

УДК 662.7

DOI: 10.24412/1999-6837-2022-1-143-150

Пиролизная технология – перспективный способ утилизации твёрдого высушенного навоза

**Анастасия Валериевна Спиридонова¹, Варвара Петровна Друзьянова²,
Орозмамат Мамасалиевич Осмонов³, Ольга Константиновна Тарабукина⁴,
Жанна Григорьевна Сивцева⁵**

^{1,2,4} Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

² Октемский филиал Арктического государственного агротехнологического университета,
Республика Саха (Якутия), Октемцы, Россия

³ Российский государственный аграрный университет –
Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

⁵ Якутский индустриально-педагогический колледж,
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

¹ Savadf0706@mail.ru, ² druzvar@mai.ru, ³ osm.rom2011@yandex.ru,

⁴ olya.tarabukina.00@mail.ru

Аннотация. Современное животноводство Якутии представлено, в основном, частными фермерскими хозяйствами. Одно хозяйство, в среднем, содержит до двадцати голов крупного рогатого скота. Все трудоёмкие процессы выполняются вручную. Стойловый период в регионе составляет около восьми месяцев. Производимый навоз брикетизируется и увозится в близлежащие открытые местности. Ввиду того, что фермы расположены в населённых пунктах, вокруг животноводческих помещений накоплены груды свежего и сухого навоза, а села опоясаны хаотично стасканными кучами. В весенний период всё это оттаивает и попадает в водоёмы, загрязняет земли, наносит вред не только окружающей среде, но и здоровью людей. Опасность недостаточно обработанного бесподстилочного навоза в том, что он содержит огромное разнообразие микроорганизмов, так называемых сапрофитов. При попадании в определённые благоприятные условия некоторые из них превращаются в возбудителей таких болезней, как сибирская язва, туберкулёз, столбняк, бруцеллёз, ящур и даже чума, которые оказывают негативное, тяжелое и иногда неотвратимо губительное воздействие не только на животных, но и на человека. В этой связи, нами представлены разработки по совершенствованию технологий по удалению, сбору и переработке образующегося бесподстилочного навоза животных.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, жидкий навоз, методы и способы утилизации навоза, переработка, пиролизная технология, зола, количество энергии

Для цитирования: Пиролизная технология – перспективный способ утилизации твёрдого высушенного навоза / А. В. Спиридонова, В. П. Друзьянова, О. М. Осмонов, О. К. Тарабукина, Ж. Г. Сивцева // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Вып. 1 (61). С. 143–150. doi: 10.24412/1999-6837-2022-1-143-150.

Pyrolysis technology – a promising way of dried manure solids utilization

**Anastasiya V. Spiridonova¹, Varvara P. Druz'yanova², Orozmamat M. Osmonov³,
Olga K. Tarabukina⁴, Zhanna G. Sivtseva⁵**

^{1,2,4} North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov,
Republik of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

² Arctic State Agrotechnological University – Oktemsky Branch,
Republik of Sakha (Yakutia), Oktemtsy, Russia

³ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russia

⁵ Yakutsk Industrial and Pedagogical College, Republik of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

¹ Savadf0706@mail.ru, ² druzvar@mai.ru, ³ osm.rom2011@yandex.ru,
⁴ olya.tarabukina.00@mail.ru

Abstract. Modern animal husbandry in Yakutia is represented mainly by private farms. One farm contains on average up to 20 heads of cattle. All labor-intensive processes are carried out manually. The stall period in the region is about eight months. Manure produced is briquetted and transported to nearby open areas. Due to the fact that farms are located in settlements, at present, measurable piles of fresh and dry manure have been accumulated around livestock buildings, and villages are surrounded by randomly arranged heaps. In spring, all this thaws and enters water bodies, pollutes the land, and harms not only the environment, but also human health. The danger of insufficiently treated litter-less manure is that it contains a huge variety of microorganisms, the so-called saprophytes. When they get into certain favorable conditions, some of them turn into pathogens of diseases such as anthrax, tuberculosis, tetanus, brucellosis, foot-and-mouth disease and even plague, which have a negative, severe and sometimes inevitably disastrous effect not only on animals, but also on humans. In this regard, we have presented developments to improve of technologies for the removal, collection and processing of the resulting litter-less animal manure.

Keywords: cattle, liquid manure, ways and methods of utilization manure, processing, pyrolysis technology, ash, amount of energy

For citation: Spiridonova A. V., Druz'yanova V. P., Osmonov O. M., Tarabukina O. K., Sivtseva Zh. G. Piroliznaya tekhnologiya – perspektivnyj sposob utilizacii tvyordogo vysushennogo navoza [Pyrolysis technology – a promising way of dried manure solids utilization]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Herald*, 2022; 1 (61): 143–150. (in Russ.). doi: 10.24412/1999-6837-2022-1-143-150.

Введение. Навоз животных достаточно давно применяется как доступное органическое удобрение при выращивании сельскохозяйственных культур, а некоторые народы используют высушенный навоз для топки печей. Однако, недостаточно обезвреженный навоз вместо пользы может нанести непоправимый урон, сохраняя в себе и распространяя семена сорных растений, возбудителей различных болезней, загрязняя окружающую среду.

Существующие и применяемые способы и методы переработки предназначены для работы только со свежим и жидким видами навоза животных (рис. 1).

Методика исследований. Используются теоретические и эмпирические методы исследования, которые базируются на экспериментальных данных и известных теоретических положениях системного анализа, математического моделирования. Полученные в ходе проведения экспериментов результаты подвергнуты обработке в соответствии с современными методами теории вероятностей, математической статистики и перспективного планирования экспериментальных исследований с применением специализированных программ.

Результаты и обсуждение. Утилизации предлагается подвергнуть навоз, пролежавший несколько лет под открытым небом, высушенный ветрами и солнцем. Известно, что чем дольше навоз без подготовки будет находиться в кучах, тем прочнее устанавливаются химические связи с кислородом окружающей среды. Навоз превращается в сложный продукт, который уже невозможно переработать приведенными на рисунке 1 методами и способами.

Нами предлагается использовать при утилизации твердого высушенного бесподстилочного навоза параллельно две технологии:

- 1) биогазовую, для переработки жидкого и свежего навоза;
- 2) пиролизную, для твердого и высушенного навоза.

Оптимального функционирования системы «человек – сельскохозяйственное производство – природная среда» можно достигнуть, применяя биоэнергетические установки, находящиеся непосредственно в усадьбах фермерских хозяйств [3].

Биогазовые установки применяются при переработке свежего (жидкого) навоза с влажностью от 80 до 90 %. Пиролиз-

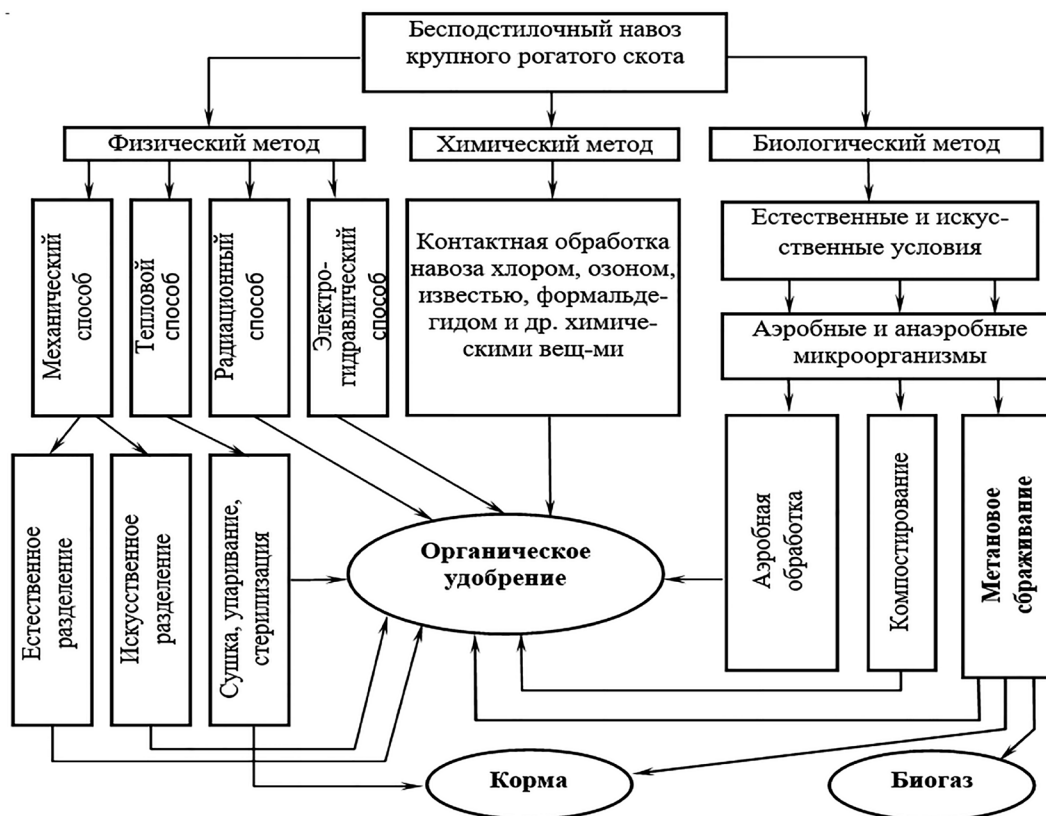


Рисунок 1 – Методы и способы переработки бесподстилочного навоза крупного рогатого скота [3]

ная технология применима для утилизации навоза с влажностью до 10 % [6].

Поскольку в настоящее время животноводческие хозяйства в Якутии представлены частными фермами, то предлагаем внедрить пиролизную технологию В. А. Глушкова [5]. Суть его технологии заключается в утилизации растительного сырья (биомассы) низкотемпературным пиролизом древесной щепы, опилок. Так как твёрдый навоз можно отнести к растительному остатку, то вероятность его утилизации по пиролизной технологии весьма высока.

Малогабаритная и мобильная технология В. А. Глушкова отмечена Золотой медалью Российской академии наук в 2009 г. Она позволяет полностью разлагать твердые растительные вещества (биомассу) с получением смеси газов, пригодных для использования в качестве альтернативного топлива – в системе отопления помещений, при приготовлении пищи и как моторное топливо [1].

Нами предлагается модернизировать систему переработки навоза, предложен-

ную В. А. Глушковым [1], на основе добавления пиролизной технологии утилизации твердого или высушенного навоза (рис. 2).

В результате проведённых серий экспериментов установлено:

1. Эффективная пиролизная утилизация измельчённого твёрдого бесподстилочного навоза с получением удобрения в виде золы достигается при следующих параметрах: влажность исходного сырья от 6 до 10 % и размер фракций от 31 до 60 мм.

2. Для производства одного киловатта энергии необходим 1,81 куб. м пиролизного газа, получаемого из 17,24 кг измельчённого твердого бесподстилочного навоза с влажностью от 3 до 4 % и размерами фракции от 1 до 30 мм.

3. Основные факторы, способствующие оптимальному производству пиролизного газа, получаемого из твёрдого бесподстилочного навоза крупного рогатого скота: влажность навоза от 3,41 до 9,47 % и размер фракций навоза от 1 до 90 мм.

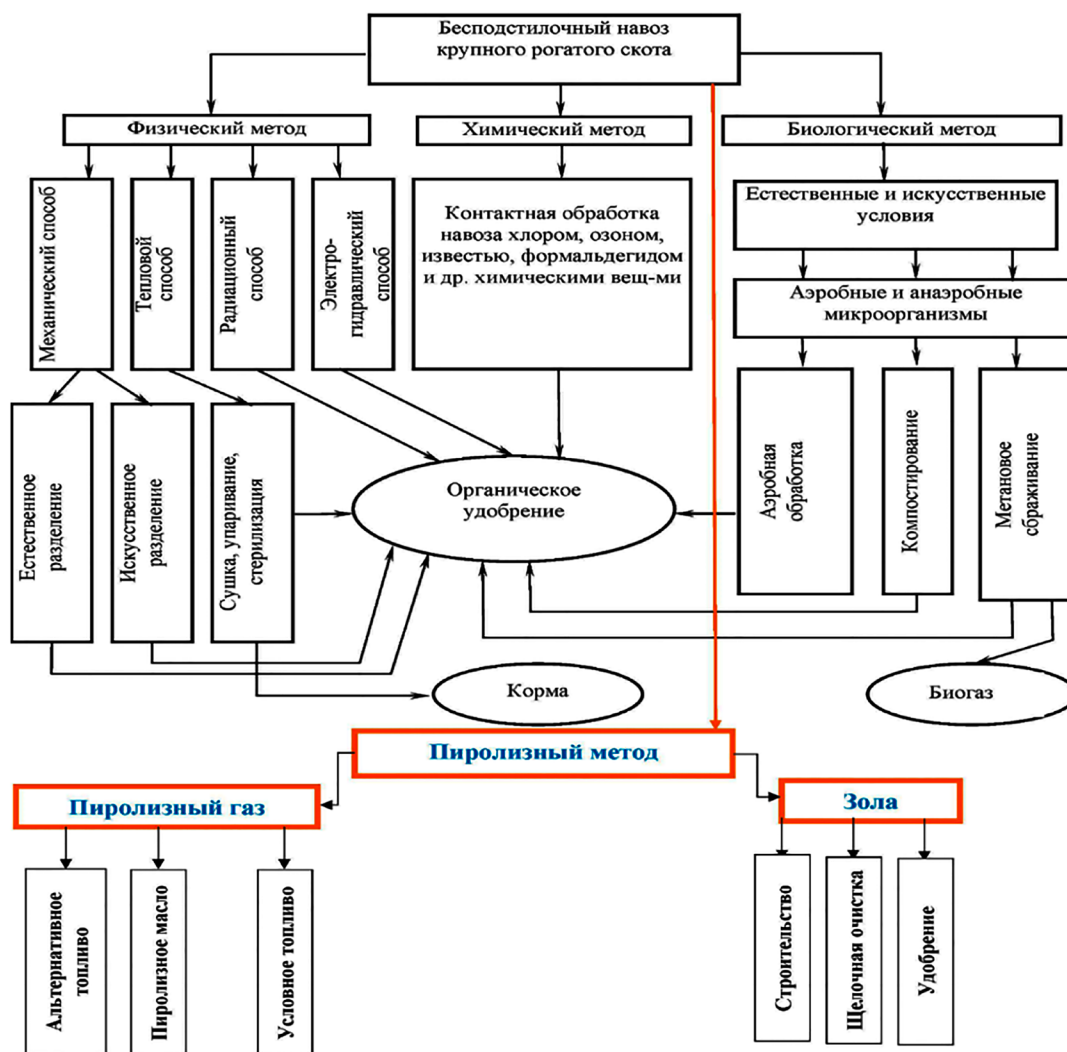


Рисунок 2 – Предлагаемая модернизированная схема по способам и методам утилизации жидкого и твёрдого навоза крупного рогатого скота

При моделировании процесса пиролиза было решено варьировать следующими управляющими факторами:

- 1) w – влажностью твёрдого навоза, %;
- 2) h – размерами фракций навоза, мм.

Получена следующая имитационная модель (1) по ожидаемому количеству пирогаза (Q_m):

$$Q_m = 0,131 + 6,5 \cdot w + 45,5 \cdot h \quad (1)$$

Технология переработки твёрдого бесподстилочного навоза с применением пиролизной установки позволяет комплексно решать ряд проблем, связанных с его утилизацией. При определении экономической эффективности внедрения пиролизной технологии важно учитывать энер-

гетические, экологические и социальные эффекты. Нами проведён расчёт годового экономического эффекта от внедрения пиролизной технологии при использовании установки ГВА-1 для следующего поголовья крупного рогатого скота Республики Саха (Якутия) по категориям хозяйств (на 1 января 2021 г.):

- 1) сельскохозяйственные организации – 13,4 тыс. гол.;
- 2) крестьянские (фермерские) хозяйства, индивидуальные предприниматели – 28,7 тыс. гол.;
- 3) личные подворья – 57,9 тыс. гол.

Годовой экономический эффект от внедрения пиролизной установки определяется по формуле (2) [1, 4]:

$$\mathcal{E}_{гэ} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 \quad (2)$$

где $\mathcal{E}_{гэ}$ – годовой экономический эффект, тыс. руб.;

\mathcal{E}_1 – годовой экологический эффект, тыс. руб.;

\mathcal{E}_2 – годовой экономический эффект от утилизации навоза, тыс. руб.

При этом годовой экологический эффект рассчитываем по формуле (3):

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_{г.1} + \mathcal{E}_{г.2} \quad (3)$$

где $\mathcal{E}_{г.1}$ – годовой экологический эффект от снижения загрязнения воздушной среды от вредных выбросов при сгорании топлива, тыс. руб.;

$\mathcal{E}_{г.2}$ – годовой экологический эффект за счёт исключения ущерба от загрязнения водоёмов солями и органическими веществами, тыс. руб.

При продолжительности работы одной пиролизной установки ГВА-1, равной 80 минут (при рабочей температуре, составляющей 300 °С), время её остывания составляет 180 минут. Исходя из этого, пиролизная установка за один день может запускаться два раза.

За день утилизируемый объём твёрдого бесподстилочного навоза одной установкой ГВА-1 составит 20,23 кг. Из этой массы навоза можно получить 2,1 куб. м пирогаза, эквивалентного 1,16 кВт·ч энергии.

Таким образом, имеем следующий результат работы одной пиролизной установки ГВА-1:

- 1) время работы – 80 минут;
- 2) объём утилизации твёрдого бесподстилочного навоза за две смены работы – 20,23 килограмм;
- 3) объём получаемого пиролизного газа – 2,1 куб. м;
- 4) объём получаемой энергии – 1,16 кВт·ч.

На основании полученных показателей рассчитаем экономический эффект от применения пиролизной технологии утилизации твёрдого бесподстилочного навоза крупного рогатого скота.

Зная, что из одного килограмма твёрдого бесподстилочного навоза можно получить 0,105 куб. м пирогаза, что соответствует 0,058 кВт·ч энергии, рассчитаны ожидаемые эффекты для отдельных категорий хозяйств Республики Саха (Якутия) (табл. 1).

Продолжительность стойлового периода в условиях Якутии восемь месяцев или 240 дней. Тогда ожидаемый годовой объём пирогаза составит 27,8 МВт·ч энергии.

Кроме этого, после пиролиза получается органическое удобрение в виде золы. По результатам опытов определено, что из одного килограмма твёрдого бесподстилочного навоза получается примерно десять процентов золы. Соответственно, ожидаемый годовой выход золы будет равен 480 тоннам.

Таблица 1 – Ожидаемые эффекты по видам хозяйств

Категории хозяйств	Поголовье крупного рогатого скота, тыс. гол.	Выход твёрдого бесподстилочного навоза, т в день	Выход пиролизного газа, куб. м	Объём энергии, кВт·ч
Сельскохозяйственные организации	13,4	268	28 140	15 544
Крестьянские (фермерские) хозяйства, индивидуальные предприниматели	28,7	574	60 270	33 292
Личные подворья	57,9	1 158	121 590	67 164
Итого	100,0	2 000	210 000	116 000

Таблица 2 – Оценка суммарного годового экономического эффекта

Показатели	Количество	Тариф (цена), руб	Сумма, тыс. руб.
Экологический эффект			
Снижение загрязнения воздушной среды от вредных выбросов при сгорании топлива	–	–	18 310
Исключение ущерба от загрязнения водоёмов солями и органическими веществами	–	–	294 336
Сумма экологического эффекта	–	–	312 646
Коммерческий эффект			
Доходы от производства и утилизации пиролизного газа	50 400 ¹	4 490,53	226 323
Доходы от производства и утилизации золы в качестве удобрения	48 000 ²	10 000	480 000
Сумма коммерческого эффекта			706 323
Всего			1 018 969
¹ тыс. куб. м. ² тонн			

Суммарный экономический эффект отражён в таблице 2. При расчёте использованы установленные тарифы на энергию, получаемую из пиролизного газа, а также рыночные цены на органическое удобрение в виде золы.

Выводы. Суммарный коммерческий эффект от реализации пирогаза и золы составит 706,3 млн. руб. Тогда с учётом эко-

логического эффекта, годовой экономический эффект равен 1 018,9 млн. руб.

Расчёт произведён укрупнённым методом, исходя из численности поголовья крупного рогатого скота по всем категориям хозяйств Республики Саха (Якутия). Результаты показали наличие существенного экономического эффекта использования пиролизной установки ГВА-1.

Список источников

1. Глушков В. А. Разработка и исследование автоматизированной установки пиролиза растительного сырья с целью повышения выхода топливного газа : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2006. 16 с.

2. Друзьянова В. П. Энергосберегающая технология переработки навоза крупного рогатого скота : автореф. дис. ... докт. техн. наук. Улан-Удэ, 2015. 38 с.

3. Кораблев А. Д. Экономия энергоресурсов в сельском хозяйстве. М : Агропромиздат, 1988. 208 с.

4. Пургин С. А. Проблемы и мероприятия по рациональному энергосбережению и ресурсосбережению // Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жи-

лищно-коммунальном комплексе : материалы VII междунар. науч.-практ. конф. (Пенза, 14 апреля 2006 г.). Пенза : Приволжский Дом знаний, 2006. С. 277–280.

5. Спиридонова А. В., Друзьянова В. П. Пиролизная технология в животноводстве // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 2 (58). С. 152–159.

6. Технология и оборудование для переработки свиного навоза и его внесения / А. М. Бондаренко, Е. Н. Белоусов, Б. Н. Строгий, Т. Ф. Самойлова // Техническое оборудование для села. 2010. № 11. С. 20–21.

References

1. Glushkov V. A. Razrabotka i issledovanie avtomatizirovannoy ustanovki piroliza rastitel'nogo syr'ya s tsel'yu povysheniya vyhoda toplivnogo gaza [Development and research of an automated plant for pyrolysis of plant raw materials in order to increase the yield of fuel gas]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Izhevsk, 2006, 16 p. (in Russ.).

2. Druz'yanova V. P. Energoberegayushchaya tekhnologiya pererabotki navoza krupnogo rogatogo skota [Energy-saving technology for processing cattle manure]. *Extended abstract of doctor's thesis*. Ulan-Ude, 2015, 38 p. (in Russ.).

3. Korablev A. D. *Ekonomiya energoresursov v sel'skom khozyaistve [Saving energy resources in agriculture]*, Moskva, Agropromizdat, 1988, 208 p. (in Russ.).

4. Purgin S. A. Problemy i meropriyatiya po ratsional'nomu energosberezheniyuy i resursosberezheniyuy [Problems and measures for rational energy and resource saving]. Proceedings from Problems of energy saving and ecology in industrial and housing and communal complexes: *VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya (14 aprelya 2006 g.) – VII International Scientific and Practical Conference*. (PP. 277–280), Penza, Privolzhskii Dom znanii, 2006 (in Russ.).

5. Spiridonova A. V., Druz'yanova V. P. Pirolyznaya tekhnologiya v zhivotnovodstve [Pyrolysis technology in animal husbandry]. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik. – Far Eastern Agrarian Herald*, 2021; 2 (58): 152–159 (in Russ.).

6. Bondarenko A. M., Belousov E. N., Strogii B. N., Samoilova T. F. Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki svinogo navoza i ego vnoseniya [Technology and equipment for the processing of pig manure and its application]. *Tekhnicheskoe oborudovanie dlya sela. – Technical equipment for the village*, 2010; 11: 20–21 (in Russ.).

© Спиридонова А. В., Друзьянова В. П., Осмонов О. М., Тарабукина О. К., Сивцева Ж. Г., 2022
Статья поступила в редакцию 17.12.2021; одобрена после рецензирования 17.01.2022; принята к публикации 28.02.2022.

The article was submitted 17.12.2021; approved after reviewing 17.01.2022; accepted for publication 28.02.2022.

Информация об авторах

Спиридонова Анастасия Валериевна, старший преподаватель, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, savadf0706@mail.ru;

Друзьянова Варвара Петровна, доктор технических наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Октёмский филиал Арктического государственного агротехнологического университета, druzvar@mai.ru;

Осмонов Орозмамат Мамасалиевич, доктор технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, osm.rom2011@yandex.ru;

Тарабукина Ольга Константиновна, аспирант, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, olya.tarabukina.00@mail.ru;

Сивцева Жанна Григорьевна, преподаватель, Якутский индустриально-педагогический колледж

Information about authors

Anastasiya V. Spiridonova, Senior Lecturer, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, Savadf0706@mail.ru;

Varvara P. Druz'yanova, Doctor of Technical Sciences, Professor, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, Arctic State Agrotechnological University – Oktemsky Branch, druzvar@mail.ru;

Orozmamat M. Osmonov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, osm.rom2011@yandex.ru;

Olga K. Tarabukina, Postgraduate Student, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, olya.tarabukina.00@mail.ru;

Zhanna G. Sivtseva, Lecturer, Yakutsk Industrial and Pedagogical College