

Рис. 2. Емкостный датчик относительной влажности:  
1 – электроды; 2 – терморезистивный полимер; 3 – кремниевая подложка

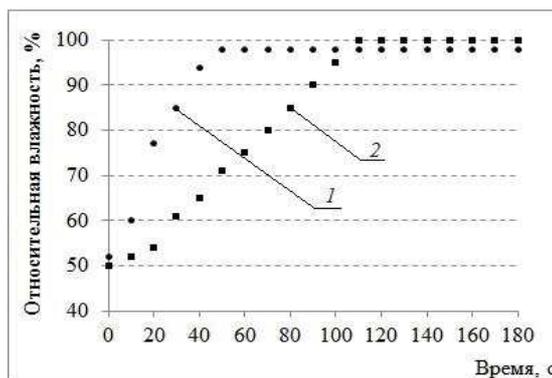


Рис. 3. Экспериментальные кривые отклика датчиков влажности:  
1 – кривая показаний электронного датчика;  
2 – кривая показаний психрометра

Можно видеть, что время отклика у электронного датчика составило 50 с, у психрометра – 110 с, т. е. в 2,2 раза больше. В то же время психрометр показал истинное значение относительной влажности (100 %), в то время как максимальное значение в соответствии с электронным датчиком равнялось 98%.

**Заключение.** Подводя итоги данного обзора, отметим, что при объективном рассмотрении достоинств и недостатков различных видов датчиков следует признать, что оптимальными по соотношению цена – качество являются дистанционные психрометры. Их особенности, считающиеся недостатками, легко устранимы при соблюдении ряда простых правил эксплуатации, таких как установка в потоке агента со скоростью циркуляции не менее 2 м/с, использование умягченной воды с автоматической стабилизацией ее уровня, применение термодар, не требующих термокомпенсации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов. – Архангельск: ЦНИИМОД, 2000. – 125 с.
2. Лызенко, А.В. Анализ точности регулирования процесса сушки / А.В. Лызенко, В.Ю.Буданов, Л.Л. Кротова // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. – Красноярск: СГТУ, 2007. – С. 42–45.

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА ПРИ СУШКЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В КАМЕРАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

*Н.В. Мазаник, Д.П. Бабич, О.Г. Рудак*

*Беларусь, Белорусский государственный технологический университет, г. Минск*

**Введение.** 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.

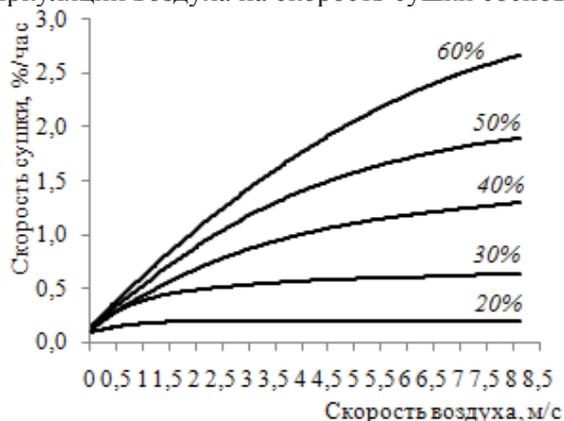
В то же время гораздо более редкими являются исследовательские работы, направленные на оптимизацию потребления электрической энергии при сушке. Большинство из них концентрируются вокруг проблем сокращения аэродинамических потерь за счет оптимизации сечений циркуляционных каналов и совершенствования конструкций 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.

**Основная часть.** Высокая эффективность применения конвертеров частоты вращения в сушильных камерах обусловлена законами пропорциональности расхода, давления, мощности и частоты. 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.

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 руководящих технических материалах, разработаны для сушильных камер, обеспечивающих определенную скорость циркуляции воздуха. Для хвойных и мягких лиственных пород эта скорость составляет  $1,0 \div 2,5$  м/с, для твердых лиственных пород –  $0,8 \div 2,0$  м/с. 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 (см. рис.).



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

Из графиков, представленных на рисунке, 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. 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 интенсивность 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 пятью осевыми реверсивными вентиляторами с приводами от двигателей мощностью 3 кВт каждый. Скорость сушильного агента в штабеле пиломатериалов при 100%-ой номинальной мощности вентиляторов равнялась 2,5 м/с (табл. 1).

Из таблицы можно видеть, что суммарные затраты электроэнергии на сушку пиломатериалов без использования конвертера частоты вращения вентиляторов составили 1215 кВт·ч, при применении

регулируемая частота – 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. Однако 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.

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 таблице 2.

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
1	2	3	4	5	6	7	8
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
Кондиционирование	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

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. Таким образом, при сушке толстых досок возникает явный переизбыток мощности, который выливается в бесполезные затраты электрической энергии.

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

**Заключение.** 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.

### РАСЧЕТ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ДОМОВ КАРКАСНОГО ТИПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ ИЗ ДРЕВЕСНОГО ВОЛОКНА

*О.К. Леонович*

*Беларусь, Белорусский государственный технологический университет, г. Минск*

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 5 апреля 2013 г. № 267 «О Концепции государственной жилищной политики Республики Беларусь до 2016 года» целью государственной жилищной политики до 2016 года является создание условий для удовлетворения гражданами потребности в доступном и комфортном жилье согласно их индивидуальным запросам и финансовым возможностям, формирование полноценного рынка жилья. Наряду со строительством крупнопанельного домостроения, планируется разрабатывать и реализовывать проекты строительства экономичных быстровозводимых домов с учетом использования преимущественно отечественных новых материалов с высокими техническими характеристиками. Исследования в этом направлении приведены в работах [1,2].

Объектом исследования является стеновая панель для домов каркасного типа с вентилируемыми проемами с применением новой теплоизоляционной древесноволокнистой плиты сухого способа прессования по методу Siempelkamp .

При строительстве домов необходимо проектировать ограждающие конструкции, у которых термическое сопротивление теплопередаче не ниже нормативного  $R_{т.норм.} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-43-2006 и изменениями к нему. Определение характеристик тепловой защиты при проектировании жилых и общественных зданий проводится в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-196-2010 «Тепловая защита зданий.» [3,4].

Предложена многослойная конструкция деревянной стеновой панели с применением новой теплоизоляционной древесноволокнистой плиты сухого способа прессования по методу Siempelkamp, изолированной от внешней среды деревянными клееными щитами. В конструкции с наружной стороны по утеплителю укладывается ветроизоляционная пленка, а с внутренней стороны – пароизоляционная.