

УДК 677.057.135.2

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СУШКИ ЛЬНОТРЕСТЫ*В.П. БОРЗОВ, В.М.КАРАВАЙКОВ***(Костромская государственная сельскохозяйственная академия
Костромской государственный технологический университет)**

В современных условиях (рынок) существенно изменились инженерные задачи по совершенствованию оборудования и технологий, в том числе и в отрасли первичной переработки технических культур с целью получения натуральных волокон.

Главной задачей при получении натурального волокна, на наш взгляд, становится минимизация себестоимости получаемого волокна за счет сокращения энергетических затрат при сохранении качественных характеристик. Энергетическая составляющая в себестоимости натуральных волокон по оценкам экономистов предприятий первичной переработки льна колеблется в пределах от 18 до 29% в зависимости от применяемых технологий, энергоносителей, реализации энергосберегающих мероприятий, наличия собственных систем теплоснабжения и других факторов [2]. Если не сократить энергетическую составляющую на 30...40%, то продукция льнозаводов окажется не востребованной текстильной промышленностью, что и имеет место в настоящее время.

Наиболее энергоемкой операцией технологической цепочки по производству натуральных волокон является сушка тресты перед окончательной механической обработкой.

Повышенная энергоемкость процесса обусловлена высокой теплотой испарения (r), значительными потерями тепловой энергии сушильной установкой в окружающую среду и неоптимальностью режимов сушки в реальных условиях предприятий.

Отсюда следует, что энергосберегающие мероприятия для этого технологического процесса необходимо разрабатывать в трех направлениях:

– оптимизация процессов сушки на основе теоретических положений тепло-массообмена и опытно-производственных данных;

– сокращения непроизводительных затрат тепловой энергии за счет повышения тепловой защиты сушильной установки и ее герметизации на период сушки одной порции (процесс дискретный), а также за счет регенерации и утилизации тепловой энергии, удаляемой из сушилки с отработавшим сушильным агентом и готовой продукцией;

– снижения исходной влажности материала перед сушкой за счет более эффективного процесса естественной сушки в полевых условиях с использованием современных средств механизации: многократного оборачивания ленты, подбор ее при минимальной относительной влажности атмосферного воздуха.

Нами подробно анализируются два первых перспективных, на наш взгляд, энергосберегающих направления [3]. Скорость сушки в значительной мере определяется интенсивностью теплообмена между материалом и сушильным агентом, а также характеристиками, определяющими состояние материала перед подачей сушильного агента.

Традиционные способы интенсификации процесса сушки повышением перепада температур между сушильным агентом и

поверхностью материала и повышением начальной скорости сушильного агента ограничены. Пределы допустимого перепада температур в нашем случае исчерпываются, если материал на участке кривой сушки с постоянной скоростью нагрет до 70°C, а сушильный агент до 120°C, что подтверждается расчетными и опытными данными [1]. Если учесть, что при сушке влажных капиллярно-пористых материалов в этом диапазоне температур влагосодержание сушильного агента за цикл возрастает ($\Delta d < 50\%$) менее, чем вдвое, то возникает необходимость и целесообразность бинарного или даже многократного его промежуточного подогрева. В наших опытах промежуточный подогрев (от 80 до 120°C) осуществляется трижды за цикл, при этом влагосодержание возрастает лишь до 80 г/кг с.в.

Нашими производственными опытами установлено: повышение начальной скорости сушильного агента при максимальной влажности материала ($W \geq 30\%$) возможно до 5,5...6,5 м/с, однако при снижении влажности до 20% и ниже (равновесная влажность $W_p = 8...10\%$) скорость агента сушки не должна превышать 2,1 м/с. При превышении указанной скорости развивается процесс турбулизации воздушных потоков в камерах, вызывающих разброс высушенной массы и перепутывание элементарных ее составляющих, особенно в последней сушильной секции. Этот процесс снижает качество сырья для последующего технологического процесса.

Регулирование скорости и направления подачи сушильного агента на конвейер сушилки является, на наш взгляд, энерго-сберегающим элементом сушки, особенно на завершающем ее этапе и требует дополнительных исследований по оптимизации режимов.

Наиболее заметный энергосберегающий эффект отмечен при изменении начального этапа сушки, который завершается стабилизацией температуры материала и выходом на режим сушки при постоянной скорости [3]. Изменение заключалось в том, что в процессе предварительного подогрева теплоснабжение осуществля-

лось за счет энтальпии влажного ($\varphi \geq 60\%$) отработавшего сушильного агента, который направлялся в камеру предварительного подогрева массы.

Процесс сушки тресты начинается с подогрева влажного материала отработавшим сушильным агентом в специальной камере предварительного подогрева.

В этом процессе (предварительного подогрева тресты) энергообеспечение осуществляется за счет снижения энтальпии влажного воздуха, отработавшего в сушилке. Его исходные характеристики при поступлении в подогреватель: $\varphi_1 \approx 60\%$, $t_1 = 70^\circ\text{C}$, $d_1 = 100$ г/кг, где соответственно φ , t , d – относительная влажность, температура по шкале Цельсия и влагосодержание. В таком состоянии влажный воздух имеет сравнительно высокую энтальпию, определяемую по уравнению:

$$h_{\text{ВВ}_1} = t_{\text{ВВ}_1} + [2500 + 1,9t_{\text{ВВ}_1}]d_1, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Отработавший влажный воздух покидает камеру подогрева, имея следующие характеристики: $\varphi_2 \approx 80\%$, $t_2 = 60^\circ\text{C}$, $d_2 = 106$ г/кг.

Его энтальпия в этом состоянии:

$$h_{\text{ВВ}_2} = t_{\text{ВВ}_2} + [2500 + 1,9t_{\text{ВВ}_2}]d_2, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Отсюда количество теплоты (q), отданное одним кг отработавшего сушильного агента (в расчете на 1 кг сухого воздуха) примерно составит:

$$q_{\text{В}} = h_{\text{ВВ}_1} - h_{\text{ВВ}_2} \approx 10 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{с.в.}}$$

Ориентировочное численное значение $q_{\text{В}}$ позволяет оценить возможный масштаб такой регенерации, который представляется достойным внимания при определении энергосберегающих направлений, если учесть, что в сушилку за 1 час подается около $40 \cdot 10^3 \text{ м}^3$ влажного воздуха.

Теплота, необходимая на подогрев 1 кг влажной тресты, определится по уравнению:

$$q_{\text{под}} = C_{\text{тр}} \Delta t_{\text{тр}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

где $C_{\text{тр}} = \sum_1^n C_i m_i, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{к}}$, при этом C_i – теплоемкости компонентов (сухая треста и вода); m_i – массовые доли компонентов при влажности тресты $W_{\text{тр}} = 25\%$; $\Delta t_{\text{тр}}$ – перепад температур при подогреве, $^{\circ}\text{C}$.

На основе уравнений теплового баланса и характеристик теплообменного процесса определена эффективность энергосбережения за счет предварительного подогрева влажной массы тресты; причем подогрев, как было отмечено ранее, осуществляется за счет отработавшего сушильного агента.

Положительный энергосберегающий эффект предварительного подогрева влажной тресты обусловлен двумя факторами:

- в камеру сушки поступает материал с повышенной температурой, которая способствует интенсивному поглощению влаги (массопереносу) высокотемпературным и гигроскопичным сушильным агентом с поверхности материала. Предварительный подогрев, на наш взгляд, способствует углублению слоя испарения влаги, повышая дополнительно интенсивность влагопереноса от материала к сушильному агенту;

- использование отработавшего сушильного агента, имеющего высокую температуру и влажность, в качестве теплоисточника обеспечивает прямую регенерацию части тепловой энергии, которая без этого процесса была бы утрачена.

Принципиальная схема установки представлена на рис.1.

В качестве источника тепловой энергии для подготовки сушильного агента используется паровой калорифер, обеспечивающий полную конденсацию отработавшего теплоносителя, который возвращается в паровой котел ДКВР-2,5-13. Из принципиальной схемы технологического процесса видно, что отбросная теплота отработавшего сушильного агента неоднократно подвергается регенерации в теплообменных аппаратах для предварительного подогрева наружного воздуха, направляемого

в калорифер, и воды, используемой впоследствии на технологические цели.

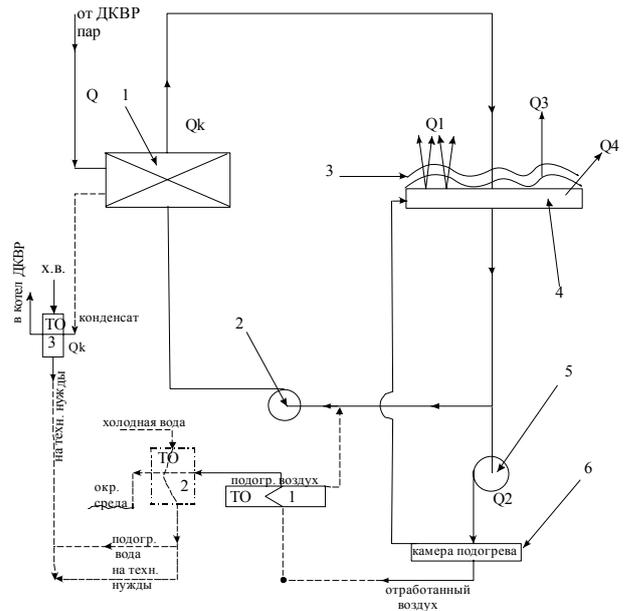


Рис.1.

- 1 – калорифер, 2 – вентилятор зонный,
3 – высушиваемый материал, 4 – конвейер,
5 – вентилятор вытяжной, 6 – камера подогрева материала перед сушкой

Регенерируется также тепловая энергия конденсата, поступающего из калорифера в Т О 3, за счет которой осуществляется подогрев воды.

Расчеты, проведенные нами по итогам производственных испытаний, показали, что за счет предварительного подогрева массы тресты перед сушильной камерой отработавшим сушильным агентом энергосберегающий эффект составляет от 7 до 11 % (по тепловому КПД сушильной установки). Опытно-производственные испытания в указанном направлении и реконструкцию сушильной установки с целью энергосбережения предполагается продолжить в текущем году на льнопродукции нового урожая. Планируется повысить качество приборного контроля при производственных испытаниях за счет использования приборов более высокого класса и уточненной методики обработки полученных данных. Наряду с этим представляется целесообразным уточнение расчетных уравнений, используемых для определения энтальпии сушильного агента. В частно-

сти, предлагается в уравнении энтальпии влажного воздуха использовать не максимальное, а реальное численное значение удельной теплоты парообразования, зависящее от температуры. Уточнению подлежат и численные значения теплоемкости сушильного агента с учетом реальных температур.

В результате проведенных исследований поискового характера получены позитивные данные, позволяющие считать перспективным направление энергосбережения, заключающееся в использовании отработавшего сушильного агента для предварительного подогрева тресты перед сушкой.

Производственные испытания позволят получить необходимые материалы, на основе которых возможен дальнейший поиск путей снижения энергоемкости производственных процессов по первичной переработке лубяных культур и получения натуральных волокон высокого качества при приемлемых затратах. В первую очередь

нами намечено провести анализ энергопотребления в наиболее энергоемких технологических процессах, одним из которых и является сушка высоковлажных материалов (треста, пряжа, полотно и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузьмин В.А., Овсянников Д.Л.* Влияние некоторых режимных параметров на тепловой коэффициент полезного действия в процессе сушки капиллярно-пористого коллоидного материала // Наука ПРОТЭК-98: Материалы регион. НТК (Киров, 1998). – Киров: ВятГТУ, 1999. Т.2. С.141...142.
2. *Лыков А.В.* Теория сушки. – М.: Энергия, 1968.
3. *Рудобаица С.П.* Расчет кинетики и динамики процессов конвективной сушки // Теоретические основы химической технологии. – 1991. Т.25, № 1. С.25...31.
4. *Шубин Г.С.* Сушка и тепловая обработка древесины. – М.: Лесная промышленность, 1990.

Рекомендована кафедрой технологии производства льняного волокна. Поступила 21.06.2006.