

## 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.

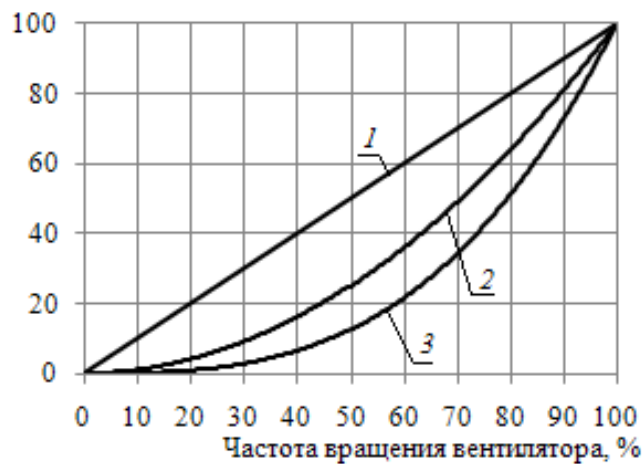


Рис. 1. Зависимость расхода, давления, и энергопотребления вентилятора от частоты его вращения:

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).



		ки, ч	м/с	кВт·ч	ляторов, %	м/с	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.

### 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.

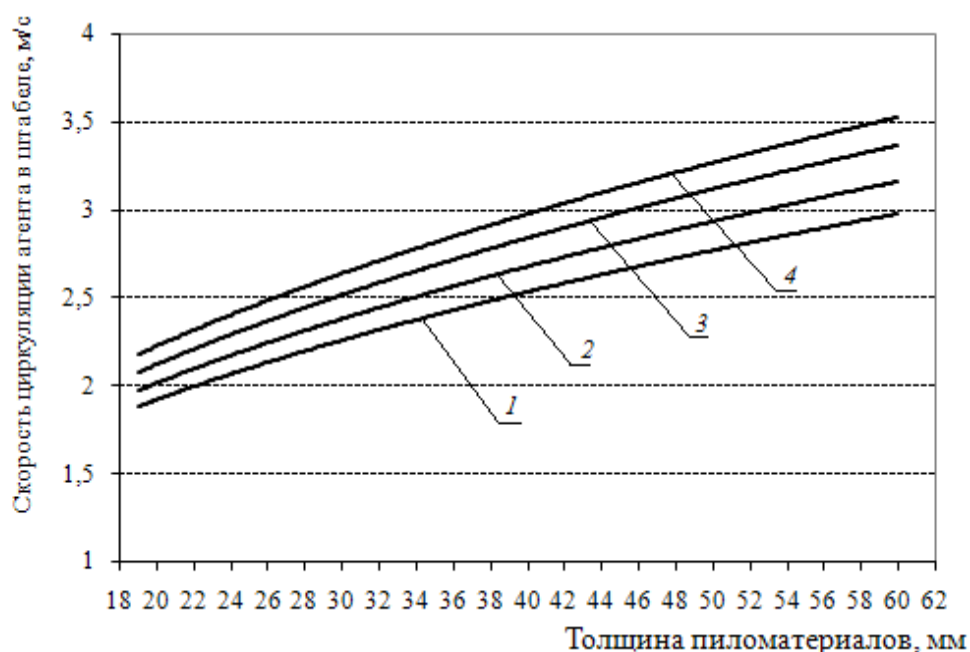


Рис. 3. Зависимость скорости циркуляции сушильного агента в штабеле от толщины пиломатериалов: 1 – объем циркулирующего агента сушки  $V=180$  тыс. м<sup>3</sup>/ч; 2 –  $V=190$  тыс. м<sup>3</sup>/ч; 3 –  $V=200$  тыс. м<sup>3</sup>/ч; 4 –  $V=210$  тыс. м<sup>3</sup>/ч

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,	Коэффициент заполнения штабеля по высоте, $\beta_v$	Площадь живого сечения штабелей,	Требуемый объем циркуляции, тыс. м <sup>3</sup> /ч	Процент использования номинальной производительности	Процент потребления установленной мощности

S, мм		$f_{ш}, м^2$		вентиляторов, %	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.

### Литература

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).