



УДК 664.834

В.В. Садов, Н.И. Капустин
V.V. Sadov, N.I. Kapustin

**ОБОСНОВАНИЕ КОНТРОЛЬНОГО ПАРАМЕТРА
 ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТНЫМ РЕЖИМОМ
 В УСТАНОВКАХ ДЛЯ ДОСУШИВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

**SUBSTANTIATION OF THE CONTROL PARAMETER FOR CONTROLLING
 THE MOISTURE CONDITIONS IN INSTALLATIONS
 FOR FINAL DRYING AND STORAGE OF PLANT RAW MATERIALS**

Ключевые слова: растительное сырье, досушивание, влажность, хранение, ветровая энергия, солнечная радиация.

Длительное хранение продукции может осуществляться только при определенных условиях: замораживание, химическая обработка или сушка. Для растениеводческой продукции, а именно сена, в основном используется сушка. Этот процесс позволяет снижать влажность в материале до минимальных значений для предотвращения развития болезнетворных и грибковых микроорганизмов. Необходимо учитывать, что листья и соцветия скошенных трав наиболее богаты каротином, высыхают на порядок быстрее стеблей, поэтому траву не сгребают в день скашивания. При незначительном времени естественной сушки в большей мере сохраняются питательные вещества, при этом влажность, как правило, высокая. В этом случае нужно проводить искусственную сушку. Здесь имеются противоречия: при достижении необходимой влажности дальнейшая вентиляция ведет только к дополнительным энергозатратам, а прекращение вентиляции при высокой влажности – к порче продукции. Алтайский край, являясь лидером по поголовью жвачных животных, имеет одни из худших показателей по продуктивности. Для оценки возникшей проблемы с качеством сухих кормов можно считать, что основным показателем нормального качества сырья является его конечная масса. Такой подход в некоторых случаях позволит упростить систему управления сушкой и снизить энергозатраты. При использовании активного вентилирования будем иметь значительные затраты энергии, что губительно влияет на экономику предприятия. Реализовать способ сушки при незначительных энергоза-

тратах можно с использованием специального устройства досушки скирдов. Устройство, содержащее ветросиловую установку, гелионагреватель с автоматическим регулированием режима их работы в зависимости от параметров внешней среды и массы сырья, позволит обеспечить требуемое качество сырья.

Keywords: plant raw materials, final drying, moisture conditions, storage, wind energy, solar radiation.

Long storage of products can be carried out only under certain conditions: freezing, chemical processing or drying. For plant products, namely hay, drying is mainly used. This process allows reducing the moisture content in the material to minimum values to prevent the development of pathogens and fungal microorganisms. It should be taken into account that the leaves and inflorescences of the cut grasses, the richest in carotene, dry out an order of magnitude faster than the stems, so the grass is not raked on the day of mowing. With a short natural drying time, nutrients are preserved to a greater extent, while the moisture content is usually high. In this case, artificial drying should be carried out. There are contradictions here: when the required moisture content is reached, further ventilation only leads to additional energy consumption, and stopping of ventilation at moisture content leads to product deterioration. The Altai Region, being the leader in the number of ruminant farm animals, has one of the worst performance indices. To evaluate the problem with the quality of dry forage, it may be considered that the main indicator of the normal quality of raw materials is its final weight. In some cases, this approach will simplify the drying control system and reduce energy costs. When using active ventilation, significant energy costs occur which have a detrimental

effect on the economics of an enterprise. It is possible to implement the drying method with low energy consumption using a special device for drying the haystacks. A device containing a wind power plant, a solar heater with automat-

ic regulation of their operating mode, depending on the parameters of the external environment and the weight of raw materials, will ensure the required quality of raw materials.

Садов Виктор Викторович, д.т.н., ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sadov.80@mail.ru.

Капустин Николай Игнатьевич, к.т.н., г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sadov.80@mail.ru.

Sadov Viktor Viktorovich, Dr. Tech. Sci., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sadov.80@mail.ru.

Kapustin Nikolai Ignatyevich, Cand. Tech. Sci., retiree, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sadov.80@mail.ru.

Введение

Хранение растениеводческой продукции зачастую является одной из наиболее энергозатратных операций в процессе переработки растениеводческой продукции. В зависимости от требований к конечной продукции для длительного хранения последнюю консервируют путем замораживания, химической обработки или сушки. Сушка – наиболее распространенный способ консервации, но во время проведения этого процесса происходит наибольшая потеря каротина и питательных веществ. Сушка растительного сырья происходит преимущественно в летний период, и производитель стремится максимально использовать естественную энергию (энергия солнца и ветра). Этот процесс достаточно эффективен и просто контролируется при просушке сена в валках, овощей и фруктов на поддонах, то есть при тонком слое сырья и отсутствии осадков. Необходимо учитывать, что листья и соцветия скошенных трав наиболее богаты каротином, высыхают на порядок быстрее стеблей, поэтому траву не сгребают в день скашивания, чтобы не произошло «сомовозгорание». Каротин разлагается под действием солнечных лучей, а пересохшие листья обламываются, крошатся и осыпаются. Влажность внутри стеблей остается высокой. Периодическое переворачивание валков обеспечивает равномерность сушки, так как листья верхнего слоя травы, попав внутрь валка, не пересыхают, забирая влагу от стеблей. При складировании травы влажностью 45% ее необходимо досушить, поэтому все складские помещения для овощей и фруктов, а также хранилища для зерна имеют вентиляцию, обеспечивающую удаление остаточной влаги из сырья. Даже сено в стогах в период дождливой погоды искусственно вентилируют через специально устроенные каналы (шаромы). Сложность заключается в том, что при достижении необходимой влажности

дальнейшая вентиляция ведет только к дополнительным энергозатратам, а прекращение вентиляции при высокой влажности приводит к порче продукции. Таким образом, создается противоречие между необходимостью применения вентиляции для обеспечения качества продукции и энергозатратами. Способам и устройствам для сушки и хранения с использованием дополнительных источников энергии уделено много внимания, чего нельзя сказать об использовании возобновляемых естественных источников энергии и системах управления ими.

Цель работы – снижение энергозатрат на обеспечение влажностного режима растительного сырья в процессе досушки и хранения.

Объекты и методы исследований

Алтайский край занимает среди регионов РФ лидирующее положение по поголовью крупного рогатого скота и лошадей, 7-е место по поголовью овец и коз. Основным кормом для этих животных является стебельчатый корм, однако по продуктивности животных Алтайский край уступает. Так, по валовому надою молока он находится на 7-м месте в РФ, а по среднесуточным привесам – на одном из последних мест в РФ (табл. 1) [1, 2].

Причиной низкой продуктивности животных являются не только особые климатические условия края, но и ошибки в проектировании и строительстве зданий, выборе технологии содержания и кормления животных. В летний период в большинстве предприятий в АК животные получают корм на естественных пастбищах. Для кормления в зимний период используют высушенную траву, уложенную в скирды или тюки прямоугольной или цилиндрической формы. Однако для производства тюков влажность травы должна быть 15-16%, что сложно обеспечить при естественной сушке в отдельные годы.

Статистические сведения по животноводству Алтайского края

Показатель	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Валовой надой молока, тыс. т	394,9	391,3	389,1	400,0	403,3
Среднесуточные привесы, г:					
- крупно-рогатый скот	490,0	511,0	514,0	515,0	536,0
- свиньи	472,0	420,0	410,0	493,0	454,0
- овцы и козы	34,0	21,0	36,0	75,0	29,0
Поголовье скота КРС мясного направления, гол.	19952,0	17167,0	14362,0	10906,0	11055,0
Скота и птица на убой (в убойном весе), тыс. т	91,5	84,6	78,3	74,6	71,2

Технология заготовки сена в скирды позволяет уменьшить жесткость требований к влажности путем введения консервантов, например, соли или органических кислот, а также вентилирования скирды.

В предгорье края сложно довести влажность до требуемых кондиций. Примером может служить опыт АКХ «Ануйское» Петропавловского района, которые содержит 10000 гол. крупного рогатого скота и из них 3000 дойные, но часто способы консервации не позволяют сохранить сено и требуется досушивание.

Основными факторами, способствующими при хранении активизации жизнедеятельности микроорганизмов, являются вода, температура и кислород как в отдельности, так и в определенной совокупности.

Для длительного хранения растительного сырья микроорганизмы необходимо из состояния активной жизнедеятельности (биоза) перевести в анабиоз или абиоз. В любом из этих состояний ограничиваются или прекращаются жизнедеятельность и размножение микроорганизмов, портящих сырье.

Листья и соцветия скошенных трав, наиболее богатые каротином, высыхают на порядок быстрее стеблей, поэтому траву не сгребают в день скашивания, чтобы не произошло «сомовозгорание» (рис. 1).

Каротин разлагается под действием солнечных лучей, а пересохшие листья обламываются, крошатся и осыпаются. Влажность внутри стеблей остается высокой. Периодическое переворачивание валков обеспечивает равномерность сушки, так как листья верхнего слоя травы, попав внутрь валка, не пересыхают, забирая влагу от стеблей. При складировании травы влажностью 45% ее необходимо досушить. Поэтому все складские сооружения как для овощей и фрук-

тов, а также хранилища для зерна имеют естественную или механическую вентиляцию, обеспечивающую удаление остаточной влаги из сырья, в зависимости от его объемов, технологии хранения и свойств сырья [3-7].

Для снижения потерь питательных веществ при сушке растительного сырья применяют различные способы искусственной сушки. При соблюдении определенных условий можно сохранить до 90% питательных веществ в высушенных кормах (табл. 2) [8, 9].

Известные способы и устройства управления влажностным режимом используют в качестве параметра контроля температурно-влажностный режим хранящегося сырья по одной или нескольким контрольным точкам, но устройство датчиков температуры и влажности основано только на косвенных показателях, и системы контроля по нескольким параметрам достаточно сложны. Предпосылкой для оценки возникшей проблемы можно считать, что основным показателем нормального качества сырья является его конечная масса. Такой подход в некоторых случаях, возможно, позволит упростить систему управления сушкой и снизить энергозатраты. При использовании активного вентилирования будем иметь значительные затраты энергии, что губительно влияет на экономику предприятия.

Доводы о более высоком качестве контроля с использованием нескольких датчиков параметров сырья можно считать несостоятельными ввиду того, что датчики устанавливаются в строго заданных точках и характеризуют только режимы в локальных зонах, но не решают проблему в целом. Таким образом, разработка системы автоматического управления влажностным режимом по «прямому» параметру – актуальная задача, имеющая прикладное значение.

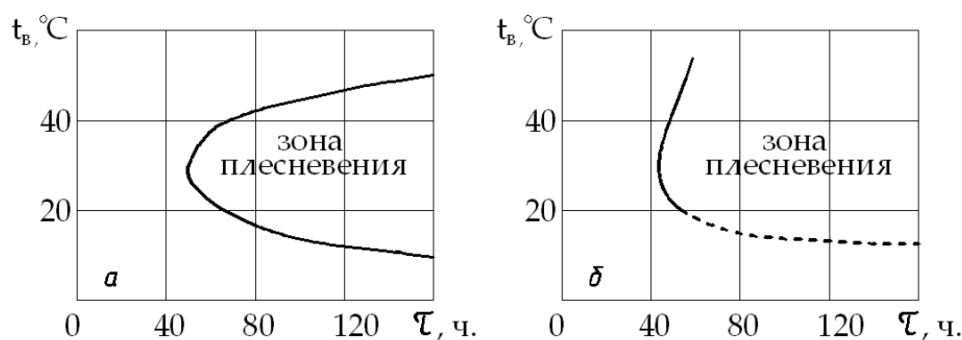


Рис. 1. Продолжительность сохранности влажной травы:
а – по Terry; б – по Lehmann

Таблица 2

Показатели качества высушенных кормов из трав

Наименование показателей	Корм из искусственно высушенной травы	Сено полевой сушки
Общие потери сухого вещества при заготовке и хранении, %	6-12	18-21
Содержание питательных веществ в 1 кг кормов:		
- протеина, г	110-165	75-90
- каротина, мг	120-165	25-37
- кормовых единиц	0,65-0,72	0,35-0,47

Результаты исследования

В стационарных условиях влажность материала есть отношение массы воды W к массе влажного материала M , причем масса влажного материала M – это смесь абсолютно сухого вещества M_c и воды, кг. Масса материала в процессе сушки уменьшается от M_1 до M_2 ввиду снижения влажности материала с W_1^0 до W_2^0 . Количество испаренной влаги W при сушке определится из выражения [3]

$$W = M_1 \frac{W_1^0 - W_2^0}{100 - W_2^0} = M_2 \frac{W_1^0 - W_2^0}{100 - W_1^0}.$$

Масса влажного материала в процессе сушки непрерывно изменяется, что вносит неопределенность в характеристику процесса, формула приемлема только для анализа процесса. Кроме того, при сушке травы в валках используются конвективный, кондуктивный и лучевой способы теплообмена, а при досушивании в копнах и скирдах – конвективный и кондуктивный. Стационарным, или квазистационарным, процесс не является как по причине суточных колебаний температуры и влажности воздуха, имеющих непредсказуемый характер, так и разнице происходящих процессов в высушиваемом материале с неодинаковыми физическими свойствами, формой и размерами. В дневной период относи-

тельная влажность воздуха может снижаться до 20% при повышении температуры до 40°C, но ночью может повыситься до 100%, соответственно, повышается влажность части высушенного материала конвективным способом (листовая часть). Кроме того, в стеблях происходит перемещение влаги из глубины к поверхности с частичным удалением конвекции и частичной передачей контактным способом листовой части. Все переменчиво как по величине, так и направлению (по модулю и вектору). Постоянной величиной в процессе сушки является масса абсолютно сухого вещества M_c . Соответственно, опираясь на постоянную величину, проще реализовать процесс управления сушкой.

Реализовать способ сушки при незначительных энергозатратах можно с использованием данного устройства (рис. 2) [10].

При температуре сена выше температуры наружного воздуха последний поступает в воздухопровод 1, проходит через сено (причем частично через решетчатый настил 2) в полость, образованную навесом 4, закрепленном на каркасе 3, и сеном, затем удаляется из полости.

При температуре наружного воздуха выше, чем температура сена, наружный воздух поступает в полость между навесом 4 и сеном.

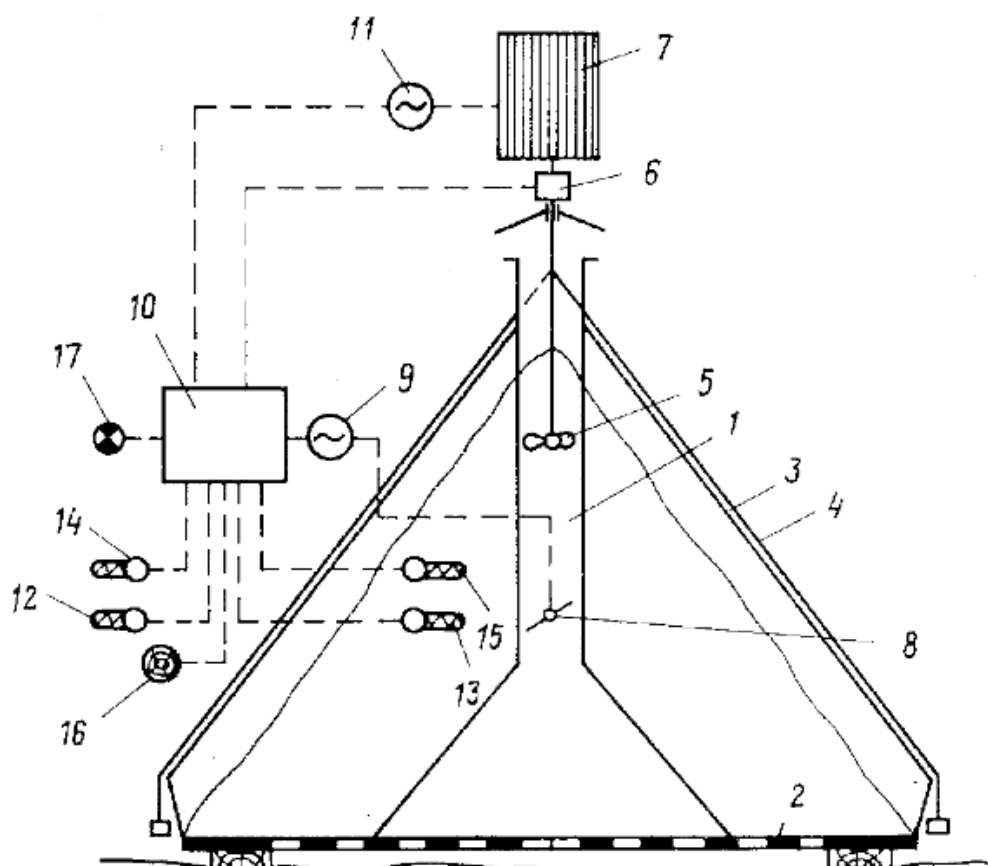


Рис. 2. Устройство для досушивания сена в скирдах:

1 – воздуховод; 2 – решетчатый настил; 3 – каркас; 4 – навес из светопропускаемого материала; 5 – вентилятор; 6 – средство реверсирования; 7 – ветродвигатель; 8 – заслонка; 9 – регулятор; 10 – блок управления; 11 – регулятор; 12, 13 – датчики температуры приточного воздуха и сена; 14, 15 – датчики влажности приточного воздуха и сена; 16 – датчик скорости ветра; 17 – индикатор

В дневное время за счет солнечной радиации воздух в полости подогревается, проходит через сено и удаляется через воздуховод 1 вентилятором 5. Изменение направления движения потока воздуха обеспечивается механизмом 6 реверсирования. При достижении влажности сена, требуемой для хранения, по сигналу датчика 15 влажности сена блок 10 управления с помощью регулятора 11 останавливает ветродвигатель 7. Кроме того, индикатор 17 подает световой и звуковой сигнал. Процесс досушивания может возобновляться при отклонении параметров сена от заданных.

Выводы

1. Алтайский край, являясь лидером по поголовью жвачных животных в стране, имеет одни из худших показателей по продуктивности. Одна из причин – это низкое качество кормов.

2. Повышение качества сена возможно при меньшем сроке нахождения при естественной

сушке. Досушивание сена в местах хранения является актуальной задачей ввиду нестационарности процесса из-за непрогнозируемости погодных условий и неоднородности составных частей травы. Снижение энергозатрат на досушивание сена возможно при использовании возобновляемых источников энергии: энергии ветра для привода вентилятора и солнца для подогрева воздуха.

3. В качестве основного параметра контроля за режимом сушки целесообразно использовать массу сухой части сена как неизменной величины. Предложенное устройство, содержащее ветросиловую установку, гелионагреватель с автоматическим регулированием режима их работы в зависимости от параметров внешней среды и массы сырья, позволит обеспечить качество сырья при снижении энергозатрат. Для повышения эффективности работы установка может быть дополнена электроприводом и дополнительным нагревательным элементом.

Библиографический список

1. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 20.03.2021). – Текст: электронный.
2. Управление Федеральной службы по государственной статистике по Алтайскому краю и Республике Алтай: официальный сайт. – URL: <http://akstat.old.gks.ru/> (дата обращения: 20.03.2021). – Текст: электронный.
3. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – Москва: Энергия, 1968. – 472 с. – Текст: непосредственный.
4. Технологические процессы интенсивной сушки травы при заготовке сена активным вентилярованием: методические рекомендации. – Санкт-Петербург: СЗНИИМЭСХ, 2002. – 55 с. – Текст: непосредственный.
5. Петрушавичус, В.И. Активное вентилирование травяных кормов / В. И. Петрушавичус, В. М. Любарский. – Ленинград: Агропромиздат, 1986. – 94 с. – Текст: непосредственный.
6. Тюкалов, Ю.А. Снижение энергоемкости досушивания провяленной травы / Ю.А. Тюкалов – Текст: непосредственный // Экология и сельское хозяйство. – Санкт-Петербург; Павловск, 1999. – С. 50-52.
7. Скакун, В.А. Сушка и активное вентилирование зерна и зеленых кормов. – Москва: Колос, 1970. – Текст: непосредственный.
8. Системы активной вентиляции для сушки биологически активного сырья: учебное пособие / В. И. Бодров, М. В. Бодров, М. Н. Кучеренко, А. А. Юдинцев; под общей редакцией В. И. Бодрова; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2010. – 148 с.: ил. 54. – Текст: непосредственный.
9. Ulreich G. Der Luftbedarf bei Belüftungstrocknung von Heu unter Berücksichtigung der Atmungswärme und Nährstoffverluste. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 1967.
10. А. с. 1482595 (СССР) Устройство для досушивания сена в скирдах / А. В. Кириллов,

Н. И. Капустин. – заявл. 01.20.1987; опубл. 05.30.1989., Бюл. № 20. – 2 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Federalnaia sluzhba gosudarstvennoi statistiki: ofitsialnyi sait. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (data obrashcheniia 20.03.2021). – Tekst: elektronnyi.
2. Upravlenie Federalnoi sluzhby po gosudarstvennoi statistike po Altaiskomu kraiu i Respublike Altai: ofitsialnyi sait. – URL: <http://akstat.old.gks.ru/> (data obrashcheniia 20.03.2021). – Tekst: elektronnyi.
3. Lykov, A.V. Teoriia sushki. – Moskva: Energiia, 1968. – 472 s.
4. Tekhnologicheskie protsessy intensivnoi sushki travy pri zagotovke sena aktivnym ventilirovaniem: metodicheskie rekomendatsii. – Sankt-Peterburg: SZNIIMESKh, 2002.
5. Petrushavichus, V.I. Aktivnoe ventilirovanie travianykh kormov / V.I. Petrushavichus, V.M. Liubarskii. – Moskva: Rosselkhozizdat, 1986.
6. Tiukalov, Iu.A. Snizhenie energoemkosti dosushivaniia provialennoi travy / Iu.A. Tiukalov // Ekologiya i selskoe khoziaistvo. – Sankt-Peterburg – Pavlovsk, 1999. – S. 50-52.
7. Skakun, V.A. Sushka i aktivnoe ventilirovanie zerna i zelenykh kormov. – Moskva: Kolos, 1970.
8. Bodrov, V.I. Sistemy aktivnoi ventilatsii dlia sushki biologicheskii aktivnogo syria: uchebnoe posobie / V.I. Bodrov, M.V. Bodrov, M.N. Kucherenko, A.A. Iudinsev; pod obshch. red. V.I. Bodrova; Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhnii Novgorod: NNGASU, 2010. – 148 s.; il. 54.
9. Ulreich G. Der Luftbedarf bei Belüftungstrocknung von Heu unter Berücksichtigung der Atmungswärme und Nährstoffverluste. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 1967.
10. A.s.1482595 (SSSR) Ustroistvo dlia dosushivaniia sena v skirdakh. Kirillov A.V., Kapustin N.I. Biulleten izobretenii. – 1989. – No. 20.

