

СУШИЛЬНАЯ КАМЕРА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ НА БАЗЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА «ВОЗДУХ-ВОЗДУХ»

к.т.н. Л.С. Богданович, к.т.н. А.С. Клепанда, А.Н. Мурач, Н.Н. Сняговский
(представил д.т.н., проф. И.М. Приходько)

Обосновано и подтверждено снижение эксплуатационных расходов при использовании конденсационной сушильной камеры с теплонасосной установкой.

В конвективной сушильной камере периодического действия с воздушным сушильным агентом затраты энергии на процесс сушки древесины Q могут быть представлены [1] выражением

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_{\text{мат}} + Q_{\text{тр}} + Q_{\text{пот}},$$

где Q_1 - затраты тепла на испарение влаги; Q_2 - потери тепла с уходящим отработавшим агентом сушки; $Q_{\text{мат}}$, $Q_{\text{тр}}$ - затраты тепла на нагрев пиломатериалов, транспортных средств и конструктивных элементов камеры; $Q_{\text{пот}}$ - потери тепла через ограждения камеры.

Значения величин $Q_{\text{тр}}$ и $Q_{\text{пот}}$ существенно зависят от конструктивных особенностей самой камеры и транспортных средств и практически не зависят от используемого теплогенератора. Поэтому для оценки снижения эксплуатационных расходов с помощью теплонасосной установки их можно рассматривать как постоянную составляющую, величину которой следует принять по статистическим данным.

Затраты тепла на испарение влаги пропорциональны количеству испаряемой влаги из древесины и могут быть представлены так

$$Q_1 = m_{\text{вл}} \cdot r,$$

где $m_{\text{вл}} = m_{\text{сух}} (w_{\text{н}} - w_{\text{к}})$ - количество удаляемой влаги из древесины; $m_{\text{сух}}$ - количество сухой древесины после сушки; $w_{\text{н}}$ и $w_{\text{к}}$ - начальная и конечная влажность древесины; r - теплота парообразования воды при температуре процесса сушки.

Потери тепла с удаляемым отработавшим агентом сушки существенно зависят от параметров наружного воздуха, используемого в процессе сушки, так как необходимый расход воздуха определяется его начальным влагосодержанием, которое зимой как правило не выше 1 г/кг сухого воздуха, а летом по крайней мере на порядок выше. В общем виде эти потери можно представить как

$$Q_2 = m_{\text{возд}} \cdot C_{\text{рвозд}} \cdot (t_{\text{кам}} - t_{\text{н.в.}}) = 10^3 \cdot m_{\text{вл}} \cdot C_{\text{рвозд}} \cdot (t_{\text{кам}} - t_{\text{н.в.}}) / (d_{\text{нач}} - d_{\text{кон}}),$$

где $m_{\text{возд}}$ и $C_{p \text{ возд}}$ - расход сушильного агента и его теплоемкость; $t_{\text{кам}}$ и $t_{\text{н.в.}}$ - температуры соответственно в камере и наружного воздуха; $d_{\text{нач}}$ и $d_{\text{кон}}$ - влагосодержание сушильного агента соответственно на входе и выходе сушильной камеры.

Затраты тепла на прогрев древесины до температуры процесса сушки можно учесть в виде суммы тепла на прогрев сухой древесины и подогрев удаляемой влаги до температуры процесса сушки

$$Q_{\text{мат}} = C_{p \text{ дер}} \cdot (t_{\text{кам}} - t_{\text{н.в.}}) \cdot m_{\text{вл}} / (w_{\text{н}} - w_{\text{к}}) + m_{\text{вл}} \cdot C_{p \text{ воды}} \cdot (t_{\text{кам}} - t_{\text{н.в.}}),$$

где $C_{p \text{ дер}}$ и $C_{p \text{ воды}}$ - средние теплоемкости соответственно дерева и воды.

Разделив правые части рассмотренных выше выражений на $m_{\text{вл}}$ и подставив в них значения параметров, получим примерные значения удельных составляющих затрат в процессе сушки. Для климатических условий г. Харькова относительное распределение энергозатрат по составляющим представлено в табл.1.

Таблица 1

Относительное распределение энергозатрат

Наименование составляющих затрат тепла на сушку пиломатериалов	Доля в общих затратах	
	лето	зима
Затраты тепла на испарение влаги	0.66	0.43
Потери тепла с отработавшим агентом сушки	0.12	0.19
Затраты тепла на нагрев пиломатериалов	0.1	0.18
Потери тепла через ограждения камеры	0.12	0.2

Как видно из приведенных данных, основные энергетические затраты в процессе сушки связаны с испарением влаги из пиломатериалов. В связи с этим была поставлена задача разработать энергоэкономичную конденсационную сушку на базе теплового насоса.

Основная задача теплового насоса в сушильной камере - обеспечить за счет затраты некоторой доли энергии перенос тепловых отходов с уходящим отработавшим агентом и теплоты конденсации удаляемых водяных паров на более высокий температурный уровень, определяемый режимом процесса сушки. Это может быть выполнено, если организовать осушение сушильного агента в испарителе теплового насоса с последующим подогревом осушенного агента в конденсаторе. Тогда практически тепловыми отходами процесса сушки останутся лишь потери с отводимым из сушильной камеры конденсатом.

Парокомпрессионный тепловой насос, работающий на фреоне R22, как наиболее дешевом из допущенных к использованию по экологическим соображениям, позволяет поднять температурный уровень утилизированного тепла не выше 54°C. Следовательно, такой установкой без

особых ухищрений могут быть обеспечены лишь мягкие режимы низкотемпературной сушки пиломатериалов.

Научно-производственным предприятием «Инсолар» была разработана и введена в действие камера периодического действия для высококачественной сушки пиломатериалов до эксплуатационной влажности. При этом стремились обеспечить максимально возможное снижение эксплуатационных расходов на энергоносители и возможность осуществления существующих стандартных режимов процесса сушки пиломатериалов.

Была выбрана схема камеры с побудительной циркуляцией сушильного агента (рис.1). Строительные ограждения выбранного для сушки здания обеспечивают коэффициент теплопередачи в зимний период примерно $k=0.5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Загрузка камеры 20 м^3 древесины двумя штабелями. Для обеспечения необходимого воздухообмена в штабеле 3 камера оборудована вентиляционной установкой с осевым вентилятором 4.

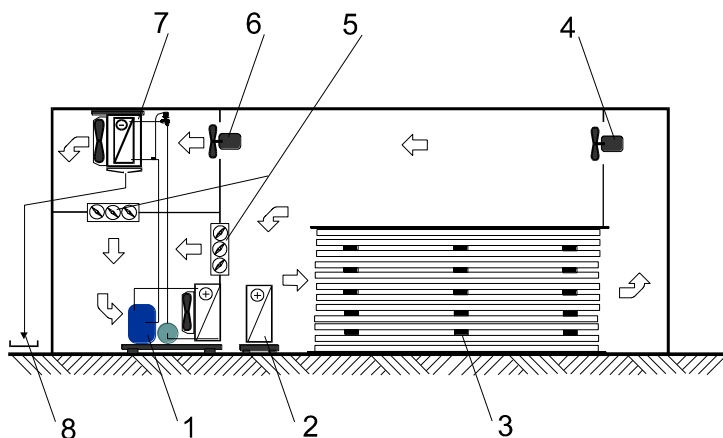


Рис.1. Схема размещения основного оборудования и потоков воздуха в сушильной камере с теплонасосной установкой «воздух-воздух»:

1 - компрессорно-конденсаторный агрегат теплового насоса; 2 - дополнительный воздухоподогреватель; 3 - штабелированные пиломатериалы; 4 - осевой вентилятор; 5 - регулируемые воздушные клапаны; 6 - вентилятор отсека осушки воздуха; 7 - воздухоохладитель-испаритель теплового насоса; 8 - слив конденсата.

В качестве теплового насоса использован компрессорно-конденсаторный агрегат 1 фирмы ТЕКО на базе спирального компрессора и воздухоохладитель 7 фирмы ЕСО. При температуре испарения $12.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и температуре конденсации $42 \text{ }^{\circ}\text{C}$ его холодильная мощность составляет 14 кВт при потребляемой мощности 5.1 кВт . Автоматика тепло-

вого насоса обеспечивает поддержание выбранного режима и защиту фреонового компрессора по максимальному и минимальному давлению фреона.

Для обеспечения выбранных параметров цикла теплового насоса теплоизолированными и влагонепроницаемыми вертикальной и горизонтальной перегородками была выгорожена часть объема сушильной камеры. В образовавшемся верхнем отсеке был размещен фреоновый воздухоохладитель 7 со встроенными вентиляторами, выполняющий роль испарителя теплового насоса. В верхней части вертикальной перегородки установлен вентилятор 6 подачи из общего объема камеры сушильного агента для его осушки в воздухоохладителе, а в горизонтальной перегородке и нижней части вертикальной перегородки установлены регулируемые воздушные клапаны 5 для возврата осушенного агента в камеру и поддержания выбранной температуры конденсации фреона в цикле теплового насоса. Для удаления образовавшегося на поверхности испарителя конденсата за пределы сушильной камеры служит дренажный трубопровод 8. Осушенный в верхнем отсеке воздух через регулируемый воздушный клапан 5 опускается в нижний отсек, где смешивается с воздухом сушильной камеры, а затем подогревается теплом конденсации фреона и поступает на осушку древесины.

Скорость обдува древесины и температура процесса сушки обеспечивается выбором скорости вращения осевого вентилятора 4 и мощностью дополнительного воздухоподогревателя 2, расположенного перед штабелями.

Выводы

1. Работа конденсационной сушильной камеры с теплонасосной установкой подтвердила ожидаемое снижение эксплуатационных расходов в 2.5 раза и возможность проведения стандартных мягких низкотемпературных режимов.

2. Опыт эксплуатации конденсационной сушилки на базе теплового насоса показал, что при существующих ценах на электроэнергию и разнице в ценах влажной и высушенной древесины окупаемость теплонасосного оборудования за счет снижения эксплуатационных расходов составит около двух лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по сушке древесины / Е.С. Богданов, В.А. Козлов, В.Б. Кунтыш, В.И. Мелехов / Под ред. Е.С. Богданова. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 304 с.

Поступила в редколлегию 27.09.2000