

Научная статья

УДК 631.86

EDN Y1HXWO

DOI: 10.22450/199996837_2022_4_100

Оптимизация процесса переработки жидкого навоза в прифермских навозохранилищах

Александр Николаевич Головки¹, Александр Викторович Хаценко²¹ Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, Ростовская область, Зерноград, Россия² Донской государственный технический университет

Ростовская область, Ростов-на-Дону, Россия

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

Аннотация. Экологичность производства сельскохозяйственной продукции приобретает в современных условиях все большее значение на фоне других показателей эффективности. Проблема конкурентоспособности в условиях современных проблем рыночной экономики и санкционной политики Запада является одной из основных, требующих скорейшего решения. Параллельно с продукцией животноводства в результате процесса производства образуются побочные продукты, такие как навоз. Современные технологии содержания животных предполагают использование гидросмыва навоза из производственных помещений. В результате требуется место для накопления этого побочного продукта и место для его хранения или его синхронная переработка. Такими местами для накопления, хранения и переработки являются прифермские навозохранилища. Требуемая площадь этих навозохранилищ зависит от технологии переработки жидкого навоза. Целью исследования является обоснование параметров оптимизации процесса переработки жидкого навоза на стадии цикла накопления в прифермских навозохранилищах с обеспечением современных экологических требований к переработке отходов животноводства. В исследованиях применялся метод системного анализа и метод моделирования. По методологии системного анализа процесс движения навоза по технологическому циклу представлен как цепь отдельных операций с соответствующими входными и выходными связями, параметры которых необходимо определить в процессе исследования. Для углубления связей и уточнения параметров этих связей блока переработки жидкого навоза в прифермском навозохранилище разработана оптимизационная модель процесса переработки жидкого навоза. Использование данной оптимизационной модели позволит определить наиболее оптимальный вариант при построении технологической линии переработки жидкого навоза в прифермских навозохранилищах, что, в свою очередь, обеспечит снижение затрат на переработку жидкого навоза, снижение площадей прифермской территории за счет сокращения сроков переработки и обеспечения баланса производства и переработки жидкого навоза. Также повысится экономическая эффективность производства продукции растениеводства вследствие обеспечения необходимых объемов высококачественных жидких органических удобрений для их внесения.

Ключевые слова: жидкий навоз, переработка, получение жидкого навоза, переработка жидкого навоза, прифермское навозохранилище

Для цитирования: Головки А. Н., Хаценко А. В. Оптимизация процесса переработки жидкого навоза в прифермских навозохранилищах // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Том 16. № 4. С. 100–107. doi: 10.22450/199996837_2022_4_100.

Original article

Optimization of liquid manure processing in near-farm manure storages

Aleksandr N. Golovko¹, Alexander V. Hatsenko²

¹ Azov Black Sea Engineering Institute – Branch of Don State Agrarian University
Rostov region, Zernograd, Russia

² Don State Technical University, Rostov region, Rostov-on-Don, Russia

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

Abstract. The environmental friendliness of agricultural production is becoming increasingly important in modern conditions against the background of other performance indicators. The problem of competitiveness in the context of modern problems of the market economy and the sanctions policy of the West is one of the main ones that require an early solution. In parallel with livestock production, the production process produces by-products such as manure. Modern technologies for keeping animals involve the use of hydraulic washing of manure from production premises. As a result, a place to store this by-product and a place to store it or to process it synchronously is required. Such places for accumulation, storage and processing are near-farm manure storages. The required area of these manure storage facilities depends on the technology of liquid manure processing. The purpose of the study is to substantiate the parameters for optimizing the liquid manure processing at the stage of the accumulation cycle in near-farm manure storage facilities with the provision of modern environmental requirements for the processing of livestock waste. The studies used a system analysis method and a modeling method. According to the system analysis methodology, the process of manure movement along the process cycle is presented as a chain of individual operations with the corresponding input and output connections, the parameters of which must be determined during the study. To deepen the connections and clarify the parameters of these connections, the liquid manure processing unit in near-farm manure storage has developed an optimization model for liquid manure processing. The use of this optimization model will make it possible to determine the most optimal option when building a liquid manure processing line in the near-farm manure storage facilities, which in turn will reduce the cost of liquid manure processing, decrease areas of near-farm territory by shortening of processing time and ensuring a balance between the production and liquid manure processing. The economic efficiency of crop production will also increase due to the provision of the necessary volumes of high-quality liquid organic fertilizers for their application.

Keywords: liquid manure, recycling, liquid manure obtaining, liquid manure processing, near-farm manure storage

For citation: Golovko A. N., Hatsenko A. V. Optimizaciya processa pererabotki zhidkogo navoza v prifermskih navozohranilishchah [Optimization of liquid manure processing in near-farm manure storages]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*. – *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022; 16; 4: 100–107. (in Russ.). doi: 10.22450/199996837_2022_4_100.

Введение. Выполнение продовольственной программы страны в условиях внешнего санкционного давления накладывает на отрасли высокие требования к уровню организации процесса производства продукции. Одной из основных отраслей обеспечения России продовольствием, участвующей в производстве как сырья, так и основной продукции, выступает животноводство. Производимая этой отраслью продукция служит основным сырьем значительной доли предприятий,

производящих широкий спектр пищевой продукции в Российской Федерации [1, 2].

Целью исследования явилось обоснование параметров оптимизации процесса переработки жидкого навоза на стадии цикла накопления его в прифермских навозохранилищах с обеспечением современных экологических требований к переработке отходов животноводства.

Материалы и методы исследования. В исследованиях применялся метод

системного анализа и метод моделирования. По методологии системного анализа процесс движения навоза по технологическому циклу представлен как цепь отдельных операций с соответствующими входными и выходными связями, параметры которых необходимо определить в процессе исследования. Отдельные операции представлены функциональными блоками, наполнение которых зависит от входных и выходных параметров, которые объединены в общую технологическую цепь.

Системный подход позволяет решать задачи по определению связей основных операций в процессе технологического цикла движения продукта с начальным и конечным смежными блоками. Для изучения свойств и связей внутри объекта исследования был применен метод моделирования, по методологии которого реальный процесс заменяется более удобной для описания и исследования свойств и связей моделью, при условии сохранения основных характеристик объекта исследования [1, 3, 4].

Результаты исследований. В целях изучения технологического цикла переработки навоза в прифермском навозохранилище как отдельного блока разработанной ранее эколого-экономической модели производства органических удобрений [2], для углубления связей и уточнения параметров этих связей блока переработки жидкого навоза в прифермском навозохранилище разработана оптимизационная модель процесса переработки жидкого навоза. При разработке оптимизационной модели процесса переработки 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 счет его предварительной гомогенизации.

Выделены следующие факторы, влияющие на функционирование модели:

1. Блок «Перемешивание» – применение ветроротора Савониуса (ВС) огра-

ничено скоростью ветра больше или равной 4 м/с.

2. Блок химическое обеззараживание (ХО) – допустимо применение химических веществ и их составов, не требующих дальнейшего их удаления после переработки, перед внесением и не имеющих антропогенного воздействия на окружающую среду, отвечающих агротехническим требованиям при их применении [1, 5].

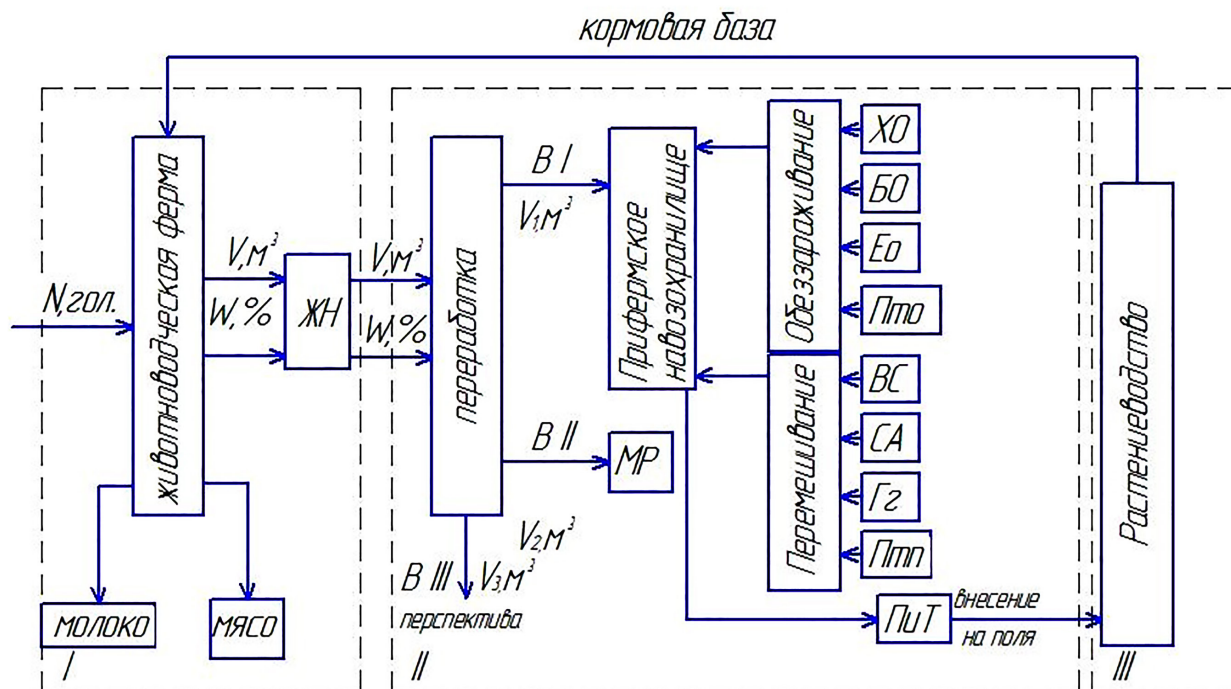
3. Блок биологическое обеззараживание (БО) – допустимо применение бактерий и других микроорганизмов, способствующих обеззараживанию навоза, разрешенных для использования в этих целях и обеспечивающих выполнение санитарно-биологических требований [6].

Процесс производства навоза при моделировании представлен блоком I (рис. 1). Блок организован двумя взаимосвязанными объектами. Блок «Животноводческая ферма» представлен технологическим помещением, где содержатся животные и второй блок (ЖН) представляет один из получаемых продуктов – жидкий навоз.

Определяющим входным параметром блока «Животноводческая ферма» является количество голов содержащихся на ферме вида животных (M), поскольку от этого параметра зависит суточный объем всего производимого жидкого навоза. Выходными параметрами этого блока являются объем жидкого навоза (V) и исходная влажность жидкого навоза на выходе из производственного помещения (W).

Блок II отвечает за процесс переработки. Продолжение технологического цикла переработки навоза предусмотрено в трех вариантах развития. *Первый вариант предусматривает накопление жидкого навоза в прифермском навозохранилище с последующей его переработкой.* Он представлен блоком «Прифермское навозохранилище».

Процесс переработки представлен двумя неотъемлемыми операциями, взаимосвязанными и отвечающими за скорость и качество процесса – «Обеззараживание» и «Перемешивание». Переработка навоза в прифермском навозохранилище обеспечивается двумя процессами, связи от которых показаны в этом блоке. Для обеззараживания жидкого навоза в данной



ЖН – жидкий навоз; МР – механическое разделение; ХО – химическое обеззараживание; БО – биологическое обеззараживание; ЕО – естественное обеззараживание; ПТО – перспективные технологии обеззараживания; ВС – ветроротор Савониуса; СА – самоходные амфибии; ГГ – гомогенизатор; ПТП – перспективные технологии перемешивания; ПИТ – погрузка и транспортировка

Рисунок 1 – Оптимизационная модель процесса переработки жидкого навоза в прифермском навозохранилище

модели блоками представлены несколько методов. Первый метод представлен блоком (ХО). Этот метод предполагает использование химических веществ для ускоренного обеззараживания, как в пространстве самого навозохранилища, так и в отдельных агрегатах или сооружениях, а также в процессе загрузки перед транспортировкой и внесением на поля. Метод широко известен [7] и предполагает использование химических веществ или их комбинации для обеззараживания жидкого навоза с использованием как химических веществ, не влияющих на агротехнологическую среду или разлагающихся на безвредные химически пассивные соединения, так и влияющих на агротехнологическую среду с применением нейтрализации или извлечения этих веществ перед внесением переработанного продукта на поля [7].

Второй метод представлен блоком (БО), где используются колонии искусственно культивированных бактерий, способных переработать жидкий навоз до

его безопасной формы непосредственно в самом прифермском навозохранилище [6, 8].

Следующий метод – естественное обеззараживание (блок ЕО). Предполагает аэробное сбраживание, с помощью которого жидкий навоз обеззараживается под воздействием содержащихся в нем бактерий и содержащегося в воздухе кислорода.

Кроме перечисленных методов, в данной модели предполагается использование перспективных экспериментальных методов, новых и комбинированных в совокупности с уже существующими методами. В связи с этим, представлен блок перспективных технологий обеззараживания (ПТО).

Практически все из перечисленных методов работают наиболее эффективно, а некоторые из них вообще не работают без блока «Перемешивание». Этот блок, в свою очередь, взаимосвязан в данной модели с четырьмя методами перемешива-

ния, которые представлены соответствующими блоками.

Первый блок (BC) предполагает использование для осуществления процесса перемешивания плавучей платформы с перемешивающим устройством, приводимым в движение ветроротором Савониуса, использующим один из возобновляемых источников энергии – энергию ветра (патент № 2732478 С1RU). При применении этого метода процесс перемешивания будет более энергосберегающим и экологическим по сравнению со стандартно применяемым перемешивающим оборудованием, работающим от вала отбора мощности двигателя внутреннего сгорания или электропривода.

Следующий блок (CA) предполагает использование для перемешивания самоходных амфибий – агрегатов, конструктивные особенности которых позволяют свободно перемещаться по всему объему навозохранилища, равномерно перемешивая слои жидкого навоза и ускоряя процесс обеззараживания. Данные разработки уже существуют у иностранных производителей и ведутся работы по испытанию отечественных разработок такого типа.

Блок (ГГ) предполагает использование различных гомогенизаторов с электроприводом и приводом от вала отбора мощности самоходных машин, которые в процессе перемешивания смешивают разделенные слои жидкого навоза, добываясь его однородности.

Другой блок (ПТП) предполагает использование перспективных технологий перемешивания, выделенных в особую группу из-за применяемых экспериментальных технологий с комбинацией уже существующих.

В продолжение технологического цикла переработанный продукт переходит к подблоку (ПИТ), отвечающему за погрузку и транспортировку с дальнейшим внесением на поля.

Во втором варианте, который представлен подблоком (MP), подразумевается механическое разделение, которое в данной модели имеет общее направление и подробно не рассматривается.

Третьим вариантом в данной работе обозначен перспективный, предполагающий использование технологий

перспективного развития. Блок «Растениеводство» отвечает за внедрение в технологию выращивания продукции растениеводства полученного продукта переработки жидкого навоза, который может быть использован при орошении пастбищ, выращивании кормовых культур, например, кукурузы на силос, то есть для тех сельскохозяйственных культур, агротехнологические требования которых позволяют вносить жидкие органические удобрения.

При внесении полученных удобрений согласно научно обоснованным нормам [3] обеспечивается повышение плодородия почв, что, в свою очередь, приведет к повышению урожайности указанных выше видов сельскохозяйственных культур.

В модели предусмотрена обратная связь между блоком I «Животноводческая ферма» и III «Растениеводство». Под обозначенной обратной связью предполагается частичное обеспечение животных кормовой базой [5, 9, 10].

Заключение. Описанные в модели функциональные связи отражают реальные процессы технологического цикла переработки жидкого навоза в прифермских навозохранилищах.

Процесс моделирования позволяет оптимизировать построение технологической линии обеззараживания жидкого навоза в прифермских навозохранилищах в зависимости от условий, параметров проходящего в процессе технологического цикла продукта и имеющихся технологических возможностей построения технологической линии.

Немаловажное влияние на модель имеет включение сегментов энергосберегающих технологий, таких, как использование при перемешивании слоев жидкого навоза энергии ветра с помощью ветроротора Савониуса и передовых биотехнологий бактериального спектра, используемых для обеззараживания. Использование бактерий для обеззараживания позволяет также снизить объем вредных выбросов сопутствующих газообразных веществ, а использование энергии ветра для перемешивания позволяет снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду в зоне работы технологической линии.

Использование данной оптимизационной модели позволит определить наиболее оптимальный вариант при построении технологической линии переработки жидкого навоза в прифермских навозохранилищах, что, в свою очередь, обеспечит снижение затрат на переработку жидкого навоза, снижение площади прифермской территории за счет сокращения

сроков переработки и обеспечения баланса производства и переработки жидкого навоза.

Также возрастет экономическая эффективность производства продукции растениеводства вследствие обеспечения необходимых объемов высококачественных жидких органических удобрений для их внесения.

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. Техничко-экономические критерии обоснования эффективности технологических процессов производства и использования удобрений // Научный журнал Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации. 2015. № 2 (18). С. 188–205.
3. 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. Т. 16. № 3. С. 81–88.
4. Качанова Л. С. Модель планирования дополнительного дохода от применения удобрений // Аграрная наука. 2016. № 6. С. 8–11.
5. Рекомендации по организации и проведению производственного экологического контроля систем переработки и использования навоза (помёта) (Порядок разработки технологического регламента) / под ред. А. Ю. Брюханова. СПб. : Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, 2012. 59 с.
6. Бондаренко А. М., Качанова Л. С. Перспективные технологии переработки навоза в концентрированные органические удобрения // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В. П. Горячкина. 2016. № 1 (71). С. 20–28.
7. Бондаренко А. М., Качанова Л. С. Ресурсосберегающая технология производства и применения жидких концентрированных органических удобрений в Ростовской области // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В. П. Горячкина. 2016. № 2 (72). С. 19–28.
8. Друзьянова В. П., Сергеев Ю. А. Технология анаэробного сбраживания бесподстилочного навоза крупного рогатого скота // Аграрная наука. 2015. № 5. С. 24–26.
9. Качанова Л. С. Ресурсно-продуктовые модели оптимизации производства и транспортировки органических удобрений // АПК: экономика, управление. 2016. № 7. С. 66–75.
10. Бондаренко А. М., Качанова Л. С. Уровень органообеспеченности сельскохозяйственных площадей как технико-экономический критерий эффективности применения органических удобрений // Научный журнал Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации. 2015. № 2 (18). С. 177–187.

References

1. Kachanova L. S. *Upravlenie tekhnologicheskimi protsessami proizvodstva i primeneniya organicheskikh udobrenii v agrarnom sektore ekonomiki: monografiya [Management of technological processes for the 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. *Tekhniko-ekonomicheskie kriterii obosnovaniya effektivnosti tekhnologicheskikh protsessov proizvodstva i ispol'zovaniya udobrenii [Feasibility study criteria*

for efficiency of fertilizer production and use processes]. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta problem melioracii. – Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*, 2015; 2; 18: 188–205 (in Russ.).

3. Golovko A. N., Bondarenko A. M., Khatsenko A. V. Ekologo-ekonomicheskaya model' tekhnologicheskogo protsessa polucheniya, pererabotki zhidkogo navoza i primeneniya poluchennykh udobrenii [Ecological and economic model of the process of production, processing of liquid manure and application of the obtained fertilizers]. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik. – Far Eastern Agrarian Herald*, 2022; 16; 3: 81–88 (in Russ.).

4. Kachanova L. S. Model' planirovaniya dopolnitel'nogo dokhoda ot primeneniya udobrenii [Model for planning additional fertilizer revenue]. *Agrarnaya nauka. – Agricultural science*, 2016; 6: 8–11 (in Russ.).

5. Bryukhanov A. Yu. (Eds.). *Rekomendatsii po organizatsii i provedeniyu proizvodstvennogo ekologicheskogo kontrolya sistem pererabotki i ispol'zovaniya navoza (pometa) (Poryadok razrabotki tekhnologicheskogo reglamenta) [Recommendations on organization and conduct of industrial environmental control of manure processing and use systems (droppings) (Procedure for development of Process Regulations)]*, Sankt-Peterburg, Severo-Zapadnyj nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii i elektrifikacii sel'skogo hozyajstva, 2012, 59 p. (in Russ.).

6. Bondarenko A. M., Kachanova L. S. Perspektivnye tekhnologii pererabotki navoza v kontsentrirrovannye organicheskie udobreniya [Advanced technologies for processing manure into concentrated organic fertilizers]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta imeni V. P. Goryachkina. – Bulletin of the V. P. Goryachkin Moscow State Agroengineering University*, 2016; 1; 71: 20–28 (in Russ.).

7. Bondarenko A. M., Kachanova L. S. Resursosberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva i primeneniya zhidkikh kontsentrirrovannykh organicheskikh udobrenii v Rostovskoi oblasti [Resource-saving technology of production and application of liquid concentrated organic fertilizers in Rostov region]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta imeni V. P. Goryachkina. – Bulletin of the V. P. Goryachkin Moscow State Agroengineering University*, 2016; 2; 72: 19–28 (in Russ.).

8. Druz'yanova V. P., Sergeev Yu. A. Tekhnologiya anaerobnogo sbrzhivaniya bespodstilochnogo navoza krupnogo rogatogo skota [Technology of anaerobic fermentation of non-dilute cattle manure]. *Agrarnaya nauka. – Agricultural science*, 2015; 5: 24–26 (in Russ.).

9. Kachanova L. S. Resursno-produktovye modeli optimizatsii proizvodstva i transportirovki organicheskikh udobrenii [Resource and product models for optimizing the production and transportation of organic fertilizers]. *APK: ekonomika, upravlenie. – Agro-industrial Complex: Economics, Management*, 2016; 7: 66–75 (in Russ.).

10. Bondarenko A. M., Kachanova L. S. Uroven' organoobespechennosti sel'skokhozyaystvennykh ploschadei kak tekhniko-ekonomicheskii kriterii effektivnosti primeneniya organicheskikh udobrenii [The level of organic availability of agricultural areas as a technical and economic criterion for the effectiveness of the use of organic fertilizers]. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta problem melioracii. – Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*, 2015; 2; 18: 177–187 (in Russ.).

© Головки А. Н., Хаценко А. В., 2022

Статья поступила в редакцию 01.11.2022; одобрена после рецензирования 15.11.2022; принята к публикации 21.11.2022.

The article was submitted 01.11.2022; approved after reviewing 15.11.2022; accepted for publication 21.11.2022.

Информация об авторах

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

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

Information about authors

Aleksandr N. Golovko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Land Management and Cadastre, Azov-Black Sea Engineering Institute – Branch of Don State Agricultural University, alexnikgol@rambler.ru;

Alexander V. Hatsenko, Director of Studies – Deputy Head of the Department of the Military Studies Center, Don State Technical University, khatsenko.aleksandr@yandex.ru