

А. Н. Перепечаев, Е. В. Кислов, А. И. Тарима

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: pan-sl@yandex.ru*

ВЫБОР РЕЖИМОВ РАБОТЫ СУШИЛЬНОЙ МАШИНЫ МСТ-2

Аннотация. В статье приводится алгоритм расчета режимов работы сушильной машины МСТ-2, при которых достигается оптимальная влажность льнотресты, позволяющая получить максимальный выход длинного льноволокна.

Ключевые слова: лен, льнотреста, влажность льнотресты, технологическая влажность, сушильная машина, параметры сушки, производительность, технология.

A. N. Perepechaev, E. V. Kislov, A. I. Tarima

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: pan-sl@yandex.ru*

SELECTION OF OPERATING MODES OF DRYING MACHINE MCT-2

Abstract. The article presents an algorithm for calculating the operating modes of the MCT-2 dryer, in which the optimal moisture content of flax straw is achieved, which allows obtaining the maximum yield of long flax fiber.

Keywords: flax, flax straw, flax straw moisture, technological moisture, dryer, drying parameters, productivity, technology.

Введение

На льнозаводах республики важнейшим звеном технологического процесса является подсушка тресты, от нее в значительной степени зависит качество дальнейшей ее переработки.

Поступающее в машины мяльно-трепального агрегата льняное сырье должно обладать определенными физико-механическими свойствами. В значительной степени это достигается доведением влажности стеблей до определенных оптимальных значений, в результате чего улучшаются условия для его дальнейшей переработки.

Технологическими параметрами, определяющими ход процесса сушки, являются: температура, скорость, направление движения и влажность агента сушки, плотность загрузки материала на транспортере, время сушки и др. Технологическим параметром, позволяющим вести контроль за процессом сушки, является влажность материала (тресты), которая зависит от условий уборки, мест хранения, транспортировки и колеблется в достаточно широком диапазоне.

Основная часть

Существует влажность, при которой лубоволокнистые материалы оптимально перерабатываются, то есть получается качественный продукт при высоком его выходе. Такая влажность называется технологической, и для тресты каждого типа она различная. Значение влажности для льнотресты, заготовленной в рулоны, не должно превышать по стандарту 23 % [2]. Технологическая влажность льнотресты, поступающей на переработку, должна составлять от 12 до 16 % [4] в зависимости от ее типа. Для доведения влажности до необходимой используют машины СКП-1-10ЛУ1.

В настоящее время ряд льнозаводов республики оснащены линиями выработки длинного льноволокна производства бельгийской фирмы «DEPOORTERE», в составе которых сушильные машины не предусмотрены. Отсутствие их в случаях заготовки тресты повышенной в сравнении

с требованиями стандарта влажности приводит к снижению технико-экономических показателей работы льнозавода, снижению выхода длинного и качества короткого волокна.

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана сушильная машина МСТ-2 для подсушки льнотресты до технологической влажности. Машина может быть использована как для существующих линий выработки длинного льноволокна, так и для линий фирмы «DEPOORTER».

К основным конструктивным особенностям новой машины относятся наличие механизма транспортировки льнотресты с частотным регулированием скорости, частотного регулирования числа оборотов выбросного вентилятора, системы автоматического регулирования подачи теплоносителя.

В процессе эксплуатации сушильной машины МСТ-2 возникла необходимость настройки ее на оптимальные режимы работы. Выбор оптимального технологического режима сушки льняной тресты во многом определяется производительностью агрегированного с сушильной машиной оборудования в линиях получения длинного льноволокна, а также исходной влажностью льнотресты.

Основными регулируемыми параметрами сушильной машины МСТ-2, обеспечивающими производительность линии выработки длинного льноволокна и требуемую влажность льнотресты на выходе из машины, являются скорость конвейера и параметры сушильного агента (воздуха). Последние поддерживаются автоматически при задании их на пульте управления. Результатирующими параметрами работы сушильной машины являются ее производительность и влажность льнотресты на выходе из машины.

Производительность сушильной машины задается размотчиком рулонов и рассчитывается по формуле:

$$P = 60qV_k, \quad (1)$$

где P – производительность линии, кг/ч; q – линейная плотность слоя льнотресты в рулоне, кг/м; V_k – скорость выносного конвейера размотчика, м/мин.

Основным параметром сушки льнотресты, исходя из которого определяется скорость конвейера сушильной машины, является ее продолжительность. Скорость конвейера рассчитывается по формуле:

$$V_k = \frac{L}{\tau}, \quad (2)$$

где L – длина сушильного коридора, м; τ – продолжительность сушки, мин.

Для расчета продолжительности сушки воспользуемся эмпирической формулой Н. Д. Хомуцкого [5], имеющей вид:

$$\tau = \frac{90P_k^{0,374} d_{cm}^{0,514}}{v_1^{0,48} \rho_{cb} \Delta d_1} \left[0,475 \left(\frac{1}{(U_2 - U_p)^{0,32}} - \frac{1}{(U_1 - U_p)^{0,32}} \right) + 0,488(U_1 - U_2) \right] K_{np}, \quad (3)$$

где P_k – плотность загрузки конвейера, кг/м; d_{cm} – средний диаметр стеблей, мм; v_1 – скорость воздуха на входе в слой льнотресты, м/с; ρ_{cb} – плотность сухого воздуха на входе в слой тресты, кг/м³; Δd – потенциал сушки воздуха на входе в слой тресты, г/кг; U_1, U_2, U_p – начальное, конечное и равновесное влагосодержание льнотресты (отношение массы влаги к массе абсолютно сухой льнотресты), кг/кг; K_{np} – поправочный коэффициент на производственные условия, $K_{np} = 1,4-2,0$.

Формула (3) включает параметры, часть из которых определяется по результатам лабораторных анализов льнотресты, часть – расчетными методами.

Плотность загрузки конвейера определяется путем взвешивания фрагмента слоя льнотресты длиной один метр, снятого с конвейера сушильной машины.

Средний диаметр стеблей в слое определяется органолептически или при помощи стеблемера С-2.

Скорость воздуха на входе в слой льнотресты зависит от частоты вращения вентиляторов и замеряется опытным путем. В машине МСТ-2 она составляет в среднем 1,3 м/с.

Плотность сухого воздуха на входе в слой льнотресты рассчитывается по известной [5] формуле:

$$\rho_{св} = \frac{P_{\sigma} - 0,378P_{нн1}\phi_1}{287(273,15 + t)}, \quad (4)$$

где P_{σ} – барометрическое (атмосферное) давление, равное 101325 Па; $P_{нн1}$ – парциальное давление насыщенного водяного пара в воздухе на входе в слой льнотресты, Па; ϕ_1 – относительная влажность воздуха на входе в слой тресты, определяется по показаниям психрометра, установленного в последней зоне сушки; t – температура воздуха на входе в слой материала, °С.

Парциальное давление насыщенного пара в воздухе в общем случае определяется по таблицам водяного пара в состоянии насыщения [6]. Для наших расчетов предпочтительно использовать формулу Фильнея М. И. [5], являющуюся аппроксимацией табличных данных:

$$P_{нн1} = 133,3 \cdot 10^{\frac{156+8,12t}{236+t}}, \quad (5)$$

Температура воздуха t определяется как средняя для зон с включенными вентиляторами по показаниям термометров:

$$t = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad (6)$$

где N – количество включенных вентиляторов, шт.

Потенциал сушки рассчитывается по формуле:

$$\Delta d = d_{нв} - d_1, \quad (7)$$

где $d_{нв}$, d_1 – влагосодержание насыщенного воздуха и воздуха на входе в слой тресты соответственно, (г/кг);

$$d_1 = \frac{622\phi_1 P_{нн1}}{P_{\sigma} - \phi_1 P_{нн1}}. \quad (8)$$

В общем случае $d_{нв}$ определяется по I-D диаграмме влажного воздуха. Для автоматизации расчетов получили математическую зависимость для ее расчета. Известно, что процесс испарения влаги из материала и насыщения ею воздуха является адиабатическим, то есть происходит при постоянной энтальпии:

$$I_1 = I_{нв}, \quad (9)$$

где I_1 , $I_{нв}$ – энтальпия сухого воздуха на входе в слой тресты и насыщенного воздуха соответственно, кДж/кг.

Энтальпия воздуха рассчитывается по формуле [5]:

$$I = 1,0t + 0,001d(2500 + 1,97t). \quad (10)$$

Тогда выражение (9) примет вид:

$$1,0t + 0,001d_1(2500 + 1,97t) = 1,0t_{нв} + 0,001d_{нв}(2500 + 1,97t_{нв}), \quad (11)$$

где $t_{нв}$, $d_{нв}$ – соответственно температура (°С) и влагосодержание (г/кг) насыщенного воздуха.

Выражая из (11) $t_{нв}$, получим:

$$t_{нв} = \frac{1000t + 2500(d_1 - d_{нв}) + 1,97td_1}{(1000 + 1,97d_{нв})}, \quad (12)$$

Зависимость парциального давления пара для влажного воздуха от давления пара насыщенного воздуха имеет вид:

$$P_n = \frac{\phi P_{нв}}{100}. \quad (13)$$

Для насыщенного воздуха $\phi = 100$, тогда:

$$P_n = P_{нв}. \quad (14)$$

Применяя формулу (5) для насыщенного воздуха, получим:

$$P_{нв} = 133,3 \cdot 10^{\frac{156+8,12t_{нв}}{236+t_{нв}}}. \quad (15)$$

Зависимость давления пара от влагосодержания насыщенного воздуха имеет вид:

$$P_{нв} = \frac{P_0 d_{нв}}{622 + d_{нв}}. \quad (16)$$

Подставляя выражения (15) и (16) в (14) и преобразуя, получим зависимость температуры $t_{нв}$ насыщенного воздуха от его влагосодержания $d_{нв}$.

$$t_{нв} = \frac{2361g \frac{P_0 d_{нв}}{622 + d_{нв}} - 657,50}{10,25 - 1g \frac{P_0 d_{нв}}{622 + d_{нв}}}. \quad (17)$$

Приравняв правые части этого выражения и выражения (11), получим зависимость влагосодержания насыщенного воздуха от влагосодержания и температуры влажного воздуха $d_{нв} = d_{нв}(d_1, t_1)$ в неявном виде:

$$\frac{2361g \frac{P_0 d_{нв}}{622 + d_{нв}} - 657,50}{10,25 - 1g \frac{P_0 d_{нв}}{622 + d_{нв}}} - \frac{1000t + 2500(d_1 - d_{нв}) + 1,97td_1}{1000 + 1,97d_{нв}} = 0. \quad (18)$$

Начальное U_1 и конечное U_2 влагосодержание льнотресты в формуле (3) рассчитываются исходя из соответствующей влажности льнотресты W_1 и W_2 по зависимости $U = W / 100$. W_1 и W_2 определяются по результатам лабораторного анализа влажности льнотресты

Математическую зависимость равновесной влажности льнотресты U_p от относительной влажности воздуха ϕ_1 находили аппроксимацией табличных значений этой зависимости (рис. 1), приведенных в [6].

С достоверностью $R^2 = 9,9993$ табличные значения описываются уравнением

$$U_p = 5 \cdot 10^{-7} \phi_1^3 - 5,2 \cdot 10^{-5} \phi_1^2 + 3,17 \cdot 10^{-3} \phi_1 - 4,255 \cdot 10^{-3}. \quad (19)$$

С целью проверки соответствия расчетных оптимальных значений скорости конвейера сушильной машины в зависимости от исходной и конечной влажности льнотресты фактическим их значениям проведено их сравнение с результатами, полученными при приемочных испытаниях на филиале «Кормянский льнозавод» ОАО «Гомельлен» опытного образца машины сушильной МСТ-2, установленного в линии выработки длинного льноволокна «DEPOORTERE».

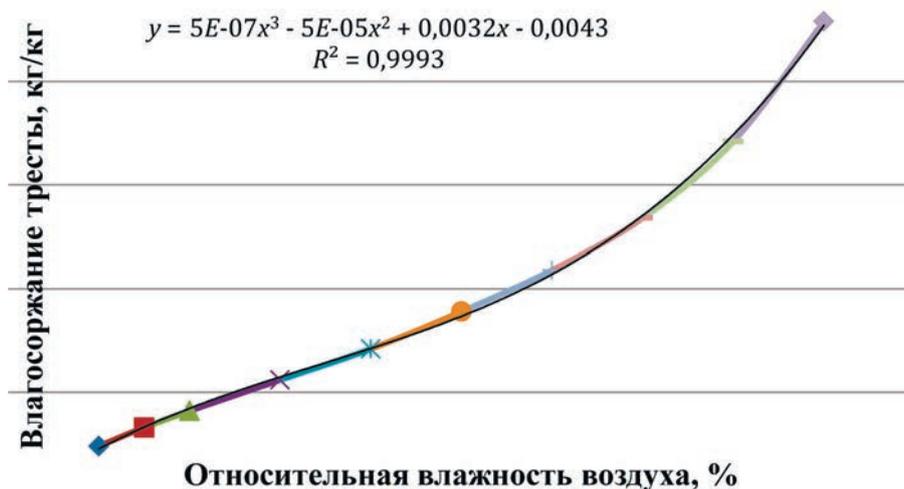


Рис. 1. Аппроксимация зависимости влагосодержания льнотресты от влажности воздуха

Выводы

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана машина сушильная для льна МСТ-2, предназначенная для подсушки льнотресты в линии выработки длинного льноволокна, для оснащения в первую очередь линий зарубежного производства. Данное оборудование должно быть освоено и внедрено на льнозаводах страны.

Полученные в расчетах с применением программы значения скорости конвейера с высокой вероятностью подтверждают их корреляцию с фактическими значениями скорости конвейера. Рассчитанный коэффициент корреляции составил 0,96, что говорит о возможности использования программы для оптимизации режимов работы сушильной машины МСТ-2.

Список использованных источников

1. Треста льняная. Требования при заготовках : СТБ 1194-2007. – Введ. 01.06.2008. – Минск : БелГИСС, 2008. – 20 с.
2. Отраслевой регламент. Первичная обработка льна. Типовые технологические процессы. – Устье, 2015. – 28 с.
3. Суметов, В. А. Сушка и увлажнение лубоволокнистых материалов: учебник для вузов / В. А. Суметов. – М. : Легкая индустрия, 1980. – 336 с.
4. Справочник по заводской первичной обработке льна / И. Я. Шаров [и др.] ; под. общ ред. В. Н. Храмова. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 512 с.
5. Нестеренко, А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха / А. В. Нестеренко : учеб. пособие. – 3-е изд. – М. : Высшая школа, 1971. – 460 с.