

УДК 674.047 : 631.571

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ИСПАРЕНИЯ ВЛАГИ ПРИ СУШКЕ КОРЫ ЕЛИ ЭЛЕКТРОКАЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Р. В. ЛУЦЫК, В. Л. ЛОМАЗОВ

Институт технической теплофизики АН УССР

На лесопильных, деревообрабатывающих и целлюлозно-бумажных комбинатах страны ежегодно образуется до 10 млн т коры, являющейся отходом производства [1]. Ее сбрасывают в короотвалы, где она гниет, загрязняет территорию предприятий, самовозгорается. Расходы на уничтожение и вывозку коры равны 1,5...2,5 р./т. В то же время кора — ценное энергетическое сырье, но ее теплота сгорания зависит от влагосодержания и составляет свыше 12 тыс. кДж/кг при влагосодержании до 20 % и около 5 тыс. кДж/кг при влагосодержании свыше 160 % [1]. Для получения пара промышленных параметров сырая кора непригодна, ее необходимо сушить [6]. В ИТТФ АН УССР проводятся исследования процесса сушки коры ели с целью получения данных для разработки промышленной технологии сушки [5].

При разработке и внедрении процессов сушки коры приходится решать различные технические задачи, в том числе определять количество теплоты  $Q$ , Дж, необходимой для высушивания влажного материала.

$$Q = Q_{\text{и}} + Q_{\text{н}} + Q_{\text{п}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{и}}$  — теплота испарения влаги, Дж;  
 $Q_{\text{н}}$  — теплота нагрева материала, Дж;  
 $Q_{\text{п}}$  — тепловые потери, Дж.

Значения  $Q_{\text{и}}$  и  $Q_{\text{п}}$  рассчитывают по общепринятой методике [4] с учетом технологических параметров сушки и конструкции сушилки. Главная величина при расчетах процессов сушки — количество теплоты  $Q_{\text{и}}$ , необходимой для испарения определенного количества влаги  $B$ , кг:

$$Q_{\text{и}} = LB. \quad (2)$$

Здесь  $L$  — удельная теплота испарения влаги при данной температуре, Дж/кг (определяют ее по справочникам).

Если в материале, подвергаемом сушке, содержится только свободная влага, то при использовании справочных значений  $L$  ошибки не возникает. Однако при расчетах процессов сушки таких сложных объектов, как капиллярно-пористые коллоидные тела, содержащие кроме свободной, влагу разных видов связи (качественная и количественная характеристика коры ели определена авторами), необходимо учитывать возрастание удельной теплоты испарения влаги, обусловленное ростом внутренней энергии связи гигроскопической влаги с твердым скелетом тела.

В ходе сушки удельная теплота испарения влаги из материала непрерывно увеличивается, поскольку с течением времени удаляется влага, более прочно связанная с твердым скелетом тела. Это одна из главных причин замедления процесса сушки с течением времени, что хорошо видно по кривым сушки и скорости сушки (рис. 1).

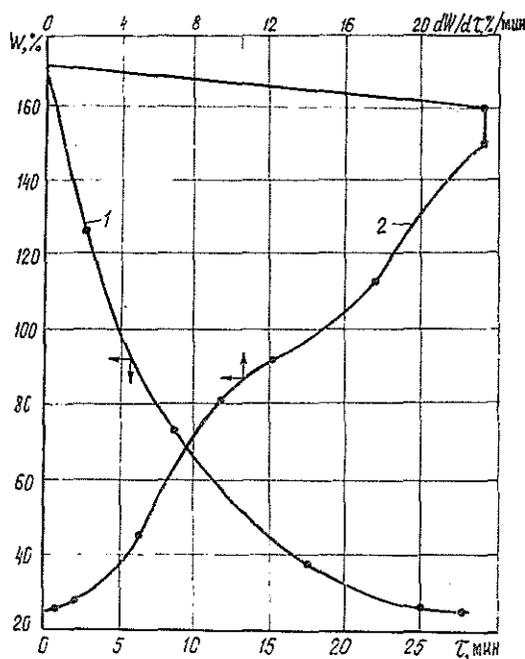


Рис. 1. Кривые сушки (1) и скорости сушки (2) коры ели

Авторы поставили перед собой задачу определить истинную удельную теплоту испарения влаги из коры ели и ее составляющих (корки и луба) с тем, чтобы оценить расхождения, появляющиеся в расчетах процессов сушки при использовании истинного и справочного значений удельной теплоты испарения влаги.

Исследования проводили методом энергограмм сушки, относящимся к группе электрокалориметрических методов, на установке, описанной в работе [3], при температуре среды 100 °С. Сущность метода заключается в том, что сушка образца происходит в изотермических условиях: температура поверхности образца поддерживается постоянной с помощью внутреннего источника теплоты и равной температуре среды. При такой сушке образец не нагревается, и вся теплота  $Q_{\text{ист}}$ , выделяемая внутренним источником теплоты за время  $d\tau$ , расходуется только на испарение влаги, которое характеризуется уменьшением влагосодержания на величину  $dW$ :

$$Q_{\text{ист}} = L \frac{dW}{d\tau} \quad (3)$$

или

$$I^2 R = L \frac{dW}{d\tau}, \quad (4)$$

где  $I$  — ток внутреннего источника, А;  
 $R$  — сопротивление внутреннего источника, Ом.

В ходе опыта снимали две кинетические кривые: изменение влагосодержания (кривая сушки)  $W = f(\tau)$  и изменение тока (энергограмма)  $I = f(\tau)$ .

По двум кинетическим кривым построена зависимость  $L = f(W)$  (рис. 2), наглядно показывающая возрастание удельной теплоты испарения влаги в ходе сушки. Горизонтальным пунктиром отмечено значение удельной теплоты испарения свободной влаги  $\bar{L}$  для температуры 100 °С:  $L_0 = 2,26 \cdot 10^6$  Дж/кг [2]. Вертикальными пунктирами отмечены границы испарения влаги разных форм связи с образцами:  $\Gamma$  — начало

Материал	Влагосодержание, кг/кг					Средняя удельная влаги,	
	Полная влагоемкость $W_1$	макропор $W_{\text{мак}}$	микропор $W_{\text{мик}}$	поли-слоя $W_{\text{ад. п}}$	монослоя $W_{\text{ад. м}}$	макропор	микропор
						$L_{\text{мак}}$	$L_{\text{мик}}$
Кора	2,11	1,58	0,37	0,16	0,046	2,41	2,71
Корка	2,25	1,71	0,42	0,13	0,044	2,36	2,61
Луб	2,15	1,52	0,47	0,16	0,042	2,46	3,21

испарения влаги гигроскопического состояния;  $A$  — начало испарения адсорбционной влаги.

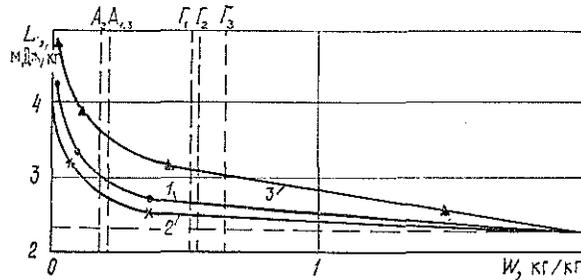


Рис. 2. Зависимость удельной теплоты испарения влаги от влагосодержания: 1 — кора; 2 — корка; 3 — луб

Как видно из рис. 2, при изменении влагосодержания от начального значения до вертикали  $\Gamma$ , т. е. при испарении влаги из макропор, удельная теплота испарения влаги  $L$  мало отличается от  $L_0$ . При удалении влаги гигроскопического состояния удельная теплота испарения влаги начинает возрастать, особенно значительно — при удалении адсорбированной влаги. В результате термографических исследований, проведенных авторами ранее, были определены количества влаги разных форм и видов связи, содержащейся в коре ели и ее составляющих и вычислены также значения удельных теплот испарения, соответствующих этим видам влаги (см. таблицу)

$$Q_{\text{и}} = \Sigma L_i W_i = \int_{W_{\text{ад. п}}}^{W_1} L_i W_i, \quad (5)$$

где  $L_i$  — удельная теплота испарения влаги соответствующего вида (макропор, микропор, адсорбированной влаги), МДж/кг;  
 $W_1$  — полная влагоемкость, %;  
 $W_{\text{ад. п}}$  — влагосодержание адсорбированного полислоя, %.

Графически значение  $Q_{\text{и}}$  представлено площадью фигуры, ограниченной на рис. 2 кривой  $L = f(W)$ , осью влагосодержания и значениями влагосодержания  $W$ : начальным, равным полной влагоемкости  $W_1$ , и конечным, равным 12 %, что соответствует влаге адсорбированного полислоя. Для удобства графического интегрирования выражение (5) можно представить в виде

$$Q_{\text{и}} = Q_{\text{мак}} + Q_{\text{мик}} + Q_{\text{ад. п}} = L_{\text{мак}} W_{\text{мак}} + L_{\text{мик}} W_{\text{мик}} + L_{\text{ад. п}} W_{\text{ад. п}}. \quad (6)$$

Здесь  $Q_{\text{мак}}$ ,  $Q_{\text{мик}}$ ,  $Q_{\text{ад. п}}$  — значения теплоты испарения влаги соответственно макропор, микропор, адсорбированного полислоя, МДж;

теплота испарения МДж/кг		Истинная теплота испа- рения $Q_{и}$ МДж/кг	Теплота испа- рения свобод- ной влаги $Q_{и.с.}$ МДж/кг	Абсолютная ошибка $A$ , МДж/кг	Относитель- ная ошиб- ка, $K$ , %
полислоя $L_{ад.п}$	монослоя $L_{ад.м}$				
3,06	4,26	5,03	4,49	0,54	10,7
3,16	4,06	5,06	4,81	0,25	4,9
3,96	4,96	5,40	4,56	0,84	15,6

$W_{мак}$ ,  $W_{мик}$ ,  $W_{ад.п}$  — количества влаги соответственно макропор, микропор, адсорбированного полислоя (расчет проводили до влагосодержания 12 %).

В таблице представлены рассчитанные по уравнению (6) значения теплоты испарения влаги  $Q_{и}$ , для сравнения даны значения  $Q_{и.с.}$ , рассчитанные по формуле (2). Приведены также абсолютная  $A$  и относительная  $K$  ошибки, возникающие при расчетах  $Q_{и}$  без учета возрастания истинных значений удельных теплот испарения влаги.

В результате исследований, проведенных с применением электрокалориметрического метода, определены истинные значения удельной теплоты испарения влаги при сушке коры ели и ее составляющих. Установлено, что при расчетах количества теплоты  $Q_{и}$  по обычной методике возникает относительная ошибка  $K$  порядка 4,9...15,6 %, что связано с возрастанием удельной теплоты испарения связанной влаги.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Веретенник Д. Г. Использование древесной коры в народном хозяйстве.— М.: Лесн. пром-сть, 1976.— 120 с. [2]. Вукалович М. П. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара.— М.: Энергия, 1967.— 211 с. [3]. Казанский М. Ф., Луцык Р. В., Казанский В. М. Определение удельных теплот испарения жидкости из дисперсных тел в широком диапазоне температур // Инж.-физ. журн.— 1966.— Т. 11, № 5.— С. 587—594. [4]. Касаткина А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии.— М.: Химия, 1971.— 784 с. [5]. Ломазов В. Л., Громов В. Г., Миллер В. М. Исследования процесса сушки коры ели // Промышленная теплотехника.— 1985.— Т. 7. [6]. Сабуров Э. Н., Карпов С. В., Егоров А. И. Устройство для подсушки и сжигания отходов // Лесн. пром-сть.— 1981.— № 6.— С. 24—25.

Поступила 7 января 1986 г.

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.11.082.1 : 631.811.98

ИЗУЧЕНИЕ  
РОСТРЕГУЛИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ ГРУПП  
ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ЧЕРНОГО ЩЕЛОКА  
ОТ СУЛЬФАТНОЙ ВАРКИ ЛИСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫЛ. Г. ПОПОВА, А. А. ЮРИНОВА, И. В. ПОЛЯНСКАЯ,  
Т. И. ПРОХОРЧУК, А. И. КИПРИАНОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Эксперименты по выращиванию лесопосадочного материала хвойных пород в теплицах и питомниках открытого грунта Ленинградской обл. с применением предпосевной обработки семян препаратами на основе отработанных щелоков сульфат-целлюлозного производства показали, что разбавленные растворы полуупаренных черных щелоков стимулируют рост сеянцев сосны и ели [3, 4]. В связи с тем, что органические вещества черных щелоков представляют собой смесь соединений различных классов, следовало выявить из их числа группы и компоненты, ответственные за рострегулирующие свойства, с целью получения на основе щелоков высокоэффективных стимуляторов роста.

В лабораторных условиях изучали рострегулирующую активность полуупаренных черных щелоков, отобранных 28.01.85 г. и 18.03.85 г. с листового и хвойного потоков Котласского ЦБК соответственно, а также основных групп органических соединений, выделенных из первого щелока. Исследования проведены с помощью биологического теста на проращивание семян сосны и ели, обработанных растворами препаратов в фазу набухания. Лиственный щелок плотностью 1 179 кг/м<sup>3</sup> содержал 30,7 % сухих веществ, из них 15,3 % органических; хвойный щелок плотностью 1 174 кг/м<sup>3</sup> содержал соответственно 29,9 и 18,5 %.

Органические вещества щелока разделили по известной схеме [1] на нелетучие эфирно- и водорастворимые вещества и лигнин. Первая группа включает фенольные соединения (фенолы, альдегидо- и кетофенолы, фенолкарбоновые кислоты, фенолоспирты, олигомеры и другие ароматические соединения), высшие жирные и смоляные кислоты, нейтральные вещества. Эту группу разделили путем последовательной обработки эфирного экстракта бикарбонатом натрия, 5 %-ным раствором едкого калия и выделением из щелочного раствора веществ, осаждаемых хлористым барием [5].

В результате получены эфирно- и бутанолорастворимые фенолосодержащие фракции бикарбонатной и щелочной вытяжек, эфирно- и бутанолорастворимые фракции высших жирных и смоляных кислот и нейтральные вещества. Нелетучие водорастворимые вещества, содержащие оксикислоты и их лактоны с примесью нейтральных соединений углеводного происхождения, разделили на две фракции на основании различий их кислотности: оксикислоты, выделенные при pH 4 (ОК-4), и оксикислоты, выделенные при pH 1 (ОК-1).

Массовая доля указанных групп органических соединений щелока приведена в табл. 1, 2.

Кроме того, из подкисленного щелока после удаления эфирорастворимых веществ и лигнина выделена фракция водорастворимых веществ в смеси с неорганическими солями, условно названная «фильтратом» черного щелока.

Испытание полученных фракций эфирно- и водорастворимых соединений на рострегулирующую активность проведено путем проращивания семян сосны и ели, обработанных растворами фракций в фазу набухания. Концентрацию их варьировали от 10<sup>-2</sup> до 10<sup>-6</sup> % (в пересчете на содержание органических веществ). Семена ели европейской (*Picea excelsa* L.) и сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) замачивали в растворе препарата в течение 24 ч, затем промывали проточной водой, заливали на 40 мин 10 %-ным раствором перекиси водорода для обеззараживания покровов, после чего тщательно промывали проточной водой. Семена для контрольных опытов замачивали на сутки в воде, затем промывали и обрабатывали перекисью водорода, как описано выше. Опытные и контрольные семена помещали по 70 шт. (каждый ва-