

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ КОРМОВ С ДОСУШКОЙ ПРЕССОВАННОГО СЕНА ВАКУУМНЫМ СПОСОБОМ УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ

© Никифоров В.Е., Никитин Л.А.,
Углин В.К.



Никифоров Владислав Евгеньевич

Вологодский научный центр Российской академии наук
Россия, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Ленина, д. 14
E-mail: sznii@list.ru



Никитин Леонид Алексеевич

Вологодский научный центр Российской академии наук
Россия, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Ленина, д. 14
E-mail: sznii@list.ru



Углин Владислав Константинович

кандидат технических наук
E-mail: uglin39@inbox.ru

Рациональное ведение молочного животноводства требует использования качественных кормов с применением современных технологий их заготовки. В неблагоприятных условиях Северо-Запада РФ для получения высококачественного сена необходимо применять искусственную сушку трав. В статье проведен системный анализ существующих технологий заготовки сена, рассмотрены различные способы сушки. Целью исследований является разработка технологии получения высококачественного объемистого корма с использованием вакуумно-импульсного способа удаления влаги. Новизна исследований заключается в изучении использования вакуумно-импульсного способа удаления влаги для разработки технологии получения высококачественного объемистого корма. Методы исследований включают определение теоретических основ и аналитическое сравнение применяемых в производстве технологий заготовки высококачественного корма. Для определения лучшего решения в заготовке качественного корма с экономической и энергетической точки зрения в статье выполнен системный анализ существующих технологий заготовки корма, а также современных методов и способов удаления влаги. Аналитический обзор информации по рассматриваемой теме показал, что процесс сушки объемистого корма из растительного материала в рулонах и кипах с использованием вакуумного способа удаления влаги до сих пор не изучался и не получил практического опыта. В статье приводится информация о данном процессе. Для заготовки качественного корма предложен вакуумно-импульсный способ удаления влаги, на который получен

патент № 2476085 на изобретение. Способ основан на создании определенных периодов сушки, включающих нагрев растительного материала в вакууме. Перспективы проведения дальнейшей НИР в указанной области заключаются в реализации технологической линии и определении условий работы оборудования. Применение разработанного способа досушки сена в рулонах в вакууме позволит получать высококачественное сено, сократить время сушки и снизить энергетические затраты в два раза.

Послеуборочная обработка, корм, прессованное сено, сушка, вакуум, теплоноситель, затраты энергии.

Для повышения рентабельности молочного животноводства необходимо получать достаточно грубых кормов, поскольку кормовая база должна обеспечивать реализацию высокой продуктивности животных с учетом климатических условий Северо-Западного региона РФ.

Сено является одним из основных и необходимых кормов для крупного рогатого скота в зимний период, в нем содержатся протеин, сахар, витамины, минеральные и другие вещества, требуемые для нормального развития организма животных и повышения их продуктивности. За счет высокого качества сена животные могут удовлетворить потребность в общем уровне питания (в кормовых единицах) на 40–50%, в перевариваемом протеине на 35–45%, в минеральных веществах и в каротине [1]. Поэтому при заготовке качественного сена получают высушиванием травы до влажности 14–17%.

Целью исследований является разработка эффективной ресурсосберегающей технологии досушки прессованного сена вакуумным способом удаления влаги, обеспечивающей увеличение заготовки и получение высококачественного сена в условиях повышенного увлажнения.

Методы исследований включают определение теоретических основ и аналитическое сравнение применяемых в производстве технологий заготовки высококачественного корма. На основании этого главной задачей является разработка новой ресурсосберегающей технологии

заготовки кормов путем искусственной досушки прессованного сена при минимальных потерях питательных веществ.

На современном этапе кормопроизводство включает такие технологические способы заготовки сена, как естественных и сеяных трав с прессованием в рулоны, тюки, с искусственной сушкой и применением активного вентилирования, при этом возникают большие количественные и качественные потери. В ходе кормозаготовки снизить потери и повысить качество кормов возможно только при соблюдении всех технологических требований. Однако в хозяйствах Северо-Западного региона даже при достаточном обеспечении техническими средствами получение высококачественных кормов весьма проблематично [2, с. 6–11; 3, с. 107–110]. Также в период сушки травы происходит неизбежная потеря питательных веществ, которую необходимо свести к минимуму.

Высушивание травы в естественных условиях является более длительным и сложным биохимическим процессом, когда происходит распад и потери питательных веществ в результате дыхания клеток растений до тех пор, пока содержание влаги не уменьшится примерно до 40–50%, причем потери составляют растворимые углеводы (сахар, крахмал), одновременно идет процесс изменения белковых веществ. Количество потерь питательных веществ в этот период зависит от продолжительности высушивания

после скашивания. Поэтому чем быстрее происходит высушивание, тем меньше теряется питательных веществ, чтобы скошенная трава быстрее достигла влажности 40–50%.

Дальнейшие потери питательных веществ происходят от активной деятельности ферментов и фотохимических процессов. Чтобы максимально удержать такие питательные вещества, как каротин и аминокислоты, необходимо быстро довести скошенную траву до состояния, при котором прекращается активная деятельность окислительных ферментов, т. е. снизить влажность до 14–17% досушиванием. Длительное высушивание приводит к большим потерям каротина, витаминов и протеина. Величина этих потерь зависит от растительных свойств, состава травы, способов сушки и особенно от погоды. При уборке сена в плохую погоду потери питательных веществ резко возрастают от порчи и жизнедеятельности микроорганизмов, а также вследствие усиления окислительных процессов, разрушающих каротин.

Заготовка прессованного сена в полевых условиях имеет существенные преимущества в технико-экономическом отношении по сравнению с заготовкой рассыпного сена. При правильной организации этого способа заготовки сена почти полностью исключается ручной труд, в 2–2,5 раза сокращаются потери за счет осыпания листьев и соцветий при копнении, значительно уменьшаются расходы на транспортировку, укладку. Тюки прессованного сена занимают в 2,5 раза меньше объема при складировании, чем рассыпное сено, в нем намного лучше сохраняются питательные вещества [4, с. 38]. Плотность и масса тюков зависят от влажности травы и ботанического состава. Если прессованное сено планируется досушивать с помощью активного вентилирования, рекомендуется использовать

проявленную траву с влажностью 30–35%. Плотность тюков при этом не должна превышать 110–130 кг/м³. Для подбора сена в валки и прессования его в тюки применяют прицепные пресс-подборщики. Также для механизации одним из направлений является применение рулонных пресс-подборщиков заготовки сена из валков в виде крупногабаритных тюков (рулонов) цилиндрической формы. Для этого созданы пресс-подборщики, производящие рулоны диаметром 1,5–2,2 м и длиной 1,5–2,5 м. Плотность рулонов 90–180 кг/м³, масса 550–700 кг [5; 6, с. 40–41].

Таким образом, опыт и современные исследования в технологиях процесса сушки сырья свидетельствуют о том, что массообменные и тепловые процессы сопровождаются реакцией окисления с изменением структурно-физических свойств растительного материала, что приводит к потере кормовой ценности продукта. Применяемые технологии сушки характеризуются высокими затратами энергии, особенно для современных методов удаления влаги для прессованного сена. Поэтому главной целью сушки является не только удаление влаги, но и максимальное сохранение биологически активных веществ исходного сырья. Также при сушке сырья требуется сохранить исходные элементы энергетической составляющей, такие как углеводы, сахара и протеин.

При заготовке сена для уменьшения потерь и снижения качества корма в результате длительного пребывания скошенной массы в поле применяется досушка сена методом активного вентилирования. По сравнению с полевой сушкой при досушке сена методом активного вентилирования сокращаются механические потери зеленой массы, в таком сене на 25–30% больше кормовых единиц и на 40–45% больше переваримого протеина [7, с. 41–42]. Метод активного вентилирования использует

интенсивный воздухообмен с принудительной вентиляцией, когда подаваемый вентилятором воздух имеет более низкую влажность и выносит влагу из сена. Досушивание сена активным вентилированием осуществляют в специально оборудованных помещениях, складах, сараях. Прессованное сено, предназначенное для досушивания, должно иметь влажность не более 30–35%, рассыпное и измельченное – не более 35–45% [8, с. 40].

При досушке провяленной массы в скирдах монтируют устройство воздухопровода высотой 2 м, шириной 1,4 м, который имеет щели, общая площадь которых должна быть не менее половины поверхности воздухопровода. В скирды провяленную массу укладывают на всю высоту. Для досушки сена активным вентилированием в скирдах применяется специальная установка УВС-10, состоящая из металлического воздухопровода и вентилятора.

При сушке сена в хранилищах под навесом устраивают воздухораспределительную систему, состоящую из основного канала и боковых решетчатых настилов. Сушка проводится послойно. Первый слой укладывают толщиной не более 2 м. После того как влажность его снизится до 25%, укладывают второй, затем третий слой.

Подобную воздухораспределительную систему применяют и при досушке прессованного сена. Тюки досушивают в штабеле на открытой площадке, причем канал воздухопровода устраивается из самих тюков. Общая высота укладки прессованного сена не должна превышать 5 м. Первый слой тюков укладывают толщиной 1,5 м и вентилируют его с 35% до 20–25% влажности. Затем укладывают следующий слой (1,5 м) и продолжают вентилировать.

Технологии сушки, применяемые в настоящее время, разнообразны и классифицируются по различным признакам: по виду теплоносителя, объекта сушки,

по конструктивным особенностям оборудования.

Технологии сушки разделяются на две категории при нормальном атмосферном давлении и в разреженной среде вакуума. Существующий конвективный способ досушки сена относится к категории нормального давления, отличается простотой, возможностью регулирования температуры теплоносителя, испарение влаги происходит за счет тепловой энергии подогретого воздуха. Установки, работающие по данному принципу, имеют высокие удельные энергозатраты на 1 кг испаренной влаги (от 1,6 до 3,32 кВт·ч/кг). Высокая температура и продолжительность сушки способствуют окислительным процессам, приводят к потерям биологически активных веществ. Важную роль при конвективной сушке имеют параметры агента сушки, толщина слоя материала и его плотность. Недостатком конвективного способа сушки является относительно небольшой коэффициент теплоотдачи от сушильного агента к поверхности материала.

Для совершенствования процессов заготовки сена требуется эффективная технология с досушкой рулонов сена при использовании вакуума. Применение вакуумных технологий считается достаточно новым, причем первый патент по сушке с помощью вакуума относится к 1883 году. Вакуумная сушка применяется во многих областях промышленности. Технология вакуумной сушки используется для высушивания различных пищевых продуктов, в непищевых отраслях применяется при сушке пиломатериалов [9], минеральных удобрений, лекарственных растений.

Вода кипит при температуре 100°C при атмосферном давлении. Преимущество сушки в вакууме в том, что температура кипения может быть понижена путем уменьшения давления, путем создания

вакуума. Основная задача, которая решается при вакуумной сушке, – подвод тепловой энергии к материалу. Существуют такие методы передачи тепла, как конвективный, кондуктивный, терморрадиационный (тепловое излучение), высокочастотный (СВЧ). Они определяют ключевые признаки описания объекта исследования при проведении мониторинга технологий сушки материалов.

Кондуктивный метод подвода тепла для сушки сена малоэффективен, поэтому конвективный метод рассматривается как перспективный для дальнейшего изучения процесса. Широкий спектр вакуумных технологий сушки с конвективным подводом тепловой энергии можно классифицировать как «импульсные» технологии, в которых сушильный процесс складывается из последовательных чередующихся стадий прогрева материала и создания вакуума. Существует также конвективная сушка пилломатериала при пониженном давлении среды. Сущность «импульсных» технологий заключается в проведении отдельных циклов сушильного процесса. На первой стадии передается тепловая энергия от теплоносителя при атмосферном давлении, в этот период температура материала повышается с испарением влаги. Стадия «импульса» продолжается до температуры материала, превышающей температуру кипения воды с низким давлением при вакуумировании. На второй стадии вакуума начинается интенсивное испарение влаги с поверхности материала, в клетках происходит вскипание воды, образовавшийся

водяной пар приобретает направление движения к поверхности под избыточным давлением [9]. Процесс сушки в вакууме состоит из движения пара и влаги к поверхности материала с испарением в окружающую среду. По мере уменьшения давления среды в вакууме на поверхностном слое слабеют межмолекулярные связи, и молекулы, у которых силы взаимодействия меньше других, свободно диффундируют в среду (табл.).

Особенностью «импульсной» технологии является сушка материала путем периодического снижения давления. Физической основой этого метода является использование эффекта интенсивного молярного переноса пара, возникающего после предварительного прогрева влажного материала под атмосферным давлением и последующего быстрого снижения давления ниже атмосферного. В этот момент «сброса» давления во всем объеме образца происходит вскипание влаги, образуется перепад давления, способствующий формированию направленного к поверхности потока влаги в виде пара [10].

Применение СВЧ нагрева также актуально при использовании на сене. Принцип СВЧ-сушки состоит в разогреве материала с помощью энергии электромагнитного высокочастотного поля за счет изменения направления движения молекул и межмолекулярного трения [11, с. 64]. Достоинства способа – быстрый прогрев и способность СВЧ-поля проникать в материал на значительную глубину (что необходимо для рулонов сена), возможность высокой концентрации и рассеи-

Таблица. Показатели парообразования в зависимости от давления

Давление, МПа	Температура насыщения водяного пара, °С	Удельный объем пара, м ³ /кг	Плотность пара, кг/м ³	Удельная теплота парообразования, кДж/кг
0,1	100	1,694	0,590	2257,5
0,01	45,8	14,671	0,068	2392,1

Источник: Гареев Ф.Х. Нетрадиционная сушка древесины: вакуумная и СВЧ // Лесная промышленность ЛПИ. 2004. № 5 (18). С. 62–65.

вания энергии в единице объема внутри материала. Однако его использованию сопутствуют значительные затраты на дополнительное оборудование и существенные потери энергии.

С учетом преимуществ вакуумной сушки в СЗНИИМЛПХ – обособленном подразделении ФГБУН ВолНЦ РАН разработан новый способ сушки волокнистых прессованных материалов, получен патент № 2476085 на изобретение [12]. Сельскохозяйственную продукцию, например влажное сено 30–35%, в рулонах загружают в вакуумную сушильную камеру, производят нагрев до 65–70°C и создают вакуумно-импульсное воздействие. Выдержка под вакуумом 250–300 мм рт. ст. с прогревом растительного материала по всему объему составляет один цикл сушки. В процессе сушки из материала будет испаряться значительно меньше влаги. Поэтому необходимо высушить материал с периодическим конвективным нагревом. Количество периодических циклов вакуумирования может быть многократным до кондиционной влажности сена 17%.

Научно-практическое значение для получения высококачественного объемистого корма заключается в разработке усовершенствованной технологии досушки с использованием вакуумно-импульсного способа удаления влаги. Примене-

ние предложенного способа сушки сена в рулонах в вакуумной сушильной камере позволяет сократить время сушки, снизить энергетические затраты, получить высококачественное сено, исключить необходимость применения дорогостоящего и громоздкого оборудования. Наиболее достоверным критерием сравнительной оценки эффективности работы различных сушильных установок являются удельные энергозатраты на удаление 1 кг жидкости по сравнению с тепловой конвективной сушкой – 4136 кДж/кг (см. табл.).

На рис. представлена функциональная схема вакуумной технологии досушки прессованного сена с многократным конвективным нагревом растительного материала и периодическим вакуумированием.

Основные характеристики технологии:

- вакуумно-импульсная сушка (сушка в разряженной среде вакуума);
- способ подвода тепловой энергии – конвективно-кондуктивный;
- принудительная вентиляция;
- способ удаления влаги: воздушно-капельный, пар.

Таким образом, при неблагоприятных условиях Северо-Запада РФ для получения высококачественного сена необходимо дополнительно применять искусственную досушку трав. Необходимость,

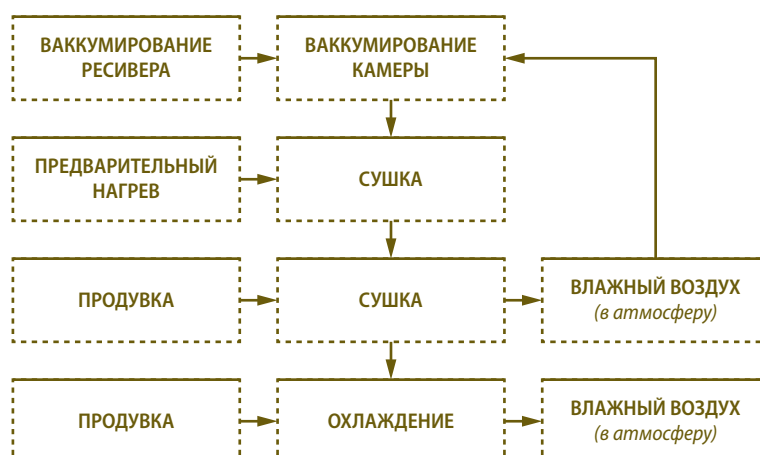


Рис. Схема вакуумной сушки

безусловно, определена высокой эффективностью приготовления сена с повышенным содержанием каротина по сравнению с полевой сушкой (причем существует меньшая зависимость от погоды за счет сокращения времени нахождения скошенной травы в поле), снижением потерь питательных веществ и витаминов.

Основные результаты заключаются в разработке функциональной модели

выполнения вакуумной технологии досушки прессованного сена с многократным конвективным нагревом растительного материала и периодическим вакуумированием. Применение разработанного способа досушки сена в рулонах в вакууме позволит получать высококачественное сено, сократить время сушки и снизить энергетические затраты в два раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников А.П., Щеглов В.В., Первов Н.Г. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 2003.
2. Состояние и перспективы развития кормопроизводства Вологодской области / А.В. Маклахов [и др.] // Адаптивное кормопроизводство. 2016. № 1. С. 6–16.
3. Кузнецов Н.Н., Терентьев А.В. Технология заготовки высококачественного сена в условиях повышенного увлажнения // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2008. № 80. С. 106–111.
4. Кузнецов Н.Н. Рулонное сено питательнее // Сельский механизатор. 2007. № 7. С. 38.
5. Орси́к Л.С., Ревякин Е.Л. Инновационные технологии и комплексы машин для заготовки и хранения кормов: рекомендации. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. 140 с.
6. Ахламов Ю.Д. Заготовка кормов в рулонах // Животноводство России. 2003. № 6. С. 40–41.
7. Научно-практические требования по производству высококачественных кормов из трав / Е.А. Тяпугин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 1. С. 41–42.
8. Кузнецов Н.Н., Терентьев А.В. Экспериментальная установка для активного вентилирования рулонного сена // Молочнохозяйств. вестн. 2012. № 1 (5). С. 37–41.
9. Чагин О.В., Кокина Н.П., Пастин В.В. Оборудование для сушки пищевых продуктов. Иваново, 2007. 137 с.
10. Сафин Р.Р. Технологические режимы вакуумной сушки пиломатериалов при конвективных методах подвода тепла // Деревообрабатывающая промышленность. 2016. URL: http://dop1952.ru/statues-statue_id-3.html (дата обращения 26.06.2018).
11. Гареев Ф.Х. Нетрадиционная сушка древесины: вакуумная и СВЧ // Лесная промышленность ЛПИ. 2004. № 5 (18). С. 62–65.

12. Пат. 2476085 Российская Федерация, МПК А23К 3/02, А23В 7/00. Способ сушки волокнистых прессованных материалов / Углин В.К. (RU), Никифоров В.Е., Тяпугин Е.А., Тяпугин С.Е.; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение «Северо-Западный научно-исследовательский институт молочного и лугопастбищного хозяйства» – № 2010154629/13; заявл. 30.12.2010; опубл. 27.02.2013, Бюл. № 6.

Сведения об авторах

Никифоров Владислав Евгеньевич – старший научный сотрудник технологического отдела. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Вологодский научный центр Российской академии наук». Россия, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Ленина, д. 14. E-mail: sznii@list.ru. Тел.: +7(8172) 52-56-54.

Никитин Леонид Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий технологическим отделом, старший научный сотрудник. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Вологодский научный центр Российской академии наук». Россия, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Ленина, д. 14. E-mail: sznii@list.ru. Тел.: +7(8172) 52-56-54.

Углин Владислав Константинович – кандидат технических наук. E-mail: uglied39@inbox.ru.

TECHNOLOGY OF FODDER PREPARATION WITH THE COMPLETION OF DRYING OF PRESSED HAY THROUGH THE VACUUM REMOVAL OF MOISTURE

Nikiforov V.E., Nikitin L.A., Uglin V.K.

Rational management of dairy farming requires the use of high-quality fodder with the application of modern technologies of their harvesting. In the severe conditions of the North-West of the Russian Federation, in order to obtain high-quality hay, it is necessary to apply artificial drying of herbage. The authors carry out a comprehensive analysis of existing technologies of hay preparation and consider various ways of its drying. The aim of the research is to develop a technology for producing high-quality bulky feed using a vacuum pulse method of removing moisture. The novelty of the research is to study the use of vacuum pulse method for moisture removal to develop a technology for producing high-quality bulky feed. Research methods include the definition of theoretical foundations and analytical comparison of technologies used in the production of high-quality feed. To determine the best solution in the preparation of high-quality feed from an economic and energy point of view, the article provides a systematic analysis of existing technologies of feed preparation, as well as modern methods and methods of moisture removal. An analytical review of the information on the topic has shown that the process of drying bulky feed from plant material in rolls and bales using a vacuum method of moisture removal has not yet been studied and has not received practical experience. The article pro-

vides information about this process. For harvesting high quality fodder, the authors propose a vacuum-pulse method of moisture removal, which received patent of invention No. 2476085. The method is based on the creation of certain periods of drying, including heating the plant material in vacuum conditions. Prospects for further research in this area are to implement the production line and determine the operating conditions of the equipment. The application of the developed method of drying hay in rolls in vacuum will help obtain high-quality hay, reduce the drying time and reduce energy costs twice.

Post-harvest processing, feed, pressed hay, drying, vacuum, coolant, energy costs.

Information about the authors

Nikiforov Vladislav Evgen'evich – Senior Research Associate at the Technology Department. Federal State Budget Institution of Science “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”. 14, Lenin Street, Molochnoye rural settlement, Vologda, 160555, Russian Federation. E-mail: sznii@list.ru. Phone: +7(8172) 52-56-54.

Nikitin Leonid Alekseevich – Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Head of the Technology Department, Senior Research Associate. Federal State Budget Institution of Science “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”. 14, Lenin Street, Molochnoye rural settlement, Vologda, 160555, Russian Federation. E-mail: sznii@list.ru. Phone: +7(8172) 52-56-54.

Uglin Vladislav Konstantinovich – Ph.D. in Engineering. E-mail: uglin39@inbox.ru.