

стоимости 1 Гкал в среднем 1100 тыс. руб. годовая экономия составит (127,125 + 5,461) 132,586 млрд. руб.

Следует отметить, что значительная экономия энергопотребления может быть достигнута за счет совершенствования технологических процессов сушки пиломатериалов, конструкций сушильных камер и структуры сушильного хозяйства в целом.

УДК 674.093.2.047:33

В.М.Сацура, доцент;  
Н.Н.Ковалев, с.н.с.

### ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ СУШКЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

The possibilities of fuel saving by improvin window desi'n, better selection of transparent and lockin elements and improvin- window production practice are illustrated.

Одним из наиболее крупных потребителей энергии в деревообрабатывающей промышленности является сушильное хозяйство.

Следует обратить внимание на то, что сушильные хозяйства деревообрабатывающих предприятий оснащены в основном паровыми камерами эжекционного и вентиляционного типов, срок эксплуатации которых насчитывает 20-50 лет. В последние годы происходит процесс обновления сушильного хозяйства предприятий камерами типов СПЛК-2, СМП-2К, УЛ-1, УЛ-2 и импортными НД78К, Sateko, KWD и др.

Наряду с этим многие предприятия, особенно малые, самостоятельно строят сушильные камеры, которые не обеспечивают нужного качества сушки и потребляют электрической энергии до 1000 кВт·ч/м<sup>3</sup> высушиваемых пиломатериалов. Такое строительство объясняется чрезвычайно высокими ценами на типовые камеры, внешней конструктивной простотой сооружения и заманчивыми рекламными данными, не всегда соответствующими действительности.

Рассмотрим энергетические затраты по этапам процесса сушки.

В табл.1 представлены относительные энергетические показатели процесса сушки хвойной древесины в зимний период при следующих исходных параметрах: толщина пиломатериалов - 60 мм, начальная влажность древесины - 75 %, конечная влажность древесины - 6 %, начальная температура древесины - минус 20 °С, удельная площадь ограждений камеры - 4,6 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, режим сушки - мягкий форсированный, длительность процесса сушки - 124 ч (5,16 суток), коэффициент теплопередачи ограждений  $k = 0,75$  Вт/м<sup>2</sup>·град. (силикатный кирпич).

Из табл.1 видно, что наиболее энергоемкими являются процесс сушки по первой ступени (52 % тепловой энергии), процесс предварительного

нагрева и процесс третьей ступени сушки. Кроме того, видно, что на втором этапе конечной тепловлагообработки выделяется тепло, которое необходимо отводить. Из этой же таблицы следует, что расходы энергии на вентилирование (обеспечение движения агента сушки) камеры составляют 13 % от количества энергии, необходимой для обеспечения тепловых потребностей. Детальный анализ табл.1 позволяет определить направление работы по снижению энергоемкости процесса сушки.

На этапе начального нагрева штабеля и камеры все расходы энергии неизбежны, однако потери тепла через ограждения можно снизить примерно в 2 раза за счет реконструкции стен и перекрытий камер (применением современных теплоизоляционных материалов). Этот прием относится ко всем этапам сушки.

На первой ступени сушки снижать расход энергии возможно по четырем направлениям: 1 - за счет усовершенствования конструкции ограждений снизить потери; 2 - за счет использования тепла конденсации (тепло парообразования) и его возвращения в процесс (в современных условиях возможно вернуть в процесс до 70 % теплоты парообразования); 3 - исключить выброс агента сушки в атмосферу за счет применения конденсаторов; 4 - за счет применения современных методов контроля и регулирования режимов сушки и конструкции аэродинамического тракта камер, позволяющего снизить расходы энергии на вентилирование в 2-3 и более раз.

Меры снижения энергоемкости процесса первой ступени сушки относятся и к остальным этапам.

Для использования тепла, отводимого на втором этапе конечной тепловлагообработки, целесообразно применять блокирование камер. Такой прием позволяет полученное от остывания штабеля тепло перевести в камеру, в которой производят этап начального нагрева. Кроме названного эффекта, блокирование камер снижает потери тепла через ограждения (рис.).

Относительные энергетические показатели процесса сушки после проведения вышеназванных мер приведены в табл.2.

При сравнении итоговых данных табл.1 и табл.2 видно, что в настоящее время существует реальная возможность снизить потребление тепла в 2 и более раз, а электроэнергии на вентилирование - более чем в 2 раза.

В целом можно достичь снижения расхода энергии на сушку с 535 до 241 кВт·ч/м<sup>3</sup> пиломатериалов, т.е. снизить в 2,22 раза.

Значительным резервом экономических ресурсов является использование в качестве топлива для сушильного процесса своих древесных отходов. Т.к. теплотворная способность древесных отходов  $Q = 8$  МДж/кг, а топливного мазута  $Q = 40$  МДж/кг, то при сжигании 5 тонн отходов ( $9 \text{ пл.м}^3$ ) экономится 1 тонна мазута.

Для получения 213,84 кВт·ч тепла требуется сжечь 95,85 кг древесного топлива или 19,17 кг топочного мазута.

При замене мазута стоимостью 0,12 \$ США на древесные отходы экономия на каждом кубометре высушиваемых пиломатериалов составит 3,29 \$ США.

Многие технические решения, обеспечивающие достижение показателей табл.2, применяются в сушильных камерах КДК-3000, КДК-4000 фирмы KOTTER DRY KIL Nine (США), фирмы EBAC (Германия), содержащих различные агрегаты (кондиционеры, блоки вентиляторов, блоки управления), фирмы DZUFINN (Финляндия) и др.

Для крупных сушильных хозяйств целесообразно применять различные типы камер, особенно в теплый период года (а это в средней полосе стран СНГ 7 месяцев в году).

Так, из табл.1 и 2 видно, что львиная доля потребления энергии идет на начальный нагрев (19-42 %) и первую ступень сушки (52-36 %). В теплый период года в 1,5 раза снизится расход тепла на начальный нагрев и в 1,12 раза - на первую ступень сушки. Но это в тепловых камерах вентиляционного типа. Если первый этап сушки проводить в центробежных сушильных установках с доведением влажности древесины до 35-30 %, то расход энергии на этапе сократится в 3-4 раза, а длительность этапа снизится до 2-2,5 часа.

После центробежного осушения древесины можно проводить начальный нагрев, на который потребуется в 2 раза меньше энергии и в 2 раза сократится срок нагрева.

Таким образом, применение центробежной осушительной установки может сократить цикл сушки примерно на 50 часов, или в 1,67 раза, а общий расход энергии - в 2 раза.

Кроме названных типов камер, в последние годы находят применение и вакуумные сушильные камеры с циклом сушки 12-24 часа и температурой процесса 40-50 °С.

Значения энергоемкости этапов процесса сушки комбинированным способом приведены в табл.3.

При сравнении данных табл.1-3 видно, что энергоемкость процесса сушки древесины можно в перспективе снизить более чем в 5 раз, причем в ближайшей перспективе без значительных капиталовложений - более чем в 2 раза, что в условиях Беларуси дает возможность экономить до 294 млн. кВт·ч энергии, в том числе 34,4 млн. кВт·ч электрической энергии на сумму более 1,55 млн. \$ США и 260 млн. кВт·ч (примерно 223000 Гкал) тепловой энергии на сумму более 9,8 млн. \$ США.

В дальнейшей перспективе экономия может достигнуть 28 млн. \$ США в год.

Кроме снижения энергетических потерь, может быть достигнуто 4-кратное повышение производительности сушильных хозяйств, что решит проблему дефицита сушильных мощностей.

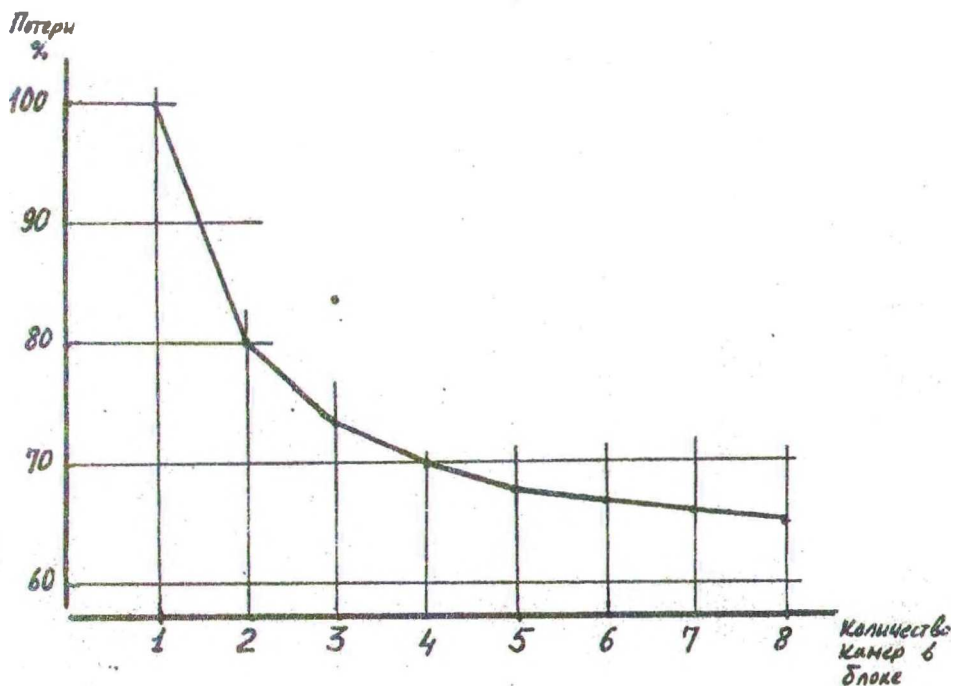


Рис. Влияние блокирования камер на долю тепловых потерь через ограждающие конструкции



Табл. 1. Относительные энергетические показатели процесса сушки хвойной древесины

Этап процесса сушки	Дли- тель- ность этапа, ч	Нагрев шта- беля, %	Тая- ние льда, %	Нагрев кон- струк- ций, %	Нагрев агента сушки, %	Потери через ограж- дение, %	Парооб- разова- ние (суш- ка), %	Всего, %		Венти- ляция, кВт·ч/м <sup>3</sup>	Тепло- заграты, кВт·ч/м <sup>3</sup>
								по этапу	по про- цессу		
1. Начальный нагрев	8	95,94	0,04	0,50	0,11	3,41	-	100	19,36	4	91,76
2. Первая ступень сушки	48	-	-	-0,03	2,19	10,06	87,78	100	52,01	24	246,47
3. Вторая ступень сушки	24	-	-	-0,07	5,43	16,50	78,14	100	10,26	12	48,62
4. Промежуточная теп- ловлагообработка	10	81,34	-	0,59	0,01	17,98	0,02	100	1,15	5	5,45
5. Третья ступень сушки	24	-3,97	-	-0,04	11,56	9,76	82,69	100	16,11	12	76,36
6. Конечная тепло- влагообработка:											
первый этап	5	50,86	-	0,06	16,52	33,10	-	100	1,10	2,5	5,19
второй этап	5	-98,59	-	-1,20	-0,21	-	-	-100	-3,56	2,5	-16,85
Итого	124										
Потреблено		23,85	0,01	0,13	4,04	9,55	62,42	100	100	62	473,85
Выделено		-97,16		-2,43	-0,42			-100	3,56		-16,85

Примечание: значения со знаком "-" соответствуют процессу остывания, который проходит с выделением тепла

Табл. 2. Относительные энергетические показатели процесса сушки хвойной древесины после реконструкции камер

Этап процесса сушки	Дли- тель- ность этапа, ч	Нагрев шта- беля, %	Тая- ние льда, %	Нагрев кон- струк- ций, %	Нагрев агента сушки, %	Потери через ограж- дение, %	Парооб- рзова- ние (суш- ка), %	Всего, %		Венти- ляция, кВт·ч/м <sup>3</sup>	Тепло- заграты, кВт·ч/м <sup>3</sup>
								по этапу	по про- цессу		
1. Начальный нагрев	8	97,60	0,04	0,51	0,12	1,78	-	100	42,18	4	91,20
2. Первая ступень сушки	48	-	-	-0,10	-	15,88	84,12	100	36,07	10	77,14
3. Вторая ступень сушки	24	-	-	-0,22	-	26,36	74,54	100	7,22	4,8	15,42
4. Промежуточная теп- ловлагообработка	10	89,46	-	0,65	-	9,89	-	100	2,32	2,0	4,96
5. Третья ступень сушки	24	-10,62	-	-1,07	-	24,76	86,93	100	10,19	4,8	21,79
6. Конечная тепло- влажобработка:											
первый этап	5	60,30	-	0,07	19,80	19,83	-	100	2,02	1,0	4,33
второй этап	5	-98,59	-	-1,20	-0,21	--	-	-100		1,0	-16,85
Итого потреблено	124	39,79	0,02	0,37	0,451	11,51	45,46	100	100	27,6	213,84

Табл. 3. Относительные энергетические показатели процесса сушки хвойной древесины при комбинировании способов

Этап процесса сушки	Длительность этапа, ч	Нагрев штабеля, %	Таяние льда, %	Нагрев конструкций, %	Нагрев агента сушки, %	Потери через ограждение, %	Парообразование (сушка), %	Всего, %		Вентиляция, кВт·ч/м <sup>3</sup>	Теплозатраты, кВт·ч/м <sup>3</sup>
								по этапу	по про- цессу		
1. Начальный нагрев	4	97,64	0,08	0,51	0,12	1,65	-	100	44,73	2	45,20
2. Первая ступень сушки	2	-	-	-	-	-	100	100	7,58	8	-
3. Прогрев до температуры сушки	2	97,08	-	0,80	0,12	2,00	-	100	21,79	1	22
4. Вторая ступень сушки (вакуумная)	12	-	-	-0,20	-	25,30	74,50	100	20,85	11	11
5. Конечная тепло- влажностная обработка: первый этап	5	60,30	-	0,07	19,80	19,80	-	100	5,05	1,0	4,33
второй этап	5	-98,59	-	-1,20	-0,21	--	-	-100	0,95	1,0	-16,85
Итого потреблено	30	67,87	0,04	7,95	1,08	7,43	15,53	100	100	23,0	82,53