

На основе такой иллюстрации можно с высокой степенью точности квалифицировать не только качество древесины, но и назначать отбор технологических сортиментов с максимальными предпочтениями тех или иных характеристик древесины..

Результаты проведенных исследований позволяют определять характер и степень анизотропности древесины, взятой из конкретных зон дерева, а также прогнозировать «поведение» древесины при ее обработке (сушке, склеивании, резании, пропитке и т.д.) с учетом ожидаемых напряженно-деформационных состояний древесного материала.

## Библиографический список

1. Полубояринов О. И. Плотность древесины / О.И. Полубояринов. – М.: Лесная промышленность, 1976. –160 с.
2. Полубояринов О.И. Оценка качества древесного сырья. – Л.: ЛТА.: 1971. – 70 с.
3. Мелехов В.И. Комплексная оценка качества древесины хвойных пород в культурах: монография / В.И. Мелехов, С.А. Корчагов, Н.А. Бабич; Сев. (Арктич.) федер. ун-т. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. – 130 с : ил.
4. Волынский, В.Н. Взаимосвязь и изменчивость физико-механических свойств древесины / В.Н. Волынский – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2000. – 196 с.
5. Алексеев И.А., Полубояринов О.И. Лесное товароведение с основами древесиноведения: учеб. Пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 457 с.
6. Вихров, В. Е. Изменение крепости древесины в зависимости от процента по здрней части годичного слоя и влажности / Вихров В.Е. //Труды Арханг. лесотехн. ин-та. – 1949. – Т. 13. – С. 175-178.
7. Brashaw, Brian K.; Vatalaro, Robert J.; Wacker, James P.; Ross, Robert J. Condition Assessment of Timber Bridges: 1. Evaluation of a Micro-Drilling Resistance Tool Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-159. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, WI, 2005.

УДК 674.047

**Мазаник Н. В., Бабич Д. П.**

(БГТУ, г. Минск, РБ) [vileishikovan@mail.ru](mailto:vileishikovan@mail.ru)

## **СОКРАЩЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ СУШКЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ**

*Изучена возможность применения конвертеров частоты вращения вентиляторов в конвективных сушильных камерах. Определены рациональные скорости перемещения сушильного агента через штабель. Показана эффективность использования конвертеров частоты для снижения расхода электроэнергии.*

В современных условиях постоянного роста цен на энергоносители вопросы энергосбережения приобретают ключевое значение с точки зрения обеспечения конкурентоспособности продукции деревообработки. Особенно заметный эффект мероприятия, направленные на снижение расхода энергии, имеют в таком энергоемком процессе как сушка пиломатериалов. В настоящее время известно достаточно много способов уменьшения потребления тепловой энергии. К ним относятся:

– перевод сушильных камер, работающих на пару, на использование в качестве теплоносителя горячей воды;

- сокращение потерь тепловой энергии за счет улучшения теплоизоляции сушильных камер;
- повышение точности контроля и регулирования параметров сушильного агента;
- использование теплоты отработанного сушильного агента;
- использование солнечной энергии;
- применение конденсационных установок;
- внедрение осциллирующих и прерывистых режимов сушки.

В то же время гораздо более редкими являются исследовательские работы, направленные на оптимизацию потребления электрической энергии при сушке. Большинство из них концентрируются вокруг проблем сокращения аэродинамических потерь за счет оптимизации сечений циркуляционных каналов и совершенствования конструкций вентиляторов. Однако наиболее интересным и перспективным направлением исследований представляется разработка режимов сушки с регулируемой скоростью перемещения сушильного агента в штабеле пиломатериалов. Такое регулирование может быть реализовано путем включения в систему привода вентиляторов конвертеров, изменяющих частоту их вращения.

Высокая эффективность применения конвертеров частоты вращения в сушильных камерах обусловлена законами пропорциональности расхода, давления, мощности и частоты, проиллюстрированными на рисунке 1.

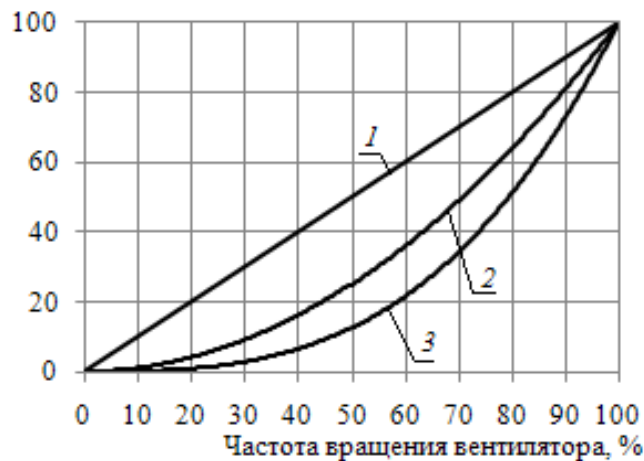


Рис. 1. Зависимость расхода, давления, и энергопотребления вентилятора от частоты его вращения:

1 – расход; 2 – давление; 3 – энергопотребление

Так, очевидно, что расход воздуха может регулироваться путем изменения числа оборотов вентилятора. Однако в то время как при соотношении расход-частота вращения имеет место линейная зависимость, давление-частота вращения – квадратичная, то потребляемая вентилятором мощность при изменении частоты вращения изменяется пропорционально кубу этого изменения:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}, \quad (1)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2, \quad (2)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3, \quad (3)$$

где  $n_1$  – номинальная скорость вращения вентиляторов;  $n_2$  – пониженная скорость вращения вентиляторов;  $Q_1$  – номинальный расход воздуха;  $Q_2$  – пониженный расход воздуха;  $H_1$  – номинальное давление;  $H_2$  – пониженное давление;  $P_1$  – номинальная мощность;  $P_2$  – пониженная мощность.

Таким образом, при уменьшении частоты вращения вентилятора относительно номинального значения на 20 % его производительность также уменьшается на 20% (т. е. до 80% от номинальной), в то же время, потребление электроэнергии снижается уже на 50 %.

Как известно, в настоящее время регламентируемыми параметрами режимов сушки являются температура, психрометрическая разность и относительная влажность сушильного агента. Стандартные режимы сушки, приведенные в РТМ, разработаны для сушильных камер, обеспечивающих определённую скорость циркуляции воздуха. Для хвойных и мягких лиственных пород эта скорость составляет 1,0÷2,5 м/с, для твёрдых лиственных пород – 0,8÷2,0 м/с. При фактической скорости ниже или выше стандартного диапазона скорость сушки регулируют, изменяя психрометрическую разность агента. В то же время у некоторых зарубежных производителей сушильных камер наблюдается тенденция к увеличению средней скорости потока агента в штабеле до 3–3,5 м/с. Поставщики оборудования заявляют о повышенной производительности таких камер. Для выяснения того, насколько обоснованным является такое утверждение, мы проанализировали влияние скорости циркуляции воздуха на скорость сушки сосновых пиломатериалов (рис. 2).

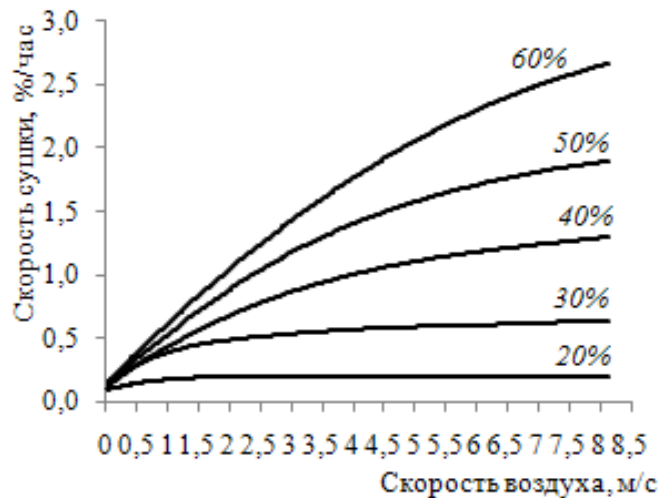


Рис. 2. Зависимость скорости сушки от скорости циркуляции воздуха в штабеле при различных значениях влажности пиломатериалов

Из графиков, представленных на рис. 2, можно видеть, что чем выше влажность древесины, тем сильнее влияет скорость циркуляции на интенсивность десорбции. Это может быть объяснено тем фактом, что в начале процесса сушки влажность наружных слоев древесины высока, кроме того капиллярный подсос влаги из ближних слоев древесины полностью компенсирует потерю влаги за счет испарения. Таким образом, скорость испарения определяется в основном скоростью удаления молекул воды с поверхности циркулирующим потоком воздуха. По мере просыхания поверхностных слоев

путь, который должна проходить влага для достижения поверхности увеличивается, скорость сушки начинает зависеть в основном от процесса влагопроводности и становится малочувствительной к изменениям скорости циркуляции. Так, например, при влажности древесины ниже 30% изменения скорости воздушного потока в диапазоне 1,5–8 м/с практически не влияют на интенсивности испарения [1]. Таким образом, может быть сделан вывод о целесообразности уменьшения скорости циркуляции воздуха в камере по мере просыхания высушиваемого материала.

Мы произвели сравнительный анализ расхода электроэнергии на сушку пиломатериалов сосны толщиной 40 мм стандартным режимом и режимом, в котором производится поэтапное снижение частоты вращения вентиляторов по мере уменьшения влажности древесины. Расчет производился для камеры с 5 осевыми реверсивными вентиляторами с приводами от двигателей мощностью 3 кВт каждый. Суммарная установленная мощность таким образом составляла 15 кВт. Скорость сушильного агента в штабеле пиломатериалов при 100% номинальной мощности вентиляторов равнялась 2,5 м/с (табл. 1).

Таблица 1

**Сравнительный анализ энергозатрат на сушку  
с и без регулирования частоты вращения вентиляторов**

Стадия цикла сушки	Текущая влажность материала, W, %	Продолжительность стадии цикла сушки, ч	Режим без регулирования частоты вращения вентиляторов		Режим, предусматривающий регулирование частоты вращения вентиляторов		
			Скорость сушильного агента в штабеле, м/с	Расход электроэнергии, кВт·ч	Процент от номинальной частоты вращения вентиляторов, %	Скорость сушильного агента в штабеле, м/с	Расход электроэнергии, кВт·ч
Прогрев	110	8	2,5	120	85	2,1	73,7
1	110-100	7	2,5	105	100	2,5	105,0
2	100-90	7	2,5	105	100	2,5	105,0
3	90-80	7	2,5	105	95	2,4	90,0
4	80-70	7	2,5	105	90	2,3	76,5
5	70-60	6	2,5	90	86	2,2	57,2
6	60-50	5	2,5	75	82	2,1	41,4
7	50-40	5	2,5	75	78	2,0	35,6
8	40-30	4	2,5	60	75	1,9	25,3
9	30-25	4	2,5	60	72	1,8	22,4
10	25-10	15	2,5	225	70	1,8	77,2
ВТО	10	2	2,5	30	80	2,0	15,4
Конд-е	10	2	2,5	30	80	2,0	15,4
Охлаждение	10	2	2,5	30	80	2,0	15,4
Итого:				1215,0			755,42

Из таблицы можно видеть, что суммарные затраты электроэнергии на сушку пиломатериалов без использования конвертера частоты вращения вентиляторов составили

1215 кВт·ч, при применении регулирования частоты - 755,42 кВт·ч. Таким образом экономия энергии составляет 37,8 %. Приведенный расчет убедительно доказывает целесообразность перевода сушильных камер на использование режимов сушки с регулируемой скоростью циркуляции агента. Тем не менее, возможность регуляции частоты вращения вентиляторов не менее важна даже при отсутствии специализированных режимов. Как известно, верхний предел скорости циркуляции в камере ограничивается требованиями обеспечения заданного качества сушки и зависит от породы и толщины пиломатериалов. Исследования, проведенные Центром лесной продукции Брукса и Политехническим институтом Виргинии [2] показали, что на первой ступени сушки оптимальной является скорость 1,8-2 м/с. Данные результаты подтверждаются опытом других крупных производителей камер. Например, Muhlbock/Vanisek указывает на то, что максимально допустимой является величина 2–2,5 м/с и ее превышение приводит не только к ухудшению качества сушки, но даже к сокращению ее скорости, поскольку на поверхности древесины при излишне большой скорости циркуляции образуется своеобразная «корка», препятствующая испарению [3]. При этом чем выше базисная плотность высушиваемой древесины, тем ниже должна быть скорость сушки и, соответственно, скорость циркуляции.

Однако известно, что при проектировании сушильных камер производители оборудования закладывают такие вентиляторы, которые по своим характеристикам способны обеспечить сушку самого быстросохнущего пиломатериала. За него обычно принимают сосновые доски толщиной 19-25 мм. При формировании штабеля из пиломатериалов большей толщины скорость циркуляции агента сушки в нем будет существенно выше оптимальной.

Чтобы продемонстрировать это мы определили скорость циркуляции агента сушки в штабеле пиломатериалов при различном объеме циркулирующего воздуха ( $V=180$  тыс. м<sup>3</sup>/ч,  $V=190$  тыс. м<sup>3</sup>/ч,  $V=200$  тыс. м<sup>3</sup>/ч и  $V=210$  тыс. м<sup>3</sup>/ч). Расчет производился для камеры с поперечно-вертикальной циркуляцией воздуха. Длина сушильного пространства камеры составляла 13 м, высота пакетных штабелей, уложенных без шпаций – 3,225 м, толщина межрядовых прокладок 25 мм, межпакетных прокладок – 75 мм. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Зависимость скорости циркуляции сушильного агента  
в штабеле от толщины пиломатериалов**

Толщина пиломатериалов, S, мм	Скорость циркуляции сушильного агента, м/с, при объеме циркулирующего воздуха, тыс. м <sup>3</sup> /ч:			
	210	200	190	180
19	2,2	2,1	2,0	1,9
22	2,3	2,2	2,1	2,0
32	2,7	2,6	2,4	2,3
40	3,0	2,8	2,7	2,5
50	3,3	3,1	2,9	2,8
60	3,5	3,4	3,2	3,0

Можно видеть, что при любом рассмотренном объеме циркуляции скорость движения воздуха для части толщин материалов выходит за пределы оптимального диапазона 2–2,5 м/с (рис. 3). Таким образом, при сушке толстых досок возникает явный переизбыток мощности, который выливается в бесполезные затраты электрической энергии.

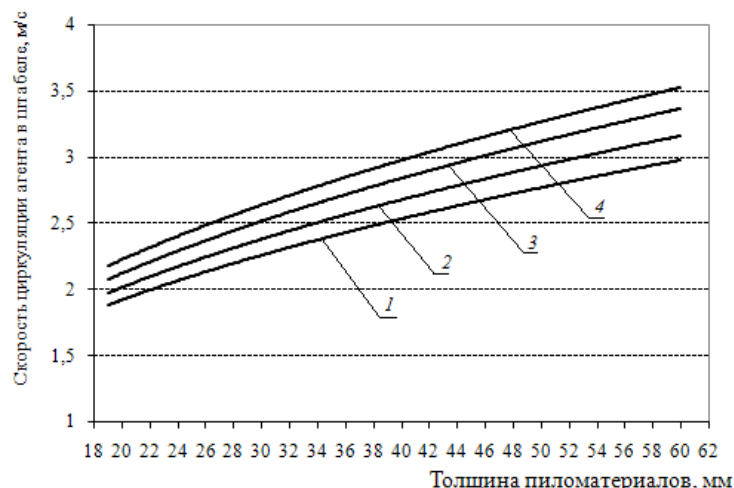


Рис. 3. Зависимость скорости циркуляции сушильного агента в штабеле от толщины пиломатериалов: 1 – объем циркулирующего агента сушки  $V=180$  тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$ ; 2 –  $V=190$  тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$ ; 3 –  $V=200$  тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$ ; 4 –  $V=210$  тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$

В табл. 3 приведены результаты расчета, показывающего, на сколько может быть уменьшена производительность вентиляторов при условии поддержания в штабеле скорости циркуляции, равной 2,5 м/с.

Таблица 3

**Результаты расчета требуемой производительности вентиляторов для обеспечения скорости циркуляции агента в штабеле равной 2,5 м/с**

Толщина пиломатериалов, $S$ , мм	Коэффициент заполнения штабеля по высоте, $\beta_v$	Площадь живого сечения штабелей, $f_{ш}$ , $\text{м}^2$	Требуемый объем циркуляции, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	Процент использования номинальной производительности вентиляторов, %	Процент потребления установленной мощности приводов вентиляторов, %
19	0,402	26,38	237,4	100,0	100
25	0,465	23,93	215,3	90,7	73
32	0,522	21,72	195,4	82,3	53
40	0,572	19,77	178,0	75,0	43
50	0,620	17,93	161,3	68,0	32
60	0,657	16,52	148,6	62,6	23

Подводя итог вышесказанному, отметим, что регулирование скорости циркуляции агента сушки посредством использования конверторов частоты вращения вентиляторов должно производиться в зависимости от трех факторов: породы пиломатериалов, их размерных характеристик и текущей влажности древесины. Использование конвертеров позволяет существенно сократить расход электроэнергии на сушку пиломатериалов.

Библиографический список

1. Steiner Y. Optimizing the air velocity in an industrial wood drying process: Master thesis // Department of ecology and natural resource management. – Norwegian university of life sciences, 2008. – 114 с.

2. Wengert E. M. Principles and practices of drying lumber // Brooks forest products center of Virginia, Virginia polytechnic institute. – Lignomat, USA Ltd., 2006.

3. Muhlbock/Vanicek: классика сушки древесины [Электронный ресурс] // Оборудование и инструмент для профессионалов : электрон. версия газ. 2008. URL: <http://www.informdom.com/equipment/wood/article/538/> (дата обращения: 14.02.2014).

УДК 674.812.02

**Паринов Д.А., Шамаев В.А.**

(ВГЛТА, г. Воронеж, РФ) [drevstal@mail.ru](mailto:drevstal@mail.ru)

### **СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ШПАЛ ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

*Доказана возможность получения железнодорожных шпал из модифицированной древесины мягких лиственных пород путем пропитки, прессования и сушки. Вставки из прессованной древесины плотностью 1000-1100 кг/м<sup>3</sup> с рабочей торцевой поверхностью в местах крепления рельса к шпале обеспечивает срок службы шпалы 35-50 лет.*

В настоящее время в мире всё больший интерес приобретает проблема облагораживания малоценной древесины (осина, береза, тополь, эвкалипт) в связи с возникшим дефицитом ценной древесины твердых лиственных пород [1,2,3,4]. Разработанные технологии модифицирования касаются в основном маломерных заготовок длиной до 1,5 м [5]. Основные требования, предъявляемые к заготовкам из модифицированной древесины:

- стоимость ниже аналога, например древесины дуба;
- огнестойкость;
- биостойкость;
- декоративные свойства не хуже аналогов;
- прочность равная или выше аналогов;
- формоизменение на уровне натуральной древесины;
- эксплуатационные свойства на уровне древесины хвойных пород.

В настоящее время разработаны технологии, позволяющие реализовать совокупность предъявляемых требований [5], но только для короткомерных заготовок. По этим технологиям налажен выпуск модифицированной древесины в Китае, Японии, России, США, многих странах Евросоюза.

Нами предлагается несколько технологических решений для получения крупномерных заготовок длиной 3 – 12м для получения, например железнодорожных шпал, свай, столбов ЛЭП, переводных брусев и т.д.

Для примера рассмотрим только одну породу в качестве сырья березу, которая в настоящее время в РФ перерабатывается в размере 15% от расчетной лесосеки. В качестве конечного продукта рассматриваем столб ЛЭП длиной 8м или переводной брус той же длины.

Для получения железнодорожных шпал длиной до 2,75 м разработана технология, совмещающая операции сушки, прессования и пропитки заготовок в одной установке, как по месту, так и по времени.

Полученные таким способом шпалы служат вдвое дольше, чем сосновые, но имеют один недостаток – под металлической прокладкой они изнашиваются, т.к. в процессе эксплуатации подкладка совершает возвратно-поступательные движения и волокна древесины перерезаются телом прокладки (износ происходит поперек волокон древе-