

УДК 674.047

**Н. В. Мазаник**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);  
**Д. П. Бабич**, магистр технических наук, ассистент (БГТУ);  
**О. Г. Рудак**, магистр технических наук, ассистент (БГТУ)

### КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА ПРИ КАМЕРНОЙ СУШКЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

В статье приводится сравнительный анализ способов контроля влажности сушильного агента при камерной сушке пиломатериалов. Рассмотрены достоинства и недостатки датчиков влажности различных типов. Приведены результаты экспериментального исследования зависимости показаний психрометра от скорости циркуляции воздуха, а также кривые отклика психрометра и электронного датчика.

The article provides a comparative analysis of the ways of drying agent humidity control during kiln drying of lumber. The advantages and disadvantages of different types of humidity sensors are shown. The results of the experimental investigations of dependence of psychrometer readings on the air circulation speed, as well as the response curves of psychrometer and electronic sensor are given.

**Введение.** Известно, что скорость сушки пиломатериалов, как и качество сушки, напрямую зависят от правильности выбора режима. Под режимом понимают расписание состояния сушильного агента на входе в штабель. Данное состояние характеризуется не менее чем двумя параметрами. Одним из них традиционно является температура воздуха. Второй параметр прямо либо косвенно характеризует его влажностное состояние. Так, в руководящих технических материалах, регламентирующих режимы сушки в Республике Беларусь и в Российской Федерации, в качестве параметров, описывающих влажность воздуха, используются психрометрическая разность ( $\Delta t$ , °C) и степень насыщенности ( $\phi$ , %) [1]. В режимах сушки, применяемых в странах Европы, влажность воздуха указывается косвенно через величину равновесной влажности древесины, которая зависит от влажности воздуха. Режимы сушки, используемые в США, регламентируют температуру агента сушки по сухому термометру, темпера-

туру по мокрому термометру и психрометрическую разность.

Нужно отметить, что способ контроля влажностного состояния воздуха в сушильной камере зависит в первую очередь от системы автоматического контроля, установленной в ней. Подавляющее большинство крупных производителей сушильных камер предлагают потребителю самостоятельно выбрать систему автоматического регулирования в зависимости от своих предпочтений. От данного выбора зависит не только стоимость сушильной камеры, но и точность регулирования параметров сушильного агента.

**Основная часть.** Датчики климата, предлагаемые различными производителями, отличаются в основном способом контроля влажностного состояния сушильного агента. Возможны три варианта датчиков влажности: психрометры, датчики равновесной влажности либо электронные датчики относительной влажности воздуха (рис. 1).

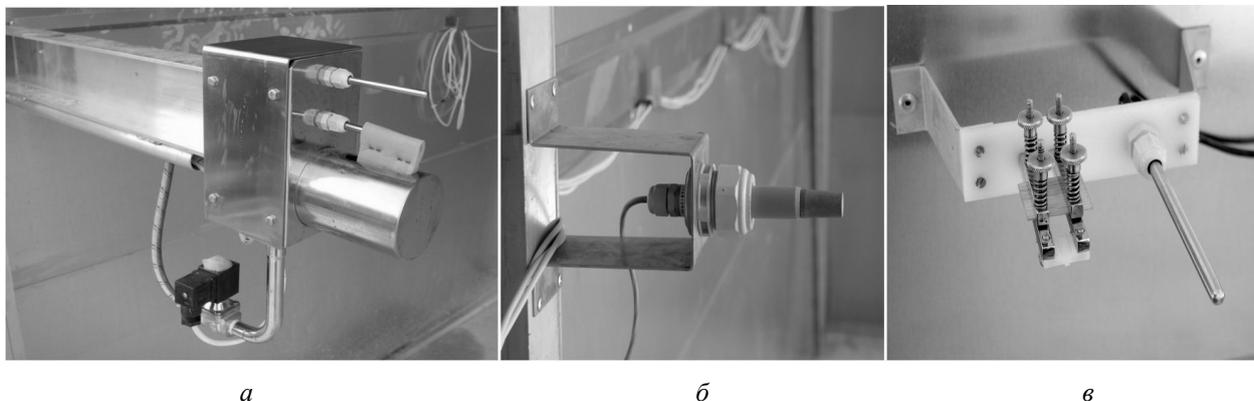


Рис. 1. Датчики контроля климата в сушильных камерах:  
*a* – психрометр на основе термометров сопротивления; *б* – электронный литиевый датчик относительной влажности; *в* – датчик равновесной влажности (UGL-датчик)

Как известно, психрометры (рис. 1, а) являются наиболее традиционными и хорошо изученными приборами для контроля состояния воздуха. Несомненные достоинства использования психрометров – дешевизна, простота и надежность конструкции, низкая инерционность, малая погрешность измерения. В то же время практиками сушки древесины отмечаются и недостатки психрометров. К ним, например, принято относить необходимость постоянно подливать воду для смачивания мокрого термометра. При эксплуатации ткань, с которой происходит испарение, и сами термометры покрываются налетом, что искажает показания психрометра. При использовании термопар нужен специальный термокомпенсационный провод, имеющий достаточно высокую стоимость. И наконец, в качестве главного недостатка психрометров указывается зависимость его показаний от скорости циркуляции окружающего воздуха. Данная зависимость объясняется влиянием циркуляции на скорость испарения влаги с тканевого покрытия мокрого термометра.

Мы провели эксперимент для изучения степени влияния скорости воздуха на показания стационарного психрометра. Скорость воздушного потока измерялась с помощью чашечного анемометра. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.

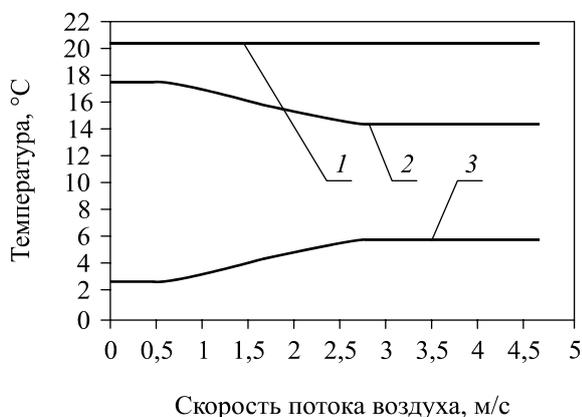


Рис. 2. Зависимость показаний психрометра от скорости циркуляции сушильного агента:  
 1 – температура по сухому термометру;  
 2 – температура по мокрому термометру;  
 3 – психрометрическая разность

Анализируя приведенные графики, можно видеть, что психрометрическая разность при отсутствии циркуляции воздуха существенно меньше, что связано со скоплением паров влаги в непосредственной близости от смоченного термометра. При увеличении скорости циркуляции зависимость становится пологой, и при скорости свыше 2,5 м/с показания психрометра изменяются уже незначительно. Таким образом,

скорость потока агента сушки, обтекающего смоченный термометр, должна быть не менее 2 м/с, а желательно более 2,5 м/с.

Датчики равновесной влажности (так называемые UGL-датчики) в последние десятилетия получили большую популярность у некоторых европейских производителей сушильных камер. Особенно часто такие устройства можно встретить в камерах итальянского производства (Incoplan, Secal, Secea, Nardi и др.). Конструктивно UGL-датчик представляет собой пластину из древесины или прессованной целлюлозы, закрепленную между двумя электродами (рис. 1, б). По величине электрического сопротивления с поправкой по температуре прогнозируется равновесная влажность древесины в заданном климате. К достоинствам такого способа контроля состояния воздуха можно отнести дешевизну целлюлозной пластины, а также удобство применения в автоматике сушильных камер, поскольку большинство европейских режимов сушки основано на управлении через потенциал сушки, т. е. отношение текущей влажности древесины к ее равновесной влажности. При использовании датчиков других типов приходится преобразовывать результаты измерения в равновесную влажность. Кроме того, для датчика UGL в отличие от психрометров не требуется подвод воды.

Однако, являясь весьма дешевым и удобным на первый взгляд средством измерения, UGL-датчики имеют два очень существенных недостатка. Это большая инерционность измерения (продолжительность реакции датчика на изменение фактического климата в камере составляет десятки минут) и большая погрешность измерения, особенно при высокой влажности воздуха. Эти особенности UGL-датчиков приводят к периодическим нарушениям в режиме сушки пиломатериалов, особенно на первых фазах процесса, которые являются наиболее ответственными [2]. Поэтому, несмотря на большую популярность в странах постсоветского пространства, UGL-датчики редко используются в Северной Америке, Канаде, Японии. Ведущие производители камер из Германии и Австрии (например, Muhlbock / Vanicek, Hildebrand) также предпочитают установку дистанционных психрометров.

Электронные емкостные датчики относительной влажности (рис. 1, в), способные работать в условиях сушильных камер для древесины, появились сравнительно недавно. Вообще, для измерения относительной влажности воздуха могут использоваться датчики, основанные на различных физических принципах. Выделяют три основных типа аналоговых датчиков: емкостные, резистивные, основанные на измерении

теплопроводности. Емкостные датчики влажности в настоящее время получили наибольшее распространение. Такие датчики конструктивно состоят из подложки, на которой крепится тонкопленочный полимерный или металлооксидный материал, расположенный между двумя электродами. При этом металлический электрод с рабочей стороны датчика выполняется пористым. Он пропускает пары влаги и обеспечивает защиту датчика от загрязнения и конденсата. Подложка может изготавливаться из стекла, керамики или кремния (рис. 3). Изменения в диэлектрической константе емкостного датчика влажности практически прямо пропорциональны относительной влажности окружающего воздуха [3].

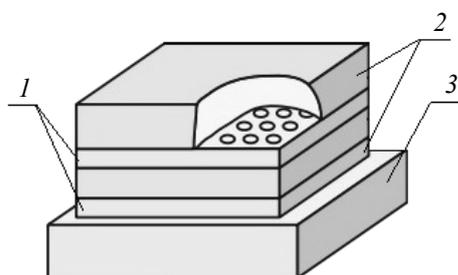


Рис. 3. Емкостный датчик относительной влажности:  
1 – электроды; 2 – терморезистивный полимер;  
3 – кремниевая подложка

Электронные емкостные датчики имеют относительно невысокую точность (3–5% относительной влажности). Инерционность датчиков изначально составляла более 15 мин, однако наиболее современные (и наиболее дорогостоящие) варианты производства американской корпорации «Honeywell» имеют быстродействие около 0,5–2 мин. Датчики требуют периодической градуировки и обязательно должны иметь систему температурной компенсации. Вероятность отказа датчика из-за загрязнения влагопоглощающего слоя достаточно велика. Кроме того, это самый дорогой вид датчиков. Их стоимость в 4–5 раз выше стоимости психрометров. К достоинствам электронного датчика можно отнести отсутствие необходимости в обслуживании после каждого цикла сушки. Время отклика и точность измерения при высокой степени насыщенности воздуха предположительно выше, чем у UGL-пластин.

Мы сравнили время отклика электронного датчика и психрометра при изменении относительной влажности воздуха от 50% до состояния насыщения ( $\phi = 100\%$ ). Результаты данного эксперимента приведены на рис. 4.

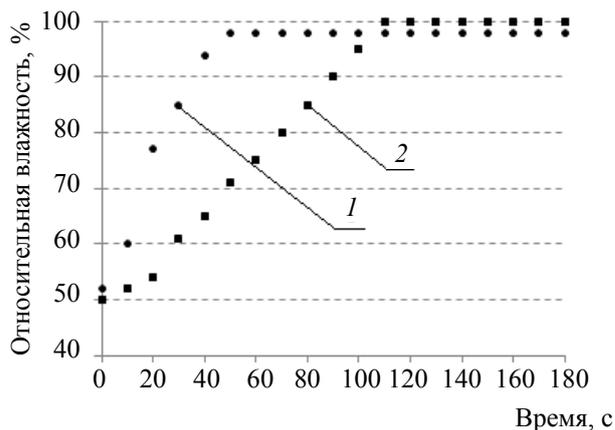


Рис. 4. Экспериментальные кривые отклика датчиков влажности:

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. Психрометр показал истинное значение относительной влажности (100%), в то время как максимальное значение в соответствии с электронным датчиком равнялось 98%.

**Вывод.** 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 термопар, не требующих термокомпенсации.

### Литература

1. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов. Архангельск: ЦНИИМОД, 2000. 125 с.
2. Лызенко А. В., Буданов В. Ю., Кротова Л. Л. Анализ точности регулирования процесса сушки // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск: Сибир. гос. технол. ун-т, 2007. С. 42–45.
3. Вычужанин В. В. Измерение влажности воздуха датчиками Honeywell // Современная электроника. № 5. 2008. С. 8–10.

Поступила 26.02.2014