

## КАЧЕСТВО СУШКИ ПРИ ЗАГОТОВКЕ ПРЕССОВАННОГО СЕНА ПУТЕМ ВАКУУМНО-ИМПУЛЬСНОГО СПОСОБА УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ

© Никифоров В.Е.,  
Никитин Л.А.



**Владислав Евгеньевич Никифоров**

Вологодский научный центр Российской академии наук  
г. Вологда, Российская Федерация  
e-mail: nfrv\_123@mail.ru



**Леонид Алексеевич Никитин**

Вологодский научный центр Российской академии наук  
г. Вологда, Российская Федерация  
e-mail: nikitin.l.2010@mail.ru

*В условиях Вологодской области уборка кормов проходит в короткие сроки и в сложных погодных условиях, поэтому сложно получить качественное сено. В статье рассматриваются новые перспективные методы получения высококачественного сена в прессованном виде на основе сушки вакуумно-импульсным способом, позволяющим решить проблему низкого качества кормов и повышения молочной продуктивности в животноводстве. Указанный способ дает возможность эффективного применения технических средств путем совершенствования процессов послеуборочной обработки с последующей досушкой прессованного сена на уровне необходимых требований. Использование вакуумных установок с внедрением новых технологических приемов сушки обеспечивает снижение энергетических затрат. Новизна технологии заключается в разработке устройства сушки сена на основе вакуумно-импульсного метода удаления влаги, обеспечивающего высокое качество, сохранность сена и экономию энергоресурсов. Основным отличием данного способа от аналогичных разработок является равномерная просушка прессованного сена по всему объему рулона. Практическая значимость заключается в разработке перспективных технологий и технических средств сушки, обеспечивающих увеличение производства высококачественных кормов из трав. Качество сена при вакуумно-импульсной сушке выше, чем при активном вентилировании, причем в два раза сокращается время работы установки, что снижает затраты энергии в 1,5–2 раза.*

*Сушка, прессованное сено, качество, вакуум, теплоноситель, эффективность.*

В агропромышленном комплексе развитие животноводства зависит от кормовой базы. Следует увеличивать общие объемы производства сеяных и естественных кормовых трав – основного компонента рациона скота. Кормовая база определяется не только количеством корма, но и его качеством, влияющими на эффективность животноводства и являющимися неотъемлемыми факторами кормопроизводства на современном уровне. За счет высокого качества сена животные могут удовлетворить потребность в общем уровне питания (кормовых единицах) на 40–50%, в перевариваемом протеине – на 35–45%, более чем наполовину в минеральных веществах и полностью в каротине. В связи с этим вопросам качества заготавливаемого сена в хозяйстве следует уделять особое внимание [1].

Северо-Западный регион находится в зоне рискованного земледелия и попадает в сильную зависимость от природно-климатических условий. При неустойчивых климатических условиях не всегда можно получить качественный хороший урожай. Поэтому необходимо совершенствовать существующие технологии кормопроизводства, развивать новые разработки и пути внедрения в производство новой высокопроизводительной техники для заготовки и переработки растительных кормов, обеспечивающих высокую сохранность и повышение питательных свойств. Погодные условия далеко не всегда благоприятствуют заготовке высококачественного сена. Досушить его до кондиционной влажности (16–18%) в дождливую погоду можно с помощью искусственной сушики подогретым воздухом. Наряду с этим развивается потребность в расширении производства искусственной сушики зеленых кормов, в которых при уборке и хранении максимально сохраняются питательные вещества.

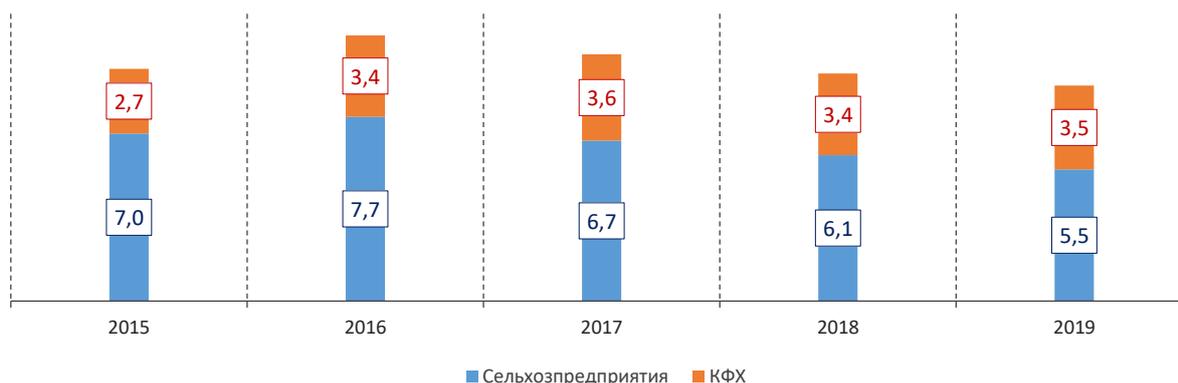
Сущность способа уборки трав с досушиванием принудительным вентиляро-

ванием заключается в том, что скошенную траву предварительно провяливают в поле до влажности 35–40%, затем собирают и досушивают на месте хранения при помощи вентиляционных установок. Вентиляция обеспечивает более полный сбор сена с повышенным содержанием питательных веществ и каротина.

В последнее время во многих странах мира значительно повысился интерес к использованию зеленых кормов на основе искусственной сушики. По производству кормов искусственной сушики лидерами являются США, Франция, Дания, Италия, ФРГ и др. [2]. По общей оценке, ежегодный объем мирового рынка кормовых культур составляет 10 млн т, причем поставки сена из России в Европу в последние годы выросли в 16 раз [3]. Для освоения внешнего и внутреннего рынка необходимо совершенствовать систему получения качественных кормов.

На графике (рис. 1) представлена динамика заготовки сена из многолетних и однолетних кормовых культур в России.

В процессе заготовки кормов сено подвергается биологическим, ферментативным и микробиологическим изменениям, которые могут привести к его порче. Одним из методов сохранения корма является метод искусственной или естественной сушики. Естественная сушка носит длительный характер и зависит от погодных условий, а продолжительность сушики в поле влияет на качество и питательность сена. Замедление процесса отделения влаги происходит уже после первого дня, когда влажность травы достигает 30–31%. Дальнейшее нахождение растительной массы в поле влечет за собой значительные (до 40%) потери питательных веществ, поэтому для сохранения качества корма необходимо производить искусственное досушивание подвяленной травы (влажностью 35–45%). Досушивание активным вентилярованием имеет недостаток: пе-



**Рис. 1. Заготовка сена в России, млн т**

Источник: данные Росстата.

ресушиваются слои, находящиеся в области нагрева, а затем происходит постепенное перемещение зоны сушки по ходу движения воздуха. Слои, расположенные на выходе воздуха, увлажняются, поэтому необходимы значительные затраты на электроэнергию и специальные хранилища с принудительной вентиляцией.

В дальнейшем развитие производства обезвоженных кормов определяется снижением производственных затрат на топливо и электроэнергию. Также необходима разработка новых методов сушки с усовершенствованием конструкций и оборудования, с внедрением систем рециркуляции тепла и естественного снижения начальной влажности сырья. Экономическая целесообразность искусственной сушки кормов будет всегда определяться соотношением цен на топливо. Чтобы быть конкурентоспособными на мировом рынке кормов, необходимо как минимум на 30% снизить расход энергоресурсов для получения единицы обезвоженных кормов.

При современном уровне развития техники для заготовки грубых кормов основное внимание следует уделять качеству сена, так как оно имеет самые большие потери питательных веществ в процессе уборки и хранения. Перспективные технологии заготовки сена заключаются в том, что с точки зрения минимальных по-

терь сухого вещества при уборке и хранении наиболее рационально заготавливать прессованное сено с последующим досушиванием. Поэтому в большинстве стран преобладает заготовка прессованного сена. Например, таким способом в США заготавливают 80% всего сена, в европейских странах – более 60%. Наряду с этим эффективность технологии значительно возрастает при использовании технологических комплексов и машин, обеспечивающих полную механизацию работ по прессованию и ускоренной сушке.

За последние годы технология заготовки сена была усовершенствована, практическое применение нашло прессование сена в рулоны и тюки. Крупные рулоны и тюки сена устойчивы к атмосферным осадкам и могут быть досушены в хранилищах, их можно хранить под навесами или на открытых площадках. Прессование сена в крупнообъемные тюки обеспечивает экономию при транспортировке и упрощает погрузочно-разгрузочные работы. Применение технологии заготовки сена в рулонах несколько экономичнее, чем заготовка сена в тюках прямоугольной формы [4].

В Северо-Западном регионе активно применяется технология заготовки сена, прессованного в крупногабаритные рулоны с использованием российских рулонных пресс-подборщиков ПРП-1,6,

ПРФ-110 (145, 180) (рис. 2) и машин зарубежных фирм KRONE, SIRMA и др.

Повысить качество и сохранность сена можно за счет более широкого применения технологий его обработки в прессованном виде. Однако требуется дополнительная обработка с вентилированием на сушилках [5; 6].

Экономические показатели различных технологий заготовки сена во многом определяются уровнем снижения влажности и способом просушки кормовых трав. Влажность кормовых трав снижается с 60 до 35%, как правило, за счет естественного провяливания зеленой массы, что не требует существенных затрат механических средств и энергии. Для более быстрого провяливания трав необходимо выполнять плющение. Обычная сушка в полевых условиях протекает медленно, уборочная кампания затягивается.

Наиболее трудно и долго снижать влажность сена с 35 до 20%, когда погодные условия не всегда благоприятствуют заготовке высококачественного сена. Досушить его до кондиционной влажности (16–18%) эффективно можно только с помощью искусственной сушки подогретым воздухом. Для снижения потерь сена влажностью 35% и равномерной просушки требуется использовать высоконапорный вентилятор. Так как рулоны имеют высокую плотность, нагреватель воздуха должен обеспечивать повышенный расход тепла в процессе сушки. Это, в свою

очередь, значительно увеличивает полную мощность всей установки.

На сегодняшний день отсутствуют предложения по коренному изменению технологии заготовки кормов, в частности сушки подвяленной травы или прессованного сена. Технологии заготовки сена и разработанный способ сушки с использованием вакуума на специализированных сушильных установках обеспечивают получение сена с высокими качественными показателями [7–10]. Преимуществом данной технологии является равномерная сушка рулона при уменьшении времени работы оборудования.

Исследования процесса сушки прессованного сена в вакууме на разработанной сушильной экспериментальной установке проводились в производственных условиях СЗНИИМЛПХ – обособленного подразделения ВолНЦ РАН.

Целью исследований является определение режимов работы технологического оборудования при вакуумно-импульсном способе удаления влаги.

Задача состоит в оценке качества сушки прессованного сена при разных режимах сушки и работы оборудования.

Новизна исследования заключается в разработке устройства сушки сена на основе вакуумно-импульсного метода удаления влаги, обеспечивающего высокое качество, сохранность сена и экономию энергоресурсов. Основным отличием данного способа от аналогичных разработок



Рис. 2. Заготовка сена, рулонный пресс-подборщик ПРФ-180

является равномерная просушка прессованного сена по всему объему рулона.

Установка для сушки прессованного сена содержит камеру для сушки материала, вакуумный насос, ресивер, а также электрическую установку для получения тепла. Для осуществления контроля в процессе работы экспериментальная установка оборудована системой измерения температуры и влажности материала, а также вакуумметром [8].

Заданная температура, нагрев теплоносителя устанавливаются и поддерживаются автоматически с помощью термометрического регулятора. Вакуум в камере создается при помощи насоса РВН 40/350.

Процесс вакуумного способа удаления влаги включает последовательность проведения следующих технологических операций:

- нагрев материала;
- продувка материала в камере с удалением поверхностной влаги;
- работа вакуумного насоса и создание вакуума в ресивере;
- создание вакуума в рабочей зоне камеры и материала;
- вторичная продувка материала с дополнительным удалением влаги;
- охлаждение материала, продувка материала холодным воздухом.

При работе на установке производится предварительный нагрев материала до необходимой температуры с активной вентиляцией, после чего включался вакуумный насос для создания вакуумного давления в камере. Прессованное сено под

вакуумом выдерживается до 30 минут, затем давление сбрасывается, включается калориферная установка. Для повышения эффективности работы установки и эффективности вакуумного воздействия в процессе удаления влаги из прессованного сена вакуумирование требуется проводить неоднократно. Число периодов вакуумных импульсов может составлять 3–5 в зависимости от влажности материала. Выбор технико-эксплуатационных показателей и определение характеристики процесса представлены в *табл.*

Следует обеспечить подвод нагретого воздуха в вакуумную камеру непосредственно к высушиваемому материалу. Предварительный нагрев прессованного материала с принудительной вентиляцией необходим потому, что теплоноситель нужно подавать под давлением, поскольку прессованное сено имеет высокую плотность и практически не сохнет в обычных условиях. Влага внутри рулона изолирована от внешнего слоя и не удаляется за счет плотной многослойной волонистой структуры сена.

В начальный период сушки удаляется поверхностная влага, которая легко испаряется. Чтобы повысить эффективность процесса удаления внутренней влаги, необходимо затратить повышенное количество тепловой энергии при повышении температуры нагрева материала или создания пониженного давления.

Процесс удаления влаги за счет вакуума с воздействующим нагревом материала происходит более активно. Для ин-

**Таблица. Техничко-эксплуатационные показатели**

| № п/п | Показатель                             | Характеристика     |
|-------|--|--------------------|
| 1     | Характеристика процесса                | Периодический      |
| 2     | Источник энергии                       | Электричество      |
| 3     | Механизм теплопередачи                 | Конвекция          |
| 4     | Способ удаления влаги                  | Воздушно-капельный |
| 5     | Время вакуумно-импульсной сушки, часов | 6–10               |

Источник: собственные исследования.

тенсивного удаления влаги из материала производится формирование вакуумного периода, который позволяет существенно ускорить отделение влаги при меньших затратах энергии. Влага конденсируется и находится в пространстве камеры в виде насыщенного пара, его необходимо удалять принудительно активной вентиляцией. Для дальнейшего снижения влажности при сушке материала следует последовательно повторить воздействия вакуумных импульсов при подаче теплоносителя. Таким образом, создаваемые вакуумные импульсы в эти периоды значительно ускоряют процесс удаления влаги из прессованного растительного материала за счет пониженной температуры кипения воды в вакууме.

В результате проведены опыты, которые позволяют экспериментально осуществить сравнение различных вариантов работы оборудования при сушке прессованного сена в рулонах. Использовалось экспериментальное оборудование, помогающее определить режимы работы и параметры выбранного процесса сушки растительного сырья с определенными физическими показателями.

Экспериментальные исследования технологии характеризуют способ сушки при воздействии вакуума в сравнении с обычной искусственной сушкой. В первом варианте проводился нагрев материала при создании периодического вакуума в сушильной камере с периодической продувкой нагретым воздухом от подачи теплоносителя для отвода влаги (вакуумно-импульсный способ сушки). Во втором варианте происходили нагрев материала и продувка горячим воздухом (конвективная сушка).

В ходе проверки заданных режимов сушки в вакуумной среде выбраны условия, при которых можно получить сравнительные характеристики. Для опытной проверки сформированы ру-

лоны сена массой 25 кг и плотностью 100 кг/м<sup>3</sup>. Коэффициент теплопроводности сена равен  $\lambda = 0,053$  [Вт/(м·°С)] для сухого и 0,11 Вт/(м·°С) для влажного сена.

Материалом для исследований является сено от провяленной зеленой массы сеяных бобово-злаковых трав с последующей сушкой в прессованном виде. При этом его начальная влажность составила 35–40%, влажность образцов сена после сушки 11–12%.

Исходные параметры проведения опыта:

1. Вакуумно-импульсная сушка, прессованное сено:

– нагрев температура 60–70 °С, вакуум 20–30 кПа.

2. Искусственная сушка, прессованное сено:

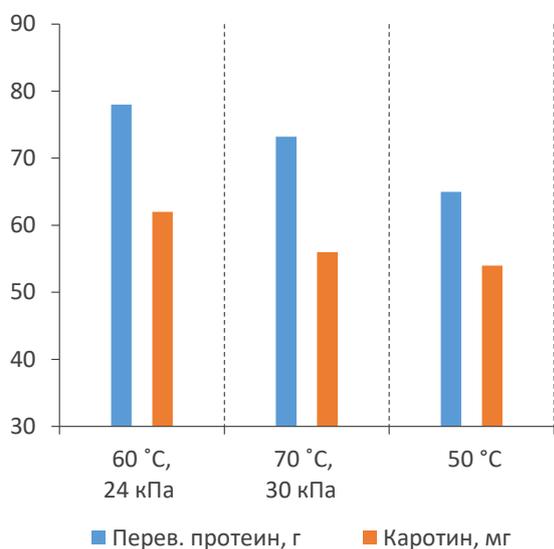
– активное вентилирование, нагрев 50 °С.

В качестве сравнения за базовый вариант принимается способ искусственной сушки прессованного сена на одной установке. Продолжительность сушки прессованного сена вакуумно-импульсным способом удаления влаги составляет 8–10 часов. Искусственная конвективная сушка нагретым воздухом при нормальном атмосферном давлении по времени проводилась 16 часов. Время сушки рулонов сена характеризует показатель эффективности работы оборудования на сушильной установке и энергозатраты данной технологии.

Потери питательных веществ могут быть сведены к минимуму путем сокращения срока высушивания. В период высушивания травы даже при благоприятных погодных условиях происходит значительное разрушение каротина, потери которого могут быть незначительными при искусственной сушке подвяленных трав горячим воздухом.

Для определения качества сушки сена при вариантах конвективного и вакуумного способа контрольные образцы отбирались в лабораторию химического

анализа. На *рис. 3* представлены значения содержания протеина и каротина после испытаний указанных образцов при вакуумно-импульсной сушке и искусственной сушке прессованного сена.



**Рис. 3. Качественные показатели вариантов сушки**

Питательность сена и значения переваримого протеина для сушки методом вакуумного удаления влаги оставляет 78 и 73,2 г в абсолютно сухом веществе, для конвективной сушки методом активного вентилирования 65,0 г.

Продолжительность, время сушки образцов составляет 8–10 часов при вакуумном способе (60 °C, 24 кПа и 70 °C, 30 кПа соответственно) и 16 часов при конвективной сушке при нагреве 50 °C.

Таким образом, применение предложенного способа сушки сена в рулонах в вакуумной сушильной камере позволяет сократить время сушки, снизить энергетические затраты, получить высококачествен-

ное сено, исключить потери питательности при хранении. При вакуумно-импульсной сушке на 8,5–13,5% повышается содержание протеина в граммах, каротина – на 13% по сравнению с конвективным способом сушки. Потери питательности сена и особенно каротина зависят от сроков уборки, времени нахождения в поле, условий и длительности сушки.

Для досушивания рулонов прессованного сена из провяленной травы нагрев должен соответствовать значениям температуры, при которой активно протекает процесс удаления влаги из данного растительного корма. Установлено, что в начале процесса сушки при наличии поверхностной, наружной влаги 30–35% можно повышать температуру теплоносителя до 70 °C, причем с интенсивной продувкой температура материала от удаления влаги снижается, дополнительно охлаждая материал не более чем на 10 °C.

### Выводы

Владея различными способами сушки сена, можно в значительной мере ослабить зависимость заготовки кормов от погодных условий. По сравнению с вариантом конвективной сушки активным вентилированием разработанная технология на основе вакуумно-импульсного удаления влаги позволяет в 1,5–2 раза сократить время сушки, снизить энергетические затраты.

В результате внедрения в производство данная технология досушки сена позволит получать высококачественный объемистый корм в условиях Европейского Севера Российской Федерации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение эффективности производства продукции животноводства: рекомендации. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. 168 с.
2. Еще о мировой торговле. Сено. URL: <https://sedov-05.livejournal.com/3418025.html> (дата обращения 01.09.2021).
3. Россия наращивает экспорт сена. В чем причины спроса. И каковы перспективы рынка? URL: <https://www.bfm.ru/news/455051> (дата обращения 01.09.2021).

4. Ахламов Ю. Заготовка кормов в рулонах // Животноводство России. 2003. № 6. С. 40–41.
5. Орстик Л.С., Ревякин Е.Л. Инновационные технологии и комплексы машин для заготовки и хранения кормов: рекомендации. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. 140 с.
6. Пятрушавичус В.И., Любарский В.М. Активное вентилирование травяных кормов. Л.: Агропромиздат., 1986. 96 с.
7. ГОСТ Р 55452-2013 Сено и сенаж. Технические условия. 2013.
8. Никифоров В.Е., Никитин Л.А. Разработка экспериментальной установки для технологии вакуумно-импульсной сушки прессованного сена // АгроЗооТехника. 2021. Т. 4. № 1.
9. Маклахов А.В., Углин В.К., Никифоров В.Е. Совершенствование технологии заготовки сена в рулонах // Владимирский земледелец. 2017. № 4 (82). С. 28–30.
10. Способ сушки волокнистых прессованных материалов: патент № 2476085 Российская Федерация / В.К. Углин, В.Е. Никифоров [и др.] – № 2010154629/13; заявл. 30.12.2010; опубл. 27.02.2013, бюл. № 6. 3 с.

### Сведения об авторах

Владислав Евгеньевич Никифоров – старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Вологодский научный центр Российской академии наук». Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Ленина, д. 14; e-mail: nfrv\_123@mail.ru

Леонид Алексеевич Никитин – кандидат технических наук, доцент, заведующий технологическим отделом, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Вологодский научный центр Российской академии наук». Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Ленина, д. 14; e-mail: nikitin.l.2010@mail.ru

## DRYING QUALITY OF BALED HAY HARVESTING BY VACUUM-PULSE METHOD OF MOISTURE REMOVAL

Nikiforov V.E., Nikitin L.A.

*In the Vologda Oblast, fodder is harvested in a short time and in difficult weather conditions, so it is challenging to get high-quality hay. The article considers new promising methods of producing high-quality baled hay on the basis of vacuum-pulse drying, which allows solving the problem of low-quality fodder and increasing dairy productivity in cattle breeding. The mentioned method makes it possible to effectively use the technical means by improving the processes of post-harvest processing with subsequent completion of drying of baled hay at the level of necessary requirements. The use of vacuum units with the introduction of new technological methods of drying provides a reduction in energy costs. The novelty of the technology lies in the development of hay drying device based on vacuum-pulse method of moisture removal, which provides high quality, hay safety and saves energy resources. The main difference between this method and similar developments is the uniform drying of baled hay throughout the volume of the bale. The*

*practical significance lies in the development of promising technologies and technical means of drying to increase the production of high-quality fodder from herbs. The quality of hay in vacuum-pulse drying is higher than in active ventilating, and the unit operating time is halved, which reduces energy costs by 1.5–2 times.*

*Drying, baled hay, quality, vacuum, heat-transfer agent, efficiency.*

## REFERENCES

1. *Povyshenie effektivnosti proizvodstva produktsii zhivotnovodstva: rekomendatsii* [Improving the Efficiency of Livestock Production: Recommendations]. Moscow: FGNU “Rosinformagrotekh”, 2008. 168 p.
2. *More on world trade. Hay*. Available at: <https://sedov-05.livejournal.com/3418025.html> (accessed: September 1, 2021; in Russian).
3. *Russia is increasing its hay exports. What are the reasons for the demand. And what are the market prospects?* Available at: <https://www.bfm.ru/news/455051> (accessed: September 1, 2021; in Russian).
4. Akhlamov Yu. Forage conservation in bales. *Zhivotnovodstvo Rossii=Animal Husbandry of Russia*, 2003, no. 6, pp. 40–41 (in Russian).
5. Orsik L.S., Revyakin E.L. *Innovatsionnye tekhnologii i komplekсы mashin dlya zagotovki i khraneniya kormov: rekomendatsii* [Innovative Technologies and Machine Complexes for Forage Harvesting and Storage: Recommendations]. Moscow: FGNU “Rosinformagrotekh”, 2008. 140 p.
6. Pyatrushyavichus V.I., Lyubarskii V.M. *Aktivnoe ventilirovanie travyanykh kormov* [Active Ventilation of Grass Forages]. Leningrad: Agropromizdat, 1986. 96 p.
7. *GOST R 55452-2013 Hay and haylage. Specifications. 2013*.
8. Nikiforov V.E., Nikitin L.A. Experimental installation development for the technology of vacuum-pulse drying of baled hay. *AgroZooTekhnika=Agricultural and Lifestock Technology*, 2021, vol. 4, no. 1 (in Russian).
9. Maklakhov A.V., Uglin V.K., Nikiforov V.E. Technology improvement of haying in rolls. *Vladimirskii zemledelets=Vladimir Agricolist*, 2017, no. 4 (82), pp. 28–30 (in Russian).
10. Uglin V.K., Nikiforov V.E. et al. *Method of Drying Fibrous Pressed Materials*: Patent no. 2476085 Russian Federation. No. 2010154629/13; submitted December 30, 2010; published February 27, 2013, bulletin no. 6. 3 p.

## Information about the authors

Vladislav E. Nikiforov – Senior Researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences. 14, Lenin Street, Molochnoe Rural Settlement, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: nfrv\_123@mail.ru

Leonid A. Nikitin – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Head of Technology Department, Senior Researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences. 14, Lenin Street, Molochnoe Rural Settlement, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: nikitin.l.2010@mail.ru