельского хозяйства взаимосвязаны между собой, поэтому объединение их в систему позволит проследить и оптимизировать связи между ними, и решить некоторые проблемные вопросы, в первую очередь, экологические и экономические. Целью исследования является обоснование процесса глубокой переработки навоза как элемента подсистемы производства сельскохозяйственной продукции в общей системе стратегического обеспечения экономической независимости страны. В работе использовались методы системного анализа и системного синтеза. Также, для создания модели, описывающей параметры и свойства изучаемого процесса, в работе был применён метод моделирования. Разработана модель технологического процесса получения, переработки жидкого навоза и использования полученных органических удобрений. Модель описывает связи между технологическими процессами выращивания сельскохозяйственных животных, переработки жидкого навоза и производства продукции растениеводства. При построении модели применены последние разработки в области очистки и обеззараживания всех видов навоза, позволяющие снизить экологический ущерб в результате использования в некоторых из них возобновляемых источников энергии и экологически обоснованных современных технологий. Использование предложенных технологий позволит повысить экономический эффект в процессе получения и применения органических удобрений. Разработанная модель позволяет оптимизировать прямые и обратные связи между технологическими процессами, уменьшить время отдельных операций и согласовать входные и выходные параметры предыдущих и последующих операций.

Ключевые слова: эколого-экономическая модель, технологический процесс, получение жидкого навоза, переработка жидкого навоза, внесение удобрений

Для цитирования: Головки А. Н., Бондаренко А. М., Хаценко А. В. Эколого-экономическая модель технологического процесса получения, переработки жидкого навоза и применения полученных удобрений // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Том 16. № 3. С. 81–88. doi: 10.22450/199996837_2022_3_81.

Original article

Ecological and economic model of the technological process for obtaining, processing liquid manure and applying the obtained fertilizers

Aleksandr N. Golovko¹, Anatoly M. Bondarenko²,
Aleksandr V. Hatsenko³

^{1,2} Azov-Black Sea Engineering Institute – Branch of Don State Agrarian University
Rostov Region, Zernograd, Russia

³ Don State Technical University, Rostov region, Rostov-on-Don, Russia

¹ alexnikgol@rambler.ru, ² bondanmih@rambler.ru, ³ khatsenko.aleksandr@yandex.ru

Abstract. In the face of fierce competition and current sanctions, Russia's food independence is becoming of great strategic importance. The main supplier of food raw materials to provide our country with food is agriculture. The main branches of agriculture include crop production, animal husbandry and processing of agricultural products. Each of the industries faces problems that reduce their competitiveness in the production process. The branches of agriculture are interconnected, so combining them into a system will allow you to trace and optimize the links between them, and solve some problematic issues, primarily environmental and economic. The purpose of the study is to substantiate the process of deep processing of manure as an element of the subsystem of agricultural production in the overall system of strategic economic independence of the country. The methods of system analysis and system synthesis were used in the work. Also, to create a model describing the parameters and properties of the process under study, the modeling method was used in the work. A model of the technological process of obtaining, processing liquid manure and using the obtained organic fertilizers has been developed. The model describes the links between the technological processes of growing farm animals, processing liquid manure and the production of crop production. When constructing the model, the latest developments in the field of cleaning and disinfection of all types of manure have been applied, allowing to reduce environmental damage as a result of the use of renewable energy sources and environmentally sound modern technologies in some of them. The use of the proposed technologies will increase the economic effect in the process of obtaining and applying organic fertilizers. The developed model makes it possible to optimize forward and backward connections between technological processes, reduce the time of individual operations and coordinate the input and output parameters of previous and subsequent operations.

Keywords: ecological and economic model, technological process, production of liquid manure, processing of liquid manure, fertilization

For citation: Golovko A. N., Bondarenko A. M., Hatsenko A. V. Ekologo-ekonomicheskaya model' tekhnologicheskogo processa polucheniya, pererabotki zhidkogo navoza i primeneniya poluchennyh udobrenij [Ecological and economic model of the technological process for obtaining, processing liquid manure and applying the obtained fertilizers]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin.* 2022; 16; 3: 81–88. (in Russ.). doi: 10.22450/199996837_2022_3_81.

Введение. В современных условиях жёсткой конкуренции и действующих санкций продовольственная независимость России приобретает важное стратегическое значение. Одним из базовых направлений обеспечения страны продовольствием, актуальным в современных условиях, является развитие животноводства. Основная продукция, поставляемая животноводческой отраслью, выступает

сырьём для прямых и смежных производств пищевого комплекса России [1, 2].

Целью исследования является обоснование процесса глубокой очистки навоза как элемента подсистемы производства сельскохозяйственной продукции в общей системе стратегического обеспечения экономической независимости страны.

Материалы и методы исследования. В работе применялись методы си-

стемного анализа и системного синтеза. Системный анализ позволяет показать процесс переработки навоза, как цепь отдельных операций, и определить параметры связей между ними, а системный синтез отражает, как отдельные операции по параметрам связей можно объединить в функциональные блоки.

В целом системный подход даёт возможность определить связи основных операций в процессе переработки навоза с другими смежными отраслями. Также для изучения объекта исследования был применён метод моделирования, позволяющий заменить реальный процесс более удобной для исследования моделью, сохраняющей все основные характеристики и свойства объекта исследования [3, 4, 5].

Результаты исследований. Для более подробного изучения процесса глубокой очистки навоза как элемента подсистемы производства сельскохозяйственной продукции в рамках настоящего исследования была разработана эколого-экономическая модель производства органических удобрений. При разработке эколого-экономической модели были приняты следующие ограничения:

1. Стабильность подачи жидкого навоза (выход жидкого навоза не должен превышать произведение суточного количества навоза от одного животного на количество голов плюс суточное количество технологических стоков).

2. Однородность жидкого навоза, поступающего на переработку за счёт его предварительной гомогенизации.

3. Блок «Переработка» – для первого варианта $V'_1 \leq V_1$, для второго варианта – $V_2 \geq V'_2 + V''_2$.

Выделены следующие факторы, влияющие на функционирование модели:

1. Блок «Переработка» – при использовании ВС (ветроротора Савониуса) скорость ветра больше или равна 4 м/с.

2. Блок УО (ускоренное обеззараживание) производится при температуре не ниже 65–70 °С градусов не менее 36–48 часов.

3. Блок МЮ (метод Юткина) – эффект обеззараживания происходит с помощью воздействия электрогидроударом при напряжении разряда не менее 10 кВ.

Технологический процесс получения навоза в ходе моделирования был представлен блоком I (рис. 1). Блок состоит из двух объектов – «животноводческая ферма» и «ЖН» (получаемый жидкий навоз).

Входным параметром является количество голов, содержащихся на ферме вида животных (N), от которого зависит суточный объём производимого навоза. Выходными параметрами блока выступают объём жидкого навоза (V , м³) и исходная влажность жидкого навоза на выходе из животноводческой фермы (W , %).

Процесс переработки жидкого навоза представлен блоком II. Он предусматривает три варианта осуществления технологического процесса по переработке. Первый вариант представлен подблоком «ПРН» – прифермское навозохранилище, в котором жидкий навоз накапливается для его дальнейшей переработки. Переработка навоза в прифермском навозохранилище обеспечивается двумя процессами, связи от которых показаны в этом блоке.

Первый процесс – естественное обеззараживание (подблок «ЕО»), с помощью которого происходит аэробное сбраживание жидкого навоза под воздействием бактерий, содержащихся в жидком навозе и кислорода, находящегося в воздухе. Однако, для более быстрого и равномерного обеззараживания естественным путём всех слоёв, содержащегося в хранилище навоза, требуется его перемешивание. Этот процесс представлен подблоком «ПМ».

Процесс перемешивания в данном варианте предлагается осуществлять с помощью плавучей платформы с перемешивающим устройством, приводимым в движение ветроротором Савониуса, использующим один из возобновляемых источников энергии – энергию ветра (патент № 2732478 С1 RU). Этот агрегат и метод представлены подблоком «ВС». Применение метода позволяет сделать процесс перемешивания более энергосберегающим и экологическим по сравнению со стандартно применяемым перемешивающим оборудованием, работающим от вала отбора мощности двигателя внутреннего сгорания или электропривода.

Дальнейший ход продукта описан в данном блоке подблоком «Пит» – по-

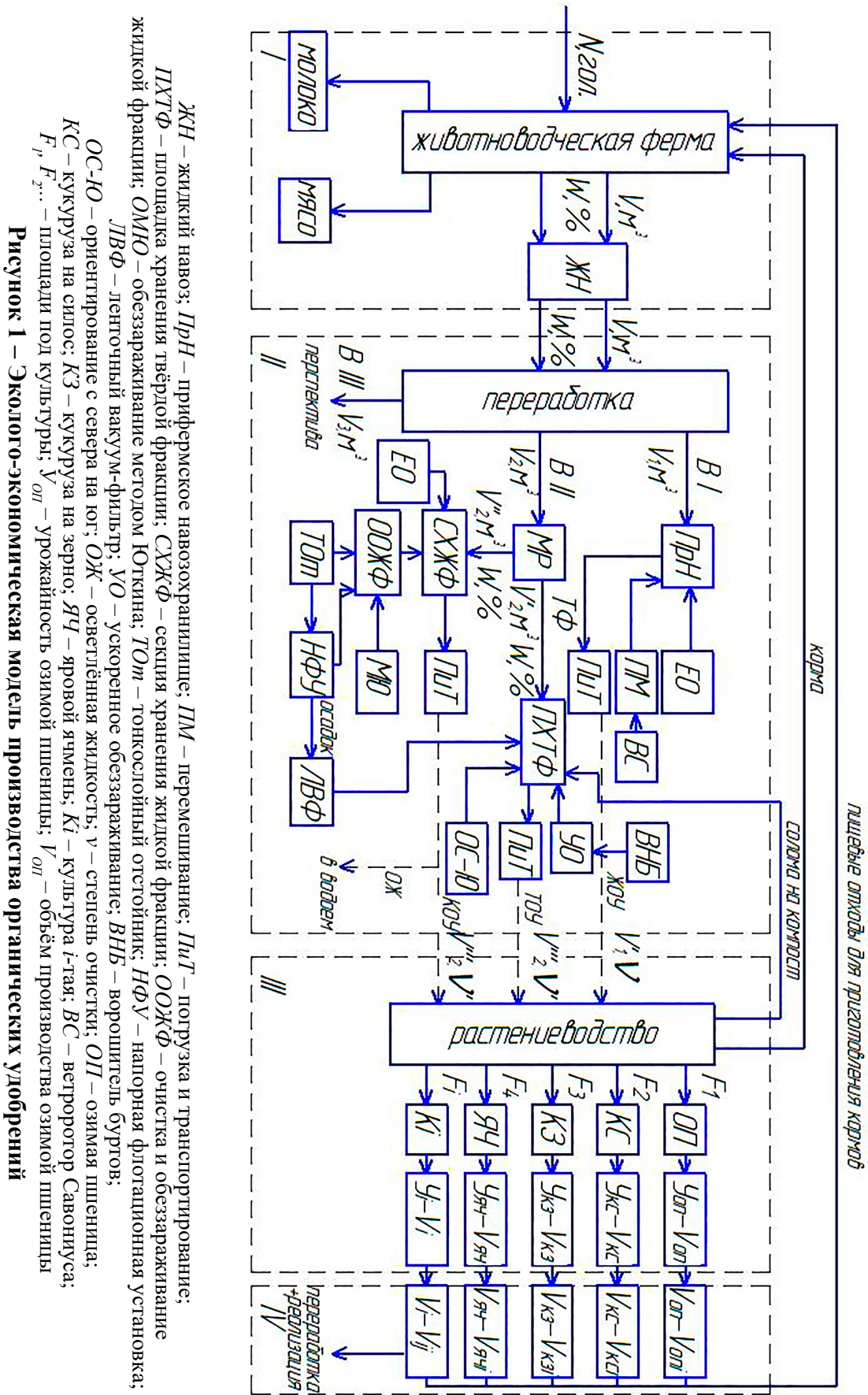


Рисунок 1 – Эколого-экономическая модель производства органических удобрений

грузка и транспортировка, с выходными параметрами получаемого продукта: выходным объёмом V'_1 и степенью очистки v'_1 . Подблок имеет связь с блоком III. Под степенью очистки в контексте данной публикации понимается получение жидкой фракции по своим физико-химическим показателям, соответствующей техническим условиям ТУ 20.15.80–001–04235088–2019 «Удобрения органические на основе термически обработанных хозяйственно-бытовых сточных вод».

Второй вариант переработки жидкого навоза представлен подблоком «МР» (механическое разделение). Далее ход технологического процесса представлен в этом блоке модели двумя направлениями, обусловленными видом получаемого продукта [1, 4, 6]. Твёрдая фракция навоза с входными параметрами объёма и влажности V'_2 и W'_2 переходит в подблок «ПХТФ» – площадка хранения твёрдой фракции, где происходит процесс ускоренного обеззараживания – подблок «УО».

Ускоренное обеззараживание обеспечивается периодическим перемешиванием предварительно сформированных навозных буртов с распылением добавок, ускоряющих этот процесс. Также периодически циклично производится контроль температуры и влажности в характерных точках сечения бурта.

Все эти операции обеспечиваются с помощью подблока «ВРБ» – ворошителя буртов, специально оборудованного системой распыления добавок и системой контроля, обработки и хранения данных температуры и влажности в характерных точках бурта (патент № 2658388 С1 RU).

За второй вариант ускоренного обеззараживания твёрдого навоза отвечает подблок «ОС-Ю», под которым в модели предусмотрено применение метода, позволяющего использовать источник возобновляемой энергии – энергии солнца (патент № 2706539 С1 RU). В данном способе ускоренное обеззараживание обеспечивается строгой ориентацией направления формирования навозного бурта на площадке для хранения твёрдой фракции с севера на юг, в результате которого проходящее по горизонту солнце равномерно прогревает бурт во время всего светового дня. Ускоренный нагрев бурта происходит

в результате предварительного покрытия поверхности бурта химически нейтральным, абсолютно чёрным веществом, которое позволяет полностью поглощать солнечное тепловое излучение.

После ускоренного обеззараживания продукт с выходными параметрами V'''_2 и v'''_2 с помощью подблока «ПиТ» переходит к блоку III для дальнейшего использования полученного продукта. Жидкая фракция продукта после механического разделения с выходными параметрами соответствующего технологии объёма V''_2 и влажности W''_2 поступает в подблок «СХЖФ» – секция хранения жидкой фракции, где осуществляется процесс очистки и обеззараживания жидкой фракции, описанный в этом блоке модели подблоком «ОЖФ».

Процесс очистки и обеззараживания обеспечивается в данном блоке модели двумя методами – механическим и электрофизическим. Механический метод очистки представлен подблоком «НФУ», обозначающим использование для отделения твёрдой взвеси с помощью пропускаемого через жидкую фракцию воздуха напорной флотационной установки. Осветлённая жидкость после напорной флотационной установки поступает в пруды отстойники для дальнейшего обеззараживания, а осадок подвергается отделению оставшейся влаги с помощью ленточного вакуум-фильтра, который в данном блоке модели представлен подблоком «ЛВФ». После отделения остаточной влаги твёрдый осадок поступает на площадку хранения твёрдой фракции (подблок «ПХТФ»), где происходит его дальнейшее обеззараживание.

Второй вариант, предусмотренный данным блоком модели, предполагает использование для отделения твёрдой взвеси тонкослойного отстойника, представленного подблоком ГОт, в котором происходит опускание и отделение взвеси под действием силы тяжести. Дальнейший ход продукта аналогичен предыдущему варианту: через напорную флотационную установку и ленточный вакуум-фильтр. Электрофизический метод обеззараживания жидкой фракции после механического разделения представлен подблоком «МЮ» и предполагает обеззараживание жидкой фракции с помощью электроги-

гидравлического удара, известного в научном мире как «эффект Юткина» (по названию открывшего его учёного) (патент № 2741813 С1 RU).

В предлагаемой для использования установке эффект обеззараживания обеспечивается созданием в жидкой фракции, помещённой в ограниченное пространство, кратковременного высоковольтного электрического разряда, вызывающего повышение давления в жидкости в несколько сотен раз. В результате воздействия разряда уничтожаются все известные виды патогенной микрофлоры, даже такие устойчивые к воздействиям любого рода, как споры сибирской язвы. После обеззараживания продукт с помощью подблока погрузки и транспортировки с выходными параметрами V''_2 и v''_2 поступает в блок III. Третий вариант технологического процесса предполагает использование перспективного направления совместного применения нескольких методов в зависимости от входных параметров и требует дальнейших исследований.

Третий блок описывает внедрение в технологический процесс выращивания продукции растениеводства применения полученных в результате переработки жидкого навоза удобрений. Он представлен в данной модели подблоком «Растениеводство», который связан с подблоками выращиваемых перспективных культур, таких как озимая пшеница, кукуруза на силос, кукуруза на зерно, яровой ячмень и другими видами культур с посевными площадями ($F_1, F_2, F_3, F_4 \dots F_i$). Согласно научно обоснованным нормам [2] в данной модели предусмотрено внесение твёрдых (ТОУ) или жидких (ЖОУ) органических удобрений на предполагаемых для культур посевных площадях, что обеспечит повышение плодородия почв и, как следствие, повышение урожайности культур, представленное в блоке данной модели соответственно подблоками (« $V_{оп} \rightarrow V_{оп}$ », « $V_{кз} \rightarrow V_{кз}$ », « $U_{кз} \rightarrow U_{кз}$ », « $U_{яч} \rightarrow U_{яч}$ », « $U_i \rightarrow U_i$ »).

В четвёртом блоке модели приведён процесс переработки и реализации продукции растениеводства, в котором связь с предыдущими блоками обозначена увеличением объёма производства и реализации полученных продуктов, описанная в данном блоке модели подблоками изменения

до более перспективного объёма (« $V_{оп} - V_{оп}$ », « $V_{кз} - V_{кз}$ », « $U_{кз} - U_{кз}$ », « $U_{яч} - U_{яч}$ », « $V_i - V_{ij}$ »).

Обратные связи в данной модели представлены между блоком I «Производство животноводческой продукции», блоком II «Производство удобрений», блоком III «Производство продукции растениеводства» и блоком IV «Переработка и реализация». Обратная связь между блоками I и III предполагает обеспечение кормовой базы животных выращиванием соответствующих видов кормовых культур, между блоками II и III – использование соломы для приготовления компоста при переработке твёрдой фракции, а между блоком I и IV – использование пищевых отходов для приготовления кормов [7, 8, 9].

Выводы. Функциональные связи производства продукции животноводства и растениеводства неизменно влияют друг на друга и неразрывно связаны с производственными параметрами.

Блоки, подблоки и связи, представленные в разработанной эколого-экономической модели, позволяют контролировать процессы снижения экологического ущерба от воздействия на окружающую среду и увеличения урожайности продукции растениеводства. Экологические показатели модели регламентируются применением для перемешивания жидкого навоза при обеззараживании с помощью возобновляемого источника энергии – ветра. При перемешивании происходит ускорение процесса аэробного сбраживания жидкого навоза, находящегося в секциях для хранения жидкой фракции, что сокращает выброс вредных газов и положительно сказывается на экологической ситуации вокруг объектов переработки навоза.

Повышение экономической эффективности производства удобрений обусловлено применением энергосберегающих технологий на основе ветроротора Савониуса и обеззараживающей установки, использующей эффект Юткина. Использование данной установки в блоке производства удобрений позволяет значительно снизить объёмы накопителей жидкой фракции навоза при её естественном обеззараживании.

Список источников

1. Качанова Л. С. Управление технологическими процессами производства и применения органических удобрений в аграрном секторе экономики : монография. Зерноград : Азово-Черноморский инженерный институт, 2016. 217 с.
2. Качанова Л. С. Многокритериальная модель обоснования выбора ресурсосберегающей технологии производства и применения органических удобрений // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В. П. Горячкина. 2016. № 3 (73). С. 33–40.
3. Качанова Л. С. Техничко-экономические критерии обоснования эффективности технологических процессов производства и использования удобрений // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 2 (18). С. 188–205.
4. Качанова Л. С. Модель планирования дополнительного дохода от применения удобрений // Аграрная наука. 2016. № 6. С. 8–11.
5. Друзянова В. П., Сергеев Ю. А. Технология анаэробного сбраживания бесподстилочного навоза крупного рогатого скота // Аграрная наука. 2015. № 5. С. 24–26.
6. Богачев А. И., Полухина М. Г. Экологическая безопасность как фактор социально-экономического развития отрасли свиноводства // Агротехника и энергообеспечение. 2015. № 3 (7). С. 51–57.
7. Рекомендации по организации и проведению производственного экологического контроля систем переработки и использования навоза (помета) (порядок разработки технологического регламента) / под ред. А. Ю. Брюханова. СПб. : Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, 2012. 59 с.
8. Экологические аспекты применения удобрений в современной земледелии / Ю. И. Гречишкина, А. Н. Есаулко, Л. С. Горбатко [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. 2012. Т. 7. № 3. С. 112–115.
9. Качанова Л. С. Ресурсно-продуктовые модели оптимизации производства и транспортировки органических удобрений // АПК: экономика, управление. 2016. № 7. С. 66–75.

References

1. Kachanova L. S. *Upravlenie tekhnologicheskimi processami proizvodstva i primeneniya organicheskikh udobrenij v agrarnom sektore ekonomiki: monografiya [Management of technological processes of production and application of organic fertilizers in the agricultural sector of the economy: monograph]*, Zernograd, Azovo-Chernomorskij inzhenernyj institut, 2016, 217 p. (in Russ.).
2. Kachanova L. S. *Mnogokriterial'naya model' obosnovaniya vybora resursosberegayushchej tekhnologii proizvodstva i primeneniya organicheskikh udobrenij [Multi-criteria model of justification of the choice of resource-saving technology of production and application of organic fertilizers]*. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta imeni V. P. Goryachkina. – Bulletin of the V. P. Goryachkin Moscow State Agroengineering University*, 2016; 3 (73): 33–40 (in Russ.).
3. Kachanova L. S. *Tekhniko-ekonomicheskie kriterii obosnovaniya effektivnosti tekhnologicheskikh processov proizvodstva i ispol'zovaniya udobrenij [Technical and economic criteria for substantiating the effectiveness of technological processes of production and use of fertilizers]*. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii. – Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*, 2015; 2 (18): 188–205 (in Russ.).
4. Kachanova L. S. *Model' planirovaniya dopolnitel'nogo dohoda ot primeneniya udobrenij [A model for planning additional income from the use of fertilizers]*. *Agrarnaya nauka. – Agricultural science*, 2016; 6: 8–11 (in Russ.).
5. Druzyanova V. P., Sergeev Yu. A. *Tekhnologiya anaerobnogo sbrazhivaniya bespodstilochnogo navoza krupnogo rogatogo skota [Technology of anaerobic fermentation of bespodstilochny cattle manure]*. *Agrarnaya nauka. – Agricultural science*, 2015; 5: 24–26 (in Russ.).
6. Bogachev A. I., Polukhina M. G. *Ekologicheskaya bezopasnost' kak faktor social'no-ekonomicheskogo razvitiya otrasli svinovodstva [Environmental safety as a factor of socio-*

economic development of the pig industry]. *Agrotekhnika i energoobespechenie. – Agricultural machinery and energy supply*, 2015; 3 (7): 51–57 (in Russ.).

7. Bryukhanov A. Yu. (Eds.). *Rekomendacii po organizacii i provedeniyu proizvodstvennogo ekologicheskogo kontrolya sistem pererabotki i ispol'zovaniya navoza (pometa) (poryadok razrabotki tekhnologicheskogo reglamenta) [Recommendations on the organization and conduct of industrial environmental control of manure processing and use systems (procedure for the development of technological regulations)]*, Sankt-Peterburg, Severo-Zapadnyj nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii i elektrifikacii sel'skogo hozyajstva, 2012, 59 p. (in Russ.).

8. Grechishkina Yu. I., Esaulko A. N., Gorbatko L. S., Belovolova A. A., Korostylyov S. A., Aysanov T. S. *Ekologicheskie aspekty primeneniya udobrenij v sovremennom zemledelii [Ecological aspects of the use of fertilizers in modern agriculture]*. *Vestnik APK Stavropol'ya. – Bulletin of the Agroindustrial complex of Stavropol*, 2012; 7; 3: 112–115 (in Russ.).

9. Kachanova L. S. *Resursno-produktovye modeli optimizacii proizvodstva i transportirovki organicheskikh udobrenij [Resource-product models of optimization of production and transportation of organic fertilizers]*. *APK: ekonomika, upravlenie. – Agro-industrial complex: economics, management*, 2016; 7: 66–75 (in Russ.).

© Головки А. Н., Бондаренко А. М., Хаценко А. В., 2022

Статья поступила в редакцию 29.06.2022; одобрена после рецензирования 04.08.2022; принята к публикации 12.08.2022.

The article was submitted 29.06.2022; approved after reviewing 04.08.2022; accepted for publication 12.08.2022.

Информация об авторах

Головки Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, alexnikgol@rambler.ru;

Бондаренко Анатолий Михайлович, доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, bondanmih@rambler.ru;

Хаценко Александр Викторович, начальник учебной части – заместитель начальника кафедры военного учебного центра, Донской государственный технический университет, khatsenko.aleksandr@yandex.ru

Information about authors

Aleksandr N. Golovko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – Branch of Don State Agrarian University, alexnikgol@rambler.ru;

Anatoly M. Bondarenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – Branch of Don State Agrarian University, bondanmih@rambler.ru;

Aleksandr V. Hatsenko, Head of the Educational Unit – Deputy Head of the Department of Military Training Center, Don State Technical University, khatsenko.aleksandr@yandex.ru