



В.Е. Никифоров^{1,2}, Л.А. Никитин²
¹Вологодский государственный университет,
²Вологодский научный центр Российской академии наук

АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ И РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ВАКУУМНО-ИМПУЛЬСНОЙ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по технологии сушки прессованных растительных материалов с использованием вакуума. Растительные материалы имеют низкую теплопроводность, поэтому процесс удаления влаги требует значительных затрат энергии. Температура теплоносителя и нагрев материала определяет скорость и продолжительность процесса сушки. В материалах статьи приводятся характеристика основного технологического оборудования экспериментальной установки в реализации способа вакуумно-импульсного удаления влаги. Проведен сравнительный анализ общих затрат энергии по времени работы электрооборудования на экспериментальной установке для конвективного и вакуумно-импульсного способа удаления влаги в процессе сушки прессованного сена. Интенсивность сушки растительного материала при вакуумном воздействии в 1,5 раза выше, чем конвективной.

Сушка, теплоноситель, вакуум, растительный материал, электрооборудование, затраты энергии.

Исследования по совершенствованию технологий сушки имеют большое практическое значение для интенсификации теплоэнергетических, энерготехнологических и химико-технологических процессов в разных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Эта работа приобретает особый смысл для разработки новой техники и направлена на получение качественных материалов, когда процесс сушки должен осуществляться оптимально при минимальных затратах тепла с получением требуемых показателей продукта от исходного сырья.

Сушка – это довольно сложный технологический процесс, основным элементом которого является влияние интенсивного теплообмена. При разработке оборудования в технологии сушки различных материалов предусматривается выбор определенных факторов:

- способ воздействия сушильного агента (естественная и искусственная сушка);
- давление воздуха в сушильной камере (атмосферная, вакуумная);
- способ подвода тепла к материалу (конвективная, кондуктивная, инфракрасная, высокочастотная и т.п.);
- вид сушильного агента (нагретый воздух, топочные газы и т.п.);
- вид циркуляции агента сушки (естественная и принудительная);
- режим работы (периодического или непрерывного действия);
- объект сушки, свойства (состояние) материала.

Обработка различных материалов сушкой используется практически во всех отраслях производства и имеет высокие затраты энергии. Существующий традиционный конвективный способ сушки отличается простой системой подачи тепла и регулировки температуры для нагрева материала, где в качестве теплоносителя используется горячий воздух. Сушка

сопровождается большими потерями тепловой энергии, при этом снижается качество конечного продукта.

В сельскохозяйственном производстве при заготовке на корм прессованного сена с повышенной влажностью его необходимо досушить до 17 %, чтобы исключить потери при хранении. Используемые для этого тепловентиляционные установки имеют высокие удельные затраты энергии на удаление влаги (от 1,6 до 3,32 кВт ч/кг) [1].

При конвективной сушке наиболее важными параметрами являются: температура агента сушки, толщина слоя и плотность материала. Существенным недостатком конвективного способа сушки считается относительно небольшая величина коэффициента теплоотдачи сушильного агента к поверхности материала. В капиллярно-пористых телах в процессе сушки конвективная составляющая переноса теплоты для теплопереноса мала по сравнению с кондуктивной составляющей [2]. Кроме того, волокнистые материалы растительного происхождения имеют низкую теплопроводность и относятся к хорошим теплоизоляционным материалам $\lambda=0,053\div 0,11$ Вт/(м·°С) [5].

Ускорение технологии сушки обычно обеспечивается снижением относительной влажности или повышением температуры, скорости агента сушки, увеличением поверхности материала, комбинированным подводом тепла, вакуумированием и т.п. [3]. Поэтому в процессе теплообмена имеет место сочетание различных механизмов нагрева при воздействии на материал.

Практические данные и тенденция развития техники в использовании вакуума подтверждают, что существует достаточно широкая возможность применения сушки растительного материала в технологии заготовки объемистого корма из прессованного сена.

Вакуумная сушка – это особый технологический процесс, представляющий собой удаление влаги из ма-

териала под действием вакуума. Именно технологии сушки с применением вакуума считаются достаточно новыми и нашли приложение в промышленности, когда сокращается период теплового воздействия и улучшаются физические свойства материалов. Преимущество сушки в вакууме состоит в интенсивном удалении влаги при нагреве, что предотвращает нежелательное снижение качества материала (например, растрескивание пиломатериалов), а сам процесс сушки происходит при незначительных затратах энергии относительно удаления влаги (600 кВт на 1 тонну воды).

С целью повышения эффективности предложен способ досушки прессованного сена методом вакуумного воздействия с периодической принудительной вентиляцией в сушильной камере. Данный способ сушки волокнистых прессованных материалов определяет основную особенность технологии сушки сена в вакууме [4].

Разработано экспериментальное оборудование для осуществления данного технологического процесса сушки, работа которого обеспечивает заданный режим для вакуумно-импульсного способа удаления влаги [5, 6]. При работе производится предварительный нагрев материала в камере, затем включается вакуумный насос РВН-40/350. Контроль создаваемого вакуума осуществляется вакуумметром МПЗ-У1. Для подачи теплоносителя необходимо обеспечить подвод нагретого воздуха от нагревателя ЭКОЦ-10 в вакуумную камеру непосредственно к материалу. Интенсивное удаление влаги и эффективность поступления воздуха под давлением 1000 Па обеспечивается центробежным вентилятором ВЦ-14-4 производительностью от 1000–2000 м³/час.

В начальный период сушки удаляется поверхностная влага. При нагреве материала происходит незначительное увеличение скорости сушки. Чтобы процесс удаления внутренней влаги был эффективным, необходимо затратить дополнительно тепловую энергию или создать пониженное давление.

Также для повышения скорости сушки произво-

дится воздействие в виде формирования вакуумных импульсов, что позволяет ускорить удаление влаги из материала при меньших затратах энергии. Для дальнейшего снижения влажности материала необходимо последовательно повторить действия вакуума с процессом удаления влаги и подачи теплоносителя.

На экспериментальной вакуумной сушильной установке производилась сушка образцов прессованного сена с начальной влажностью до 30 % и полученные экспериментальные данные.

В качестве сравнения использовался широко применяемый в настоящее время конвективный способ досушивания сена. В результате проверки вариантов определено время работы оборудования в различных режимах вакуумно-импульсного и конвективного способа сушки.

Таблица

Параметры процесса сушки

| Способ сушки, характеристика материала | Влажность конечная, % | Температура, °С | Вакуум, кПа | Время сушки, ч |
|--|-----------------------|-----------------|-------------|----------------|
| Вакуумный, прессованное сено, 110 кг/м ³ | 7,4 | 70 | 30 | 11 |
| Вакуумный, прессованное сено, 110 кг/м ³ | 8,9 | 60 | 20 | 12 |
| Конвективный, прессованное сено, 110 кг/м ³ | 7,8 | 50 | - | 18 |

Основными потребителями электроэнергии на экспериментальной установке являются электрооборудование нагрева теплоносителя 6 кВт, вентилятор 1,5 кВт и вакуумный насос 3 кВт соответственно.

На графике (рис. 1) приведены расчетные значения общих затрат электроэнергии на сушку прессованного сена для заданных режимов работы технологического оборудования.

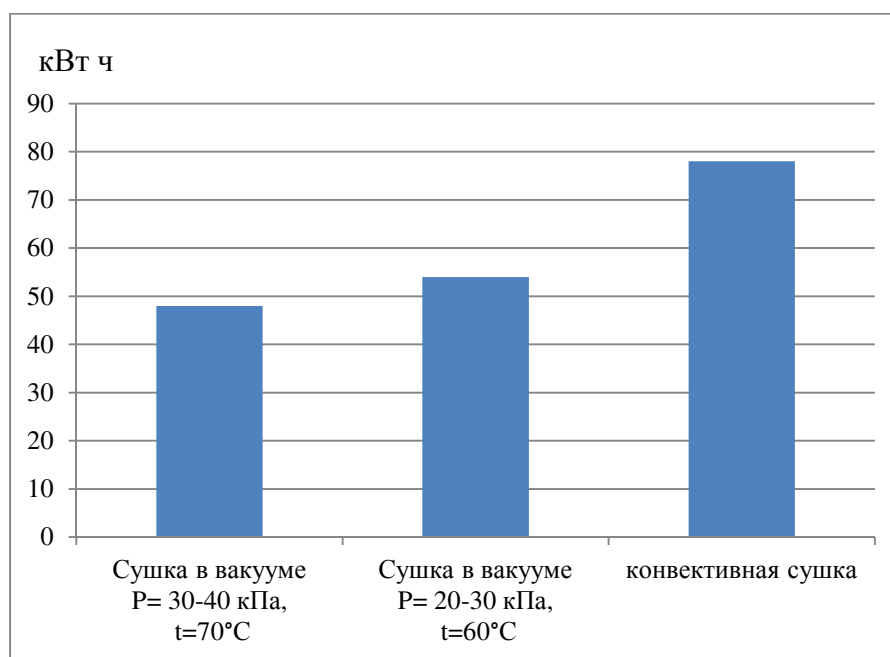


Рис. 1. Затраты электрической энергии

Оценка затрат энергии по времени работы экспериментальной установки определена с учетом установленной мощности оборудования и коэффициента ($K=0,5$) периодичности включения в работу нагревателя ТЭН от регулятора температуры нагрева. Общее потребление электроэнергии полного производственного цикла для технологии вакуумно-импульсного способа сушки в разных режимах составила 46,5 и 54 кВт ч. При конвективном способе сушки затрачено 78 кВт ч.

Для повышения интенсивности досушки прессованного сена в рулонах и крупногабаритных кипах в производстве эффективно могут быть использованы вакуумные сушильные камеры, предназначенные для сушки пиломатериалов. Вакуумно-импульсные сушильные камеры разрабатывались для качественной сушки древесины с высокой эффективностью [7, 8]. Они относятся к камерам периодического действия, где заложен принцип конвективной сушки за счет нагрева и воздушного теплообмена, при существенных отличиях от классической вакуумной технологии. Главной задачей в осуществлении вакуумно-импульсного способа является экономия электрической энергии и повышение эффективности работы оборудования.

При внедрении в производство реализацию предложенной технологии необходимо производить на промышленном оборудовании. На рисунке 2 представлено промышленное оборудование для технологии сушки вакуумно-импульсным способом удаления влаги.

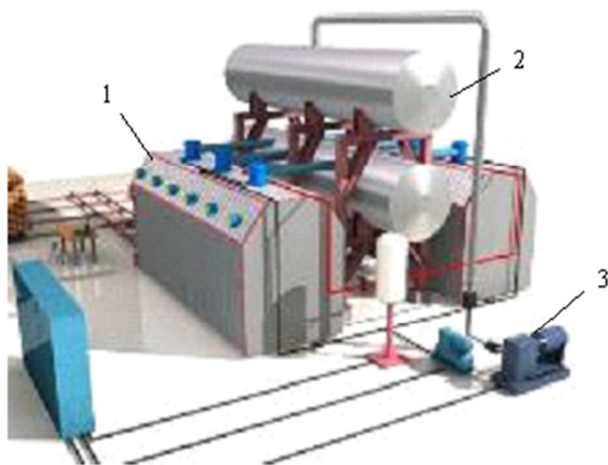


Рис. 2. Оборудование вакуумно-импульсной сушильной установки

В состав донного оборудования входят: сушильная камера 1, ресивер 2, вакуумный насос 3, а также калориферная установка, осуществляющая нагрев теплоносителя.

Нагрев прессованного материала, находящегося в вакуумной камере 1, осуществляется за счет конвекции теплоносителя от внешнего нагревателя через входной вентиляционный клапан. Выход отработанного теплоносителя из камеры производится при открытом выпускном клапане. Материал прогревается принудительно от циркуляции теплоносителя, после чего при необходимой температуре происходит процесс вакуумирования. Именно этим обеспечивается высокая

скорость и интенсивность качественной сушки различных материалов.

Подобные камеры полностью питаются от электрической сети и потребляют от 38 до 152 кВт электрической мощности, общее энергопотребление которых при эксплуатации составляет от 15 кВт/час.

Особенностью управления процессом вакуумно-импульсной сушки в камере является периодически создаваемый вакуум через вентиляционные устройства, встроенные специальную систему трубопроводов ресивера. Вначале происходит нагрев, затем вакуумирование, от чего влага в виде нагретого пара выделяется из материала. Чтобы активно удалять влагу, проводится нагрев материала в вакууме с последующей вентиляцией камеры. Данная последовательность периодических циклов включения вакуума в процессе сушки может повторяться.

Технологические характеристики и особенность работы вакуумно-импульсных камер определяет условия, где процесс тепловой обработки следует разделить на несколько этапов:

- нагрев, активное вентилирование, удаление свободной влаги 28–30 %;
- предварительная сушка до 22–24 % влажности;
- основная сушка, удаление связанной влаги до 17 %.

В технологии сушки значительная доля затрат электроэнергии приходится на работу основного оборудования для получения тепла.

Потребление электрической энергии вакуумно-импульсным способом для сушки материала повышенной влажности в 1,4–1,7 раза ниже, чем при обычной искусственной сушке.

Литература

1. Ахламов, Ю. Заготовка кормов в рулонах [Текст] / Ю. Ахламов // Животноводство России. – 2003. – № 6. – С. 40–41.
2. Лыков, А. В. Тепломассообмен: Справочник. 2-е изд. перераб. и доп. – Москва : Энергия, 1978. – 480 с.
3. Гареев, Ф. Х. Нетрадиционная сушка древесины: вакуумная и СВЧ [Электронный ресурс] / Ф. Х. Гареев // Лесная промышленность ЛПИ. – 2004. – № 5 (18) – С. 62–65.
4. Пат. 2476085 Российская Федерация. МПК А23К 3/02, А23В 7/00. Способ сушки волокнистых прессованных материалов. / Углин В. К., Никифоров В. Е. и др. – №2010154629/13; заявл. 30.12.2010; опубл. 27.02.2013, Бюл. № 6. – 3 с. : ил.
5. Никифоров, В. Е. Разработка экспериментальной установки вакуумной сушки прессованных растительных материалов. / В. Е. Никифоров, Л. А. Никитин. Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2020. – № 1 (7). – С. 23–26.
6. Никифоров, В. Е. Управление и режим вакуумно-импульсной сушки прессованных растительных материалов / Никифоров, В. Е., Никитин, Л. А. Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 2 (12). – С. 19–22.

7. Сафин, Р. Р. Технологические режимы вакуумной сушки пиломатериалов при конвективных методах подвода тепла [Электронный ресурс] // Деревообрабатывающая промышленность. – 2016. – Режим доступа: http://dop1952.ru/statues-statue_id-3.html.

8. Технология вакуумной сушки: современное состояние и новые тенденции развития [Электронный ресурс] / Новости деревообработки. – Режим доступа: <http://wood.nestormedia.com/index.pl?act=PRODUCT&iid=1>.

V.E. Nikiforov^{1,2}, L.A. Nikitin²

¹Vologda State University,

²Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION AND EQUIPMENT OPERATION OF VACUUM-PULSED PLANT MATERIALS DRYER

The article presents the results of experimental studies on the technology of drying pressed plant materials using vacuum. Plant materials have low thermal conductivity, so the process of removing moisture requires a significant amount of energy. The temperature of the heat carrier and the heating of the material determine the speed and duration of the drying process. In the materials of the article, the characteristics of the main technological equipment of the experimental setup in the implementation of the method of vacuum-pulse moisture removal are given. A comparative analysis of the total energy costs by the time of operation of electrical equipment at the experimental installation for the convective and vacuum-pulsed methods of removing moisture during the drying of pressed hay has been carried out. The intensity of drying of plant material under vacuum exposure is 1.5 times higher than that of convective.

Drying, heat carrier, vacuum, plant material, electrical equipment, energy costs.