

## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ЗАГОТОВКЕ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ОТДЕЛКЕ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.047: 630.847

Агапов В. П.

(УралНИИПДрев, г. Екатеринбург, РФ) [agapov.v.p@lenta.ru](mailto:agapov.v.p@lenta.ru)

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТАНДАРТНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ В ЛЕСОСУШИЛЬНОЙ КАМЕРЕ ВОЗДУХА С ЗАДАНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

*Показаны существенные дефекты стандартного способа управления сушильной камерой, которые ведут к перерасходу тепловой энергии и снижению качества сушки.*

Для получения качественной сушки пиломатериала необходимо уметь правильно подготовить в лесосушильной камере воздух с заданными параметрами. Для подготовки воздуха необходим способ, который позволит в любом случае и с минимальными затратами энергии и времени получить воздух с заданными параметрами.

Целью настоящей работы являются исследование стандартного способа подготовки воздуха с заданными параметрами. Он включает независимое регулирование температуры и влажности. При этом регулирование температуры воздуха производят изменением мощности нагревателя сушильной камеры. Регулирование влажности воздуха производят регулированием приточно-вытяжной вентиляции сушильной камеры и увлажнителя воздуха сушильной камеры.

Если температура воздуха меньше задания, то увеличивают мощность нагревателя. Если температура больше задания, то уменьшают мощность нагревателя. Если влажность воздуха меньше задания, то уменьшают производительность приточно-вытяжной вентиляции. Если влажность воздуха больше задания, то увеличивают производительность приточно-вытяжной вентиляции сушильной камеры. Если производительность приточно-вытяжной вентиляции сушильной камеры минимальна, а влажность воздуха меньше задания, то дополнительно увлажняют воздух впуском в сушильную камеру насыщенного пара. Для этого сушильная камера оснащается увлажнительной системой. Если влажность воздуха меньше задания, то увеличивают подачу в камеру увлажняющего пара. Если влажность больше задания, то уменьшают подачу в камеру увлажняющего пара.

Ожидаемые изменения параметров воздуха, которые произойдут при действии каждой технологической операции стандартного способа подготовки воздуха, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технологические операции традиционного способа подготовки воздуха и ожидаемые изменения параметров воздуха

№ п.п.	Технологическая операция	Ожидаемое изменение параметра воздуха			
		Температура воздуха	Влажность воздуха		
			Температура мокрого термометра	Психрометрическая разность	Относительная влажность
1	Нагрев воздуха	повышение	неизменна	неизменна	неизменна
2	Увлажнение воздуха паром	неизменна	повышение	понижение	повышение
3	Приточно-вытяжная вентиляция	неизменна	понижение	повышение	понижение
4	Нагрев воздуха и увлажнение паром	повышение	повышение	понижение	повышение
5	Нагрев воздуха и приточно-вытяжная вентиляция	повышение	понижение	повышение	понижение

Именно эти ожидания и положены в основу стандартного способа подготовки воздуха с заданными параметрами. В качестве показателя влажности воздуха используют либо температуру мокрого термометра, либо психрометрическую разность. Иногда в качестве показателя влажности используют относительную влажность воздуха.

Проанализируем действительные изменения параметров воздуха при выполнении каждой технологической операции в отдельности и совместно.

1. Анализ изменения параметров воздуха при его нагреве.

Анализ изменений параметров воздуха при его нагреве произведем с помощью  $Id$ -диаграммы [1], изображенной на рисунке 1. Воздух с влагосодержанием  $d_1$  нагревается от температуры  $T_1$  до температуры  $T_2$ . Влагосодержание воздуха остается неизменным. При этом температура мокрого термометра возрастает от  $T_{m1}$  до  $T_{m2}$ . По рисунку видно, что рост температуры воздуха  $T_2-T_1$  значительно выше роста температуры мокрого термометра  $T_{m2}-T_{m1}$ . Следовательно, психрометрическая разность возрастает, а относительная влажность воздуха уменьшается, т. е. при регулировании температуры неизбежно изменяются, психрометрическая разность и относительная влажность воздуха.

2. Анализ изменения параметров воздуха при вентиляции сушильной установки.

Анализ изменений параметров воздуха при вентиляции сушильной камеры произведем с помощью  $Id$ -диаграммы, изображенной на рисунке 2. Воздух сушильной камеры влагосодержанием  $d_1$  (точка 1) смешивается с наружным воздухом влагосодержанием  $d_0$  (точка 0). При этом параметры смеси (точка 2) находятся на прямой линии, соединяющей точки 1 и 0.

Влагосодержание смеси  $d_2$  ниже исходного влагосодержания воздуха в сушильной камере и выше влагосодержания наружного воздуха. При этом температура воздуха в сушильной камере снижается от температуры  $T_1$  до температуры  $T_2$ . Температура мокрого термометра снижается от температуры  $T_{m1}$  до температуры  $T_{m2}$ . По рисунку видно, что снижение температуры воздуха  $T_1-T_2$  значительно выше, чем снижение температуры мокрого термометра  $T_{m1}-T_{m2}$ . Следовательно, психрометрическая разность воздуха снижается, а относительная влажность воздуха, соответственно, возрастает. Кроме того, понижается температура воздуха в сушильной камере, на восстановление которой требуется дополнительная тепловая энергия.

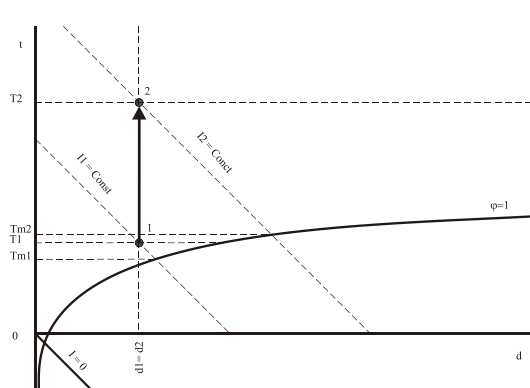


Рис.1. Нагрев воздуха.

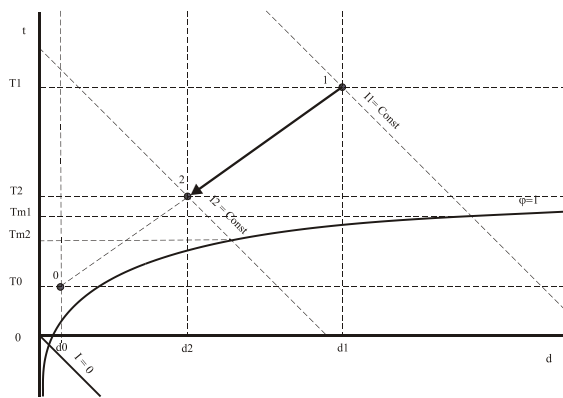


Рис.2. Вентиляция сушильной камеры.

3. Анализ изменения параметров воздуха при увлажнении паром.

Для анализа изменения параметров воздуха при увлажнении паром воспользуемся рисунком 3. На рисунке 3 изображена  $I-d$ -диаграмма изменения параметров воздуха при увлажнении ее паром.

Воздух сушильной камеры влажосодержанием  $d_1$  (точка 1) смешивается с паром определенного теплосодержания. При этом параметры смеси находятся на луче исходящем из точки 1. В результате увлажнения влажосодержание воздуха возрастает до величины  $d_2$ .

Если пар насыщенный низкого теплосодержания, то луч 1-2.1 направлен под небольшим углом к оси  $d$ . При этом температура воздуха повышается до величины  $T_{2.1}$ . Температура мокрого термометра возрастает до величины  $T_{m2.1}$ , а психрометрическая разность  $T_{2.1} - T_{m2.1}$  становится меньше исходной психрометрической разности  $T_1 - T_{m1}$ .

Если пар перегретый или насыщенный высокого теплосодержания, то луч 1-2.2 направлен под большим углом к оси  $d$ . При этом температура воздуха повышается до величины  $T_{2.2}$ . Температура мокрого термометра возрастает до величины  $T_{m2.2}$ . Психрометрическая разность  $T_{2.2} - T_{m2.2}$  становится выше исходной психрометрической разности  $T_1 - T_{m1}$ . Увеличение психрометрической разности может привести к порче пиломатериала. Поэтому перегретый пар не рекомендуют применять для увлажнения воздуха в сушильной камере.

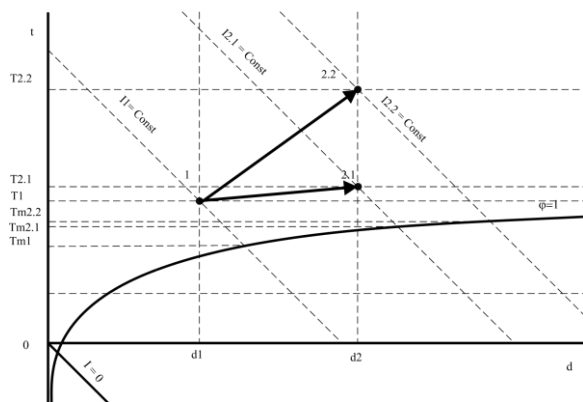


Рис.3. Увлажнение воздуха паром.

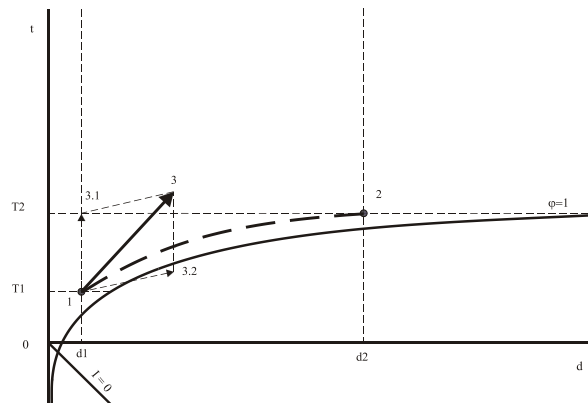


Рис.4. Прогрев древесины.

4. Анализ изменения параметров воздуха при его одновременном нагреве и увлажнении.

Одновременный нагрев и увлажнение воздуха происходит, прежде всего, при прогреве пиломатериала в начале сушки. При этом требуется быстро нагреть воздух, соблюдая его высокую влажность. Для этого включают на полную мощность нагреватель и увлажняют воздух паром. Анализ изменений параметров воздуха сушильной камеры при одновременном нагреве и увлажнении паром произведем с помощью  $I-d$ -диаграммы, изображенной на рисунке 4.

Воздух влажосодержанием  $d_1$  и с температурой  $T_1$  (точка 1) необходимо нагреть до температуры  $T_2$  и увеличить его влажосодержание до величины  $d_2$  (точка.2). Заданная траектория изменения параметров воздуха показана пунктирной линией 1-2.

Нагрев воздуха, изменяет его состояние по направлению вектора 1-3.1. Одновременно воздух увлажняется паром и изменяет свое состояние по направлению вектора 1-

3.2. При этом суммарное изменение параметров воздуха происходит в направлении вектора 1-3, являющегося суммой векторов 1-3.1 и 1-3.2. Происходит увеличение температуры и влагосодержания воздуха. Однако вектор 1-3 удаляет параметры воздуха от заданной траектории в сторону повышенной психрометрической разности (пониженной относительной влажности) воздуха. Это опасно для древесины. Обычно высокую психрометрическую разность воздуха при прогреве пиломатериала объясняют низкой герметичностью корпуса лесосушильной камеры. Выполненный выше анализ показывает физическую причину роста психрометрической разности. Плохая герметичность сушильной камеры дополнительно увеличивает психрометрическую разность.

5. Анализ изменения параметров воздуха при его нагреве и одновременной вентиляции сушильной камеры.

Нагрев воздуха и одновременная вентиляция сушильной камеры происходят, как правило, во время перехода со 2-ой ступени сушки на 3-ью ступень стандартного режима сушки. При этом согласно режиму требуется значительно повысить температуру и психрометрическую разность воздуха. Для увеличения температуры включается нагреватель, а для увеличения психрометрической разности включается приточно-вытяжная вентиляция сушильной камеры.

Анализ изменения параметров воздуха при его нагреве и одновременной вентиляции сушильной камеры произведем с помощью Id-диаграммы, изображенной на рисунке 5. Параметры воздуха, отображенные точкой 1, нужно изменить и получить параметры, отображенные на рис. 5 точкой 2.

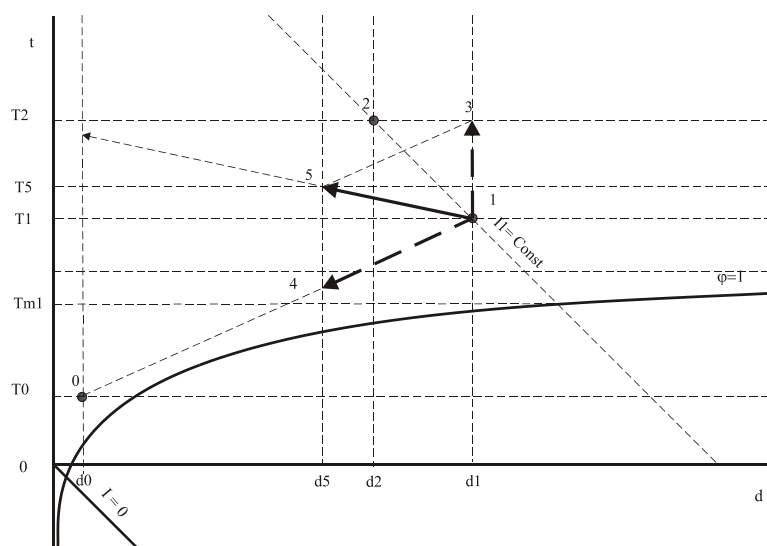


Рис.5. Переход на следующую ступень режима сушки.

В результате нагрева параметры воздуха изменяются в направлении вектора 1-3, а в результате приточно-вытяжной вентиляции камеры параметры воздуха изменяются в направлении вектора 1-4. Итоговое изменение параметров воздуха отображает вектор 1-5, являющийся суммой вектора 1-3 и вектора 1-4. Суммарный вектор 1-5 не совпадает с требуемым направлением 1-2.

Если мощность нагревателя низкая (в данный момент низкая температура теплоносителя) и высокая производительность приточно-вытяжной вентиляции, то увеличение температуры и психрометрической разности не произойдет. Это не соответствует ожиданиям.

Если же мощность нагревателя высокая и производительность приточно-вытяжной вентиляции низкая, то температура воздуха и психрометрическая разность повысятся. Это соответствует ожиданиям.

В первом случае сушка пиломатериала замедлится. При этом происходит обогрев улицы: воздух с улицы через приточный канал поступает в сушильную камеру, нагревается и через вытяжной канал снова выбрасывается на улицу. Такая ситуация может длиться долго и отрицательно сказывается на стоимости сушки.

Во втором случае процесс сушки проходит нормально, так как психрометрическая разность увеличивается, и процесс сушки ускоряется до режимного процесса.

6. Общие итоги анализа стандартного способа подготовки воздуха в сушильной камере сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Технологические операции стандартного способа подготовки воздуха и изменения параметров воздуха.

№ п.п.	Операция управления	Изменение параметра воздуха: ожидаемое / действительное			
		Температура воздуха	Влажность воздуха		
			Температура мокрого термометра	Психрометрическая разность	Относительная влажность воздуха
1	Нагрев воздуха	<u>повышение / повышение</u>	неизменна / повышение	неизменна / повышение	неизменна / понижение
2	Увлажнение воздуха паром	неизменна / повышение	<u>повышение / повышение</u>	понижение / неопределенно	повышение / неопределенно
3	Приточно-вытяжная вентиляция камеры	неизменна / понижение	<u>понижение / понижение</u>	повышение / понижение	понижение / повышение
4	Нагрев воздуха и увлажнение паром	повышение / повышение	повышение / повышение	понижение / неопределенность	повышение / неопределенность
5	Нагрев воздуха и приточно-вытяжная вентиляция камеры	повышение / неопределенность	понижение / неопределенность	повышение / неопределенность	понижение / неопределенность

Из данных таблицы 2 следует, что при использовании стандартного способа подготовки воздуха только в 3-х из 20-ти клеток таблицы ожидаемые и действительные изменения параметров воздуха совпадают. В таблице они подчеркнуты. Однако при этом создаются взаимные перекрестные помехи температуры и влажности воздуха. Они затрудняют получение заданных параметров воздуха. В остальных 17-ти клетках таблицы действительные и ожидаемые изменения параметров воздуха не совпадают, а иногда им противоположные.

Общим недостатком стандартного способа подготовки воздуха в сушильной камере является отсутствие учета физической взаимосвязи температуры и психрометрической разности (относительной влажности) воздуха. В результате этого он не гарантирует получение воздуха с заданными параметрами, ведет к избыточному расходу тепла на сушку и не обеспечивает получение высокого качества высушенной древесины.

Названные дефекты стандартного алгоритма управления подготовкой воздуха автором данной статьи полностью устранены в алгоритме, реализованном в автоматическом регуляторе сушки древесины Роса 2 и Прогресс [2, 3]. Алгоритм обеспечивает компенсацию взаимного возмущающего действия каналов регулирования температуры и

психрометрической разности. Он позволяет получить высокое качество регулирования процесс сушки.

## Библиографический список

1. Серговский П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная промышленность. 1975. 400 с.
2. Регулятор процесса сушки РОСА-2. Описание экспоната международной выставки «Лесдревмаш-79». Советский раздел. Москва: ВНИПИЭИлеспром. 1979.
3. Агапов В. П. Изготовить экспериментальный образец программного регулятора процесса сушки древесины по ее текущей влажности «Прогресс» и провести экспериментальные исследования. Отчет СвердловНИИПДрев по теме № 27. IV.27.81. Свердловск. 1981. 35 с.

**УДК 674.047; 630.847**

**Агапов В. П.**

(УралНИИПДрев, г. Екатеринбург, РФ) [agapov.v.p@lenta.ru](mailto:agapov.v.p@lenta.ru)

## **АНАЛИЗ СВЯЗИ РАВНОВЕСНОЙ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ С ПАРАМЕТРАМИ ВОЗДУХА**

*Приведена диаграмма равновесной влажности. Показано, что равновесная влажность древесины однозначно зависит от психрометрической влажности воздуха.*

Из специальной литературы по сушке древесины известны диаграммы, связывающие равновесную влажность древесины с параметрами окружающего воздуха [1,2,3]. Одна из часто используемых диаграмм приведена в учебнике [1] и изображена на рис. 1. На диаграмме по оси  $x$  показаны значения температуры, а по оси  $y$  – значения относительной влажности воздуха. На поле диаграммы приведен ряд линий постоянной равновесной влажности.

Для пользования названной диаграммой необходимо знать температуру сухого термометра и относительную влажность воздуха. Для этого по температуре сухого и мокрого термометра с помощью психрометрической таблицы определяется относительная влажность воздуха. Затем по диаграмме для известной температуры и относительной влажности воздуха графически определяются равновесная влажность древесины.

Пользоваться подобной диаграммой сложно, т. к. необходимо иметь дополнительно психрометрическую таблицу и трудно отыскивать необходимые параметры среди множества кривых. Кроме того, по данной диаграмме невозможно понять, какой параметр воздуха более влияет на равновесную влажность древесины.

Нами [4] с целью упрощения пользования произведено математическое описание диаграммы. При этом методом наименьших квадратов [5] получено уравнение

$$W_p = (30.8 - 0.137 * t_c) - (8.82 - 0.04977 * t_c) * \ln(t_c - t_m), \quad (1)$$

где  $(t_c - t_m) \neq 0$ ,  $W_p$  – равновесная влажность древесины,  $t_c$  и  $t_m$  – соответственно температура сухого и мокрого термометра.