

5. Prodlenie sroka sluzhby svetodiodnyh lamp. Ponizhenie toka/remont. – URL: <https://radioamator.ru/energoberegayushchie-lampy/svetodiodnye-lampy/1849-prodlenie-sroka-sluzhby-svetodiodnykh-lamp-ponizhenie-toka-remont/> (data obrashcheniya 29.07.2020). – Tekst: elektronnyj.

6. Razmery, harakteristiki i razlichiya svetodiodnyh kristallov (chipov) 3528, 5050, 2835, 5630, 5730. – URL: https://diodkmv.ru/info/1512484654_svetodiod-4/ (data obrashcheniya 29.07.2020). – Tekst: elektronnyj.

7. Srok sluzhby svetodiodnyh lamp i svetil'nikov: realii i skazki proizvoditelej. – URL: <https://ledjournal.info/byt/srok-sluzhby-svetodiodnyh-lamp-i-svetilnikov.html> (data obrashcheniya 29.07.2020). – Tekst: elektronnyj.

Information about authors

1. **Belov Alexander Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Automation of Technological Processes, South Ural State Agrarian University, Institute of Agricultural Engineering, Chelyabinsk, Lenin Ave., 75; e-mail: belovav00@mail.ru;

2. **Ilyin Yuri Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Automation of Technological Processes, South Ural State Agrarian University, Institute of Agricultural Engineering, Chelyabinsk, Lenin Ave., 75; e-mail: U-ilyin@mail.ru.

УДК 631.3.072.16

DOI: 10.17022/wcup-z368

ИСПЫТАНИЕ МОБИЛЬНОЙ ХМЕЛЕСУШИЛКИ С ОПТИМИЗИРОВАННЫМ ТЕПЛОВЫМ БАЛАНСОМ

А. О. Васильев, Р. В. Андреев, Е. П. Алексеев, М. П. Смирнов, В. С. Никитин

*Чувашский государственный аграрный университет
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

Аннотация. *Основной задачей операции сушки хмелевого сырья является сохранение его товарного вида, а также аромата. Кроме того, необходимо получить максимальное количество компонентов специальных групп горьких веществ и эфирных масел, ради которых шишки хмеля и применяют в пивоваренной промышленности. Для того, чтобы избежать микробиологической и ферментативной порчи хмеля, мы предлагаем во время основной сушки провести продувку специально охлаждённым и осушенным воздухом, в результате чего не только сохраняется качество продукта до основной сушки, но и значительно быстрее происходит сам процесс сушки при пониженных значениях температур. В данной работе рассматривается возможность применения тепловых насосов для энергоэффективной сушки хмеля путём их интеграции в конструкцию традиционной сушилки. Идея энергоэффективной сушки хмеля заключается в том, что агент сушки (атмосферный воздух) прогоняется вентилятором через испаритель теплового насоса, охлаждается до температуры точки росы, вследствие чего влага, содержащаяся в воздухе, конденсируется, а воздух высушивается. Преимущество предлагаемого способа сушки заключается в том, что контакт хмеля с охлаждённым воздухом инактивирует деятельность комплекса ферментов и патогенной микрофлоры, которая возникает в случае избыточного увлажнения сырья. Охлаждение хмеля позволит сохранить его химический состав в неизменном состоянии, в особенности α - и β -кислоты, являющиеся ключевыми компонентами хмеля. С учетом необходимости создания нового режима работы в условиях сушки хмеля на экспериментальной малогабаритной сушилке в данной статье было проанализировано соотношение между температурой и влажностью хмелевого сырья в процессе сушки при различных значениях скорости и содержания влаги агента сушки. Это позволило выявить оптимальные для данной сушилки параметры рабочего процесса, а также рекомендовать новую технологию сушки, усовершенствованную конструкцию сушилок.*

Ключевые слова: *хмель, сушка, хмелеводство, тепловой баланс.*

Введение. *Основной задачей операции сушки и последующего кондиционирования хмелевого сырья является сохранение его главных потребительских качеств: товарного вида, а также аромата. Кроме того, необходимо получить максимальное количество компонентов специальных групп горьких веществ и эфирных масел, ради которых шишки хмеля и применяют в пивоваренной промышленности [7]. Качественно просушенный хмель сохраняет природный аромат и цвет. Процесс сушки должен осуществляться непосредственно после сбора, так как сырой хмель достаточно быстро начинает портиться [2]. Для того, чтобы избежать микробиологической и ферментативной порчи хмеля, мы предлагаем во время основной сушки провести продувку специально охлаждённым и осушенным воздухом, в результате чего не только сохраняется качество продукта до основной сушки, но и значительно быстрее происходит его высушивание, даже при пониженных значениях температур.*

Обеспечение качественного процесса сушки имеет для хмелевого сырья большое значение, поскольку должным образом высушенный хмель сохраняет природный цвет и аромат. Процесс сушки производят сразу же после уборки, поскольку сырье начинает быстро портиться. Основные требования к процессу сушки сводятся к максимальному сохранению специфических свойств хмеля [6].

Преимущество предлагаемого способа сушки заключается в том, что контакт хмеля с охлажденным воздухом инактивирует деятельность комплекса ферментов и патогенной микрофлоры, которая возникает в случае избыточного увлажнения сырья. Охлаждение хмеля позволяет сохранить его химический состав в неизменном состоянии, в особенности α - и β -кислоты, являющиеся ключевыми компонентами хмеля.

Важно, чтобы слой высушиваемого хмеля не превышал 10–15 см. Шишки хмеля следует укладывать на ярусы сушилки, как и в традиционном случае, где они последовательно отдают влагу восходящему потоку воздуха. Для равномерности процесса (2–3 раза) сырьё изредка подвергают ворошению. Чем быстрее происходит сушка хмеля, тем лучше он сохраняет свои качества [1], [4].

Правильно высушенный хмель должен содержать около 10 % влаги; при влажности, превышающей 18 %, шишки хмеля легко подвергаются порче, а при влажности ниже 9 % шишки рассыпаются, и их лепестки легко крошатся, что вызывает потерю лупулина и понижение качества хмеля.

Материалы и методы исследований.

Конвективная сушка, производимая в стационарных хмелесушилках, достаточно хорошо исследована и, по мнению ряда ученых, имеет качественные преимущества по сравнению с другими видами сушки.

Тем не менее, режимы, включающие в себя предварительное кондиционирование агента сушки, в промышленных хмелесушилках широкого распространения не получили.

Это объясняется рядом причин, в частности, особенностями конструкции хмелесушилок и теплогенераторов, имеющих высокую тепловую инерционность и ограничения при нагреве агента сушки.

Указанные недостатки практически отсутствуют в опытной мобильной хмелесушилке с газгольдером и теплогенератором косвенного нагрева, что позволяет эффективно использовать их при конвективном режиме.

Целью настоящей работы является теоретическое обоснование необходимого теплового баланса, параметров мобильной хмелесушилки и анализ полученных результатов оптимизации.

Среди основных причин, влияющих на процесс высушивания, можно выделить концентрацию, состав и вид примесей, содержащихся в удаляемой из материала влаге, поскольку они изменяют свойства жидкости, теплофизические, химические и прочие.

Они корректируют механизмы взаимодействия влаги с поверхностью материала и, тем самым, влияют на скорость выпаривания влаги из внутренних слоев материала к периферии. Наличие примесей способствует уменьшению давления насыщенных паров, возникающих над поверхностью жидкости или смоченной ею поверхности, что приводит к сокращению передачи высушиваемой влаги от поверхности материала к агенту сушки [5].

Для комплексного анализа хмеля как объекта сушки необходимо иметь в виду тепловые, сорбционно-структурные и гигро-термические его характеристики, полученные экспериментальным путем [3]. Их исследование является первым этапом работы, когда необходимо выбрать мобильную сушилку и рассчитать параметры ее работы.

Для повышения качества испарения влаги и проведения совместно с сушкой других микробиологических процессов к материалу необходимо подвести некоторое количество тепла. Его можно подводить разнообразными способами в зависимости от методики сушки. В нашем случае на основании компьютерного моделирования был запланирован определенный режим ее работы. В соответствии с расчетом теплового баланса определяем количество теплоты, расходуемое в течение всего процесса, и затраты на газовое топливо и электроэнергию.

С целью определения расхода тепла в хмелесушилке необходимо произвести расчеты теплового баланса сушильной камеры. Было получено дискретное уравнение теплового баланса, которое в полной мере характеризует величину разницы между количеством тепла, поступающего в сушильную камеру, и тепла, уходящего из нее.

Суммарный расход тепла в камерной сушилке равен

$$\sum P = P_i + P_m + P_p + P_g + P_d + P_t, \quad (1)$$

где P_i и P_m – величина тепловой энергии, которая расходуется на испарение влаги и нагревание хмеля;

P_p и P_g – потери тепловой энергии, уходящей, соответственно, в окружающую среду с отходящими парами;

P_d – расход тепловой энергии на дегидратацию, потерю связи с материалом и прочие эндотермические процессы;

P_t – расход тепловой энергии на нагревание дополнительно поступающих воздушных потоков и транспортных механизмов.

Для исследуемой хмелесушилки непрерывного действия рассчитываем часовой расход тепловой энергии. В нашем случае расход тепловой энергии на испарение жидкости определяем как

$$P_i = W(i_n - i_f) \quad , \quad (2)$$

где i_n – величина энтальпии перегретого пара при температуре отходящих газов;

i_f – величина энтальпии чистого водяного пара при начальной температуре материала.

В нашем случае на испарение воды из хмелевого сырья будет затрачено количество тепловой энергии, равное

$$P_i = 4,19B|(595 + 0,49t_2 - \Theta_n)|, \quad (3)$$

где B – количество водяного пара, испаряемого в процессе сушки, кг/ч;

t_2 – температура отходящего водяного пара, °C;

Θ_n – изначальная температура вороха хмелевого сырья, °C.

Затраты тепловой энергии на нагрев хмелевого сырья обозначим как

$$P_m = G_2 c_m (\Theta_k - \Theta_n), \quad (4)$$

где Θ_k – температура хмелевого сырья после высушивания, °C;

G_2 – производительность сушилки по готовому продукту, кг/ч,

c_m – теплоемкость высушенного хмелевого сырья, кДж/(кг·K).

В свою очередь, теплоемкость высушенного хмелевого сырья определяется как

$$c_m = c_a \frac{100 - w_k}{100} + \frac{w_k}{100} c_f, \quad (5)$$

где c_a – теплоемкость абсолютно сухого хмелевого сырья, кДж/(кг·K);

c_f – теплоемкость испаряемой воды, кДж/(кг·K).

w_k – конечная влажность хмелевого сырья, %.

$$q_m = \frac{P_m}{B} = \frac{G_2 c_m (\Theta_k - \Theta_n)}{B}. \quad (6)$$

Потери мобильной хмелесушилкой тепловой энергии, поступающей в окружающую среду, выражаем как

$$P_n = KF(t_c - t_0), \quad (7)$$

где K – коэффициент, учитывающий теплопередачу через стенки хмелесушилки;

F – сумма площадей наружных поверхностей хмелесушилки;

t_c – среднее значение температуры внутри сушильной камеры, °C;

t_0 – значение температуры воздуха окружающей среды, °C.

Теплоизоляцию хмелесушилки необходимо сконструировать таким образом, чтобы значение температуры наружных стенок не превышало 25 °C. Для определения максимальной площади поверхности сушильной камеры можно приблизительно принять удельные потери тепловой энергии в окружающую среду: $q_n = 120$ – 430 кДж на 1 кг отводимой влаги в зависимости от величины исходной влажности хмелевого сырья (меньшую величину принимают для высоковлажных материалов), тогда

$$P_n = q_n B. \quad (8)$$

Усредненная величина потерь тепловой энергии с отходящими газами составит

$$P_g = LI_2, \quad (9)$$

где I_2 – величина энтальпии отходящих водяных паров при t_2 и x_2 ;

L – величина расхода входящего агента сушки, кг/ч.

Необходимо учитывать появление дополнительного количества воздуха в хмелесушилке, которое поступает туда через загрузочный люк и другие щели. Эту величину принимаем не более, чем за 0,1 L .

Определяем затраты тепла на дегидратацию и другие эндотермические процессы как

$$P_d = q_d G_2, \quad (10)$$

где q_d – усредненная удельная теплота дегидратации в отношении 1 кг готового (сухого) хмелевого сырья.

Величина потерь, связанных с нагреванием воздуха и приводных механизмов, определяется по известным соотношениям с учетом конкретных особенностей хмелесушилки.

При расчете оптимизации теплового баланса проектируемой сушильной установки для хмеля в качестве исходной информации учитываются следующие величины: часовая производительность, $G_2 = 25$ кг/ч; начальная влажность, $w_n = 80\%$; конечная влажность, $w_k = 10\%$; начальная температура, $\theta_n = 15$ °С; максимально допустимая конечная температура, $\theta_{max} = 60$ °С; температура наружного воздуха, $t_0 = 15$ °С.

При этом относительную влажность воздушной массы, поступающей в хмелесушилку φ_0 , принимаем в качестве переменной величины. Регулировать ее значение будет кондиционер с функцией осушения воздуха. Скорость потока воздуха будет также регулируемой величиной.

Цель исследований – установление оптимальных параметров φ_0 и скорости потока воздуха v в сушильной камере.

Во время проводимого эксперимента непрерывно фиксировался расход топлива и электроэнергии.

Результаты исследований и их обсуждение. Испытания выполнялись с целью измерения параметров хмелесушилки для дальнейшей верификации программной модели и разработки мероприятий по совершенствованию конструкции.

Испытания проводились по разработанной методике.

Всего было произведено две серии измерений работы хмелесушилки с газовым топливом и с кондиционированием.

Измерение расхода газа проводилось с учетом показаний штатного расходомера. Измерения проводились в течении шести часов в начале разогрева сушилки и в режиме максимальной производительности. Измерения следовали с интервалом в 15 минут.

Температура выхлопной трубы газового нагревателя составляла 170 °С.

Температура внутри сушильной камеры измерялась пирометром через технологические отверстия.

Было выявлено, что при прохождении через слои хмеля ближе к выходу температура в камере хмелесушилки падала.

Температура на выходе оказалась в среднем на 15 °С ниже, чем на входе. Это связано с тем, что на испарение влаги затрачивается значительная энергия.

Измерение влажности и температуры проводилось с помощью датчиков влажности, которые монтировались непосредственно в камере сушки по центру сушилки.

Стоит отметить, что измеренная влажность внутри слоя хмеля не является влажностью самого хмеля, хотя эти параметры, безусловно, коррелируют.

На рисунке 1 представлен график изменений влажности хмеля в зависимости от влагосодержания воздуха на входе.

На рисунке 2 представлен график скорости изменений влажности хмеля в зависимости от влагосодержания воздуха на входе.

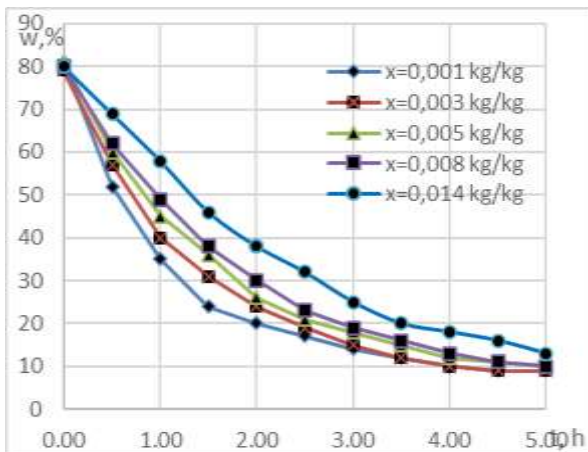


Рис. 1. График изменения влажности хмеля во времени в зависимости от влагосодержания входящего воздуха x .

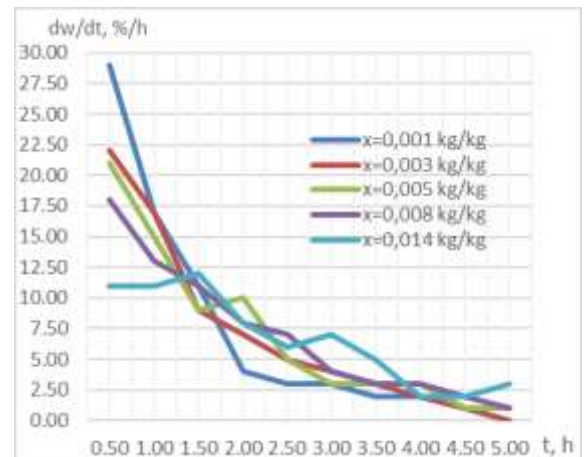


Рис. 2. График скорости изменения влажности хмеля во времени в зависимости от влагосодержания входящего воздуха x .

Данные, представленные на рисунках 1 и 2, свидетельствуют о том, что интенсивность испарения влаги зависит от начального влагосодержания агента сушки (воздуха). С повышением начального влагосодержания сушильного агента интенсивность сушки уменьшается, а продолжительность процесса увеличивается.

В данной части эксперимента начальное влагосодержание агента сушки менялось при помощи теплового насоса. Были выбраны следующие значения: 0,001; 0,003; 0,005; 0,008 и 0,014 кг/кг. Это соответствует следующим значениям относительной влажности воздуха при 20 °С: 10 %; 20 %; 35 %; 55 %; 90 %.

Измерение скорости потока воздуха в сушильной камере.

Учитывая, что диаметр входного отверстия составляет 0,25 м, получили оценку расхода воздуха, приблизительно равную 100 м³/ч.

В составе хмелесушилки имеется канальный приточный вентилятор с максимальной производительностью в $1650 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Скорость потока воздуха внутри камеры измерялась с помощью анемометра, который на расстоянии вставляли через технологические проемы, имеющиеся на каждом из двух ярусов.

Скорость потока во всех точках измерения составляла от 0,05 до 0,25 м/с. Воздух разгонялся в нижнем канале над промежуточным транспортером.

Температура стенок поворотно-стеллажного механизма измерялась пирометром. При этом взаимной корреляции в показаниях не обнаружилось. Тем не менее, было выявлено следующее:

- на входе вентилятора температура составляла 18°C ;
- на выходе из радиатора она поднималась до 65°C ;
- на нижнем ярусе поворотно-стеллажного механизма она составляла 60°C ;
- на верхнем ярусе поворотно-стеллажного механизма она составляла 55°C ;
- на выходе из верхнего яруса поворотно-стеллажного механизма она составляла 52°C .

Анализ результатов и их сравнение с расчетами.

Полученные данные о температурах и скоростях качественно совпали с расчетными показателями при проектировании.

Обработка экспериментальных данных, полученных при анализе работы хмелесушилки с оптимизированным тепловым балансом, показала, что при сушке хмеля ее скорость всегда непостоянна, весь процесс происходит при колеблющейся скорости испарения влаги.

Отсутствие периода константы на кривой скорости сушки свидетельствует о том, что интенсивность диффузии влаги значительно ниже интенсивности влагообмена. Изменение интенсивности сушки хмеля в начале процесса уменьшается по кривой, обращенной выпуклостью к оси времени. При подобной форме линии графика первая ее часть соответствует движению капиллярной влаги под влиянием коэффициента диффузии, а вторая часть – адсорбционно связанной влаги.

Было установлено, что максимально быстро процесс сушки протекает при максимальных значениях температуры и скорости потока, при минимальных значениях высоты слоя и влагосодержания входящего воздуха. Поэтому при проведении экспериментов постоянными параметрами являлись именно эти величины.

Полученные опытным путем температурные кривые экспериментальной сушилки указывают на достаточной приемлемый уровень температур, в связи с чем можно сделать вывод о том, что соответствующие режимы могут применяться без ущерба для качества товарного хмеля.

Полученные результаты и разработанные модели могут применяться при проектировании модернизированной хмелесушилки с повышенной производительностью.

Рекомендуется провести комплексный анализ конструкции перспективной хмелесушилки для того, чтобы упростить, облегчить и удешевить имеющийся прототип.

Рекомендуется создать стенды и действующие макеты для подбора вентиляторов, мест их расположения, типов и размеров транспортеров.

Выводы. Было проанализировано соотношение между температурой и влажностью шишек хмеля в процессе сушки при различных значениях скорости и влагосодержания агента сушки. Это позволило выявить следующие оптимальные для данной сушилки параметры рабочего процесса: влагосодержание входящего воздуха на начальном этапе $x = 0,001 \text{ кг/кг}$, после двух часов просушивания ее можно периодически регулировать с целью экономии электроэнергии; скорость потока воздуха на входе в вентилятор должна составлять $v = 0,2 \text{ м/с}$.

Таким образом, преимущество ускоренного способа сушки заключается в том, что хмель оказывается менее подверженным ферментативной и микробиологической порче. По этой причине данный способ представляется более предпочтительным в случае, когда хмель имеет избыточную влагу, его охлаждение помогает инактивировать действие микроорганизмов и ферментов, позволяя выиграть время для проведения полноценной тепловой сушки. Кроме того, оптимизация тепловых процессов (нагрев воздуха) с использованием тепловых насосов энергетически более выгодно и оправдано ввиду высокого КПД, характерного для тепловых машин, работающих по термодинамическому циклу Карно, поскольку нагревается уже осушенный в испарителе воздух.

Литература

1. Коротков, А. В. Установление оптимального количества механических обработок на хмельниках в целях снижения трудо - и ресурсозатрат // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2007. – № 9. – С. 73-74.
2. Коротков, А. В. Фитосанитарный прогноз – залог получения стабильного урожая хмеля / А. В. Коротков, З. П. Короткова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 13. – № 4(51). – С. 40-45.
3. Определение объемно-весовых характеристик и влажности урожая хмеля / А. О. Васильев, Р. В. Андреев, Е. П. Алексеев [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 13. – № 4 (51). – С. 5-9.

4. Перспективы повышения эффективности хмелеводческого кластера Чувашской Республики / А. И. Захаров, А. Е. Макушев, А. В. Васильева, К. В. Кириллова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 13. – № 2 (49). – С. 93-99.
5. Результаты исследования уплотнения движителями тракторов междурядья хмельника / П. А. Смирнов, Н. Н. Пушкаренко, А. П. Акимов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 13. – № 2 (49). – С. 131-137.
6. Формирование хмелеводческого кластера в региональном АПК / А. И. Захаров, А. Е. Макушев, О. В. Евграфов [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. – 2017. – № 34. – С. 81-87.
7. Revival of hop-production in the Chuvash Republic: problems, challenges and opportunities/ A. G. Lozhkin, A. E. Makushev, N. N. Pushkarenko [et al.] // Sustainable Economic development, Innovation Management, and Global Growth: proceedings of the 30 th International Business Information Management Association Conference. – IBIMA, 2017. – P. 5295-5299.

Сведения об авторах

1. **Васильев Александр Олегович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: 3777222@bk.ru, тел. 8-937-377-72-22;
2. **Андреев Роман Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: gv_andreev@mail.ru, тел. 8-927-858-60-82;
3. **Алексеев Евгений Петрович**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: zhenia_alexeev@mail.ru, тел. 8-919-650-94-97;
4. **Смирнов Михаил Петрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: sttmo@yandex.ru, тел. 8-927-852-23-78;
5. **Никитин Вадим Сергеевич**, аспирант кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: vadimka-nikitin-1997@mail.ru, тел. 8-937-399-80-52.

TESTING A MOBILE HOPE DRYER WITH OPTIMIZED BATH THERMAL BALANCE

A. O. Vasiliev, R. V. Andreev, E. P. Alekseev, M. P. Smirnov, V. S. Nikitin
Chuvash State Agrarian University
 428003, Cheboksary, Russian Federation

Abstract. *The main task of the drying operation of hop raw materials is to preserve its presentation and aroma. In addition, it is necessary to obtain the maximum amount of components of special groups of bitter substances and essential oils, for the sake of which hop cones are used in the brewing industry. In order to avoid microbiological and enzymatic spoilage of hops, we suggest blowing with specially cooled and dehumidified air during the main drying, as a result of which not only the quality of the product is preserved until the main drying, but also the drying process itself takes place much faster at reduced values temperatures. This paper examines the possibility of using heat pumps for energy efficient drying of hops by integrating them into the design of a traditional dryer. The idea of energy efficient drying of hops is that the drying agent (atmospheric air) is driven by a fan through the evaporator of the heat pump, cooled to the dew point temperature, as a result of which the moisture contained in the air is condensed and the air is dried. The advantage of the proposed drying method is that the contact of hops with chilled air inactivates the activity of a complex of enzymes and pathogenic microflora, which occurs in case of excessive moisture in the raw material. Cooling the hop will keep its chemistry unchanged, especially the α - and β -acids, which are key components of hops. Taking into account the need to create a new operating mode under the conditions of hop drying on an experimental small-sized dryer, this article analyzed the relationship between the temperature and humidity of the hop raw material during the drying process at various values of the speed and moisture content of the drying agent. This made it possible to identify the parameters of the working process that are optimal for this dryer, as well as to recommend a new drying technology, an improved design of the dryers.*

Keywords: *hops, drying, hop growing, heat balance.*

References

1. Korotkov, A. V. Ustanovlenie optimal'nogo kolichestva mekhanicheskikh obrabotok na hmel'nikah v celyah snizheniya trudo - i resursozatrata // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2007. – № 9. – S. 73-74.
2. Korotkov, A. V. Fitosanitarnyj prognoz – zalog polucheniya stabil'nogo urozhaya hmelya / A. V. Korotkov, Z. P. Korotkova // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – Т. 13. – № 4(51). – S. 40-45.

3. Opredelenie ob'emno-vesovyh karakteristik i vlazhnosti urozhaya hmelya / A. O. Vasil'ev, R. V. Andreev, E. P. Alekseev [i dr.] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – T. 13. – № 4 (51). – S. 5-9.
4. Perspektivy povysheniya effektivnosti hmelevodcheskogo klastera Chuvashskoj Respubliki / A. I. Zaharov, A. E. Makushev, A. V. Vasil'eva, K. V. Kirillova // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – T. 13. – № 2 (49). – S. 93-99.
5. Rezul'taty issledovaniya uplotneniya dvizhatelyami traktorov mezhduryad'ya hmel'nika / P. A. Smirnov, N. N. Pushkarenko, A. P. Akimov [i dr.] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – T. 13. – № 2 (49). – S. 131-137.
6. Formirovanie hmelevodcheskogo klastera v regional'nom APK / A. I. Zaharov, A. E. Makushev, O. V. Evgrafov [i dr.] // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. – 2017. – № 34. – S. 81-87.
7. Revival of hop-production in the Chuvash Republic: problems, challenges and opportunities/ A. G. Lozhkin, A. E. Makushev, N. N. Pushkarenko [et al.] // Sustainable Economic development, Innovation Management, and Global Growth: proceedings of the 30 th International Business Information Management Association Conference. – IBIMA, 2017. – P. 5295-5299.

Information about the authors

1. **Vasiliev Alexander Olegovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: 3777222@bk.ru, tel. 8-937-377-72-22;
2. **Andreev Roman Viktorovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: rv_andreev@mail.ru, tel. 8-927-858-60-82;
3. **Alekseev Evgeniy Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: zhenia_alexeev@mail.ru, tel. 8-919-650-94-97;
4. **Smirnov Mikhail Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: sttmo@yandex.ru, tel. 8-927-852-23-78;
5. **Nikitin Vadim Sergeevich**, postgraduate student of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: vadimka-nikitin-1997@mail.ru, tel. 8-937-399-80-52.

УДК 621.436.73; 62-665.9; 662.761

DOI: 10.17022/33yp-by76

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

А. Н. Коротков, А. В. Палицын, Ю. А. Плотникова

*Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина
160555, г. Вологда, с. Молочное, Российская Федерация*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы функционирования ДВС электростанции, работающей на различных видах топлива, в том числе альтернативных. Был проведен анализ основных эксплуатационных характеристик работы двухцилиндрового ДВС 2Ч 7,2/6,0 электростанции АБ-4-О/230-М1, который работает с использованием многотопливного цикла. Были рассмотрены эксплуатационные и экологические характеристики ДВС, работающего на жидком моторном топливе – бензине АИ-92, газообразном моторном топливе пропан-бутановой смеси и альтернативном топливе – генераторном газе, произведенном из сельскохозяйственных отходов в экспериментальной газогенераторной установке. Применение газообразного топлива позволяет снизить токсичность выхлопных газов ДВС. Перевод ДВС с бензина на пропан снижает содержание монооксида углерода в выхлопных газах в 20 раз, а не прореагировавших углеводородов топлива – в 1,143 раза. При работе ДВС на генераторном газе, по сравнению с бензином, содержание в выхлопных газах монооксида углерода уменьшается в 6,6...10 раз, не прореагировавших углеводородов топлива – в 1,33...4 раза, но при этом возрастает содержание диоксида углерода в 1,27...1,32 раза. Эксплуатация ДВС электростанции с использованием генераторного газа позволяет достигать получения до 72,5...80 % номинальной электрической мощности электрогенератора. Применение в качестве альтернативного моторного топлива генераторного газа в двухцилиндровом ДВС электростанции, по сравнению с бензином, ведет к снижению частоты производимого переменного тока из-за снижения частоты вращения ротора электрогенератора на 6,3 %. В качестве потребителей электрической энергии, произведенной электростанцией, работающей на генераторном газе,