

664.951.002.5:664.951.3

ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ КОПТИЛЬНОГО ДЫМА ПСИХРОМЕТРОМ

Д.Х.Бунин

В настоящее время известно около сорока методов измерения влажности газообразных сред. Один из самых распространенных - психрометрический. Измерительный прибор, требующийся при этом методе, сравнительно прост по конструкции: состоит из двух одинаковых термометров, чувствительная часть одного из которых погружена в пористое тело, смачиваемое водой. Интенсивность испарения воды из пористого тела, сопровождаемое отбором тепла, служит мерой влажности. Относительную влажность определяют по разности "сухого" и "мокрого" термометров при помощи психрометрических таблиц, составленных для чистого атмосферного воздуха.

Относительную влажность копильного дыма чаще всего измеряют при помощи психрометров различных конструкций. Возникает вопрос: можно ли, определяя этим методом влажность дыма, т.е. среды, отличной по своим теплофизическим свойствам от чистого атмосферного воздуха, пользоваться имеющимися таблицами. Известно, что в копильном дыме содержится более двухсот компонентов, находящихся во всех трех агрегатных состояниях (парообразном, капельно-жидком и твердом). Вполне естественно предположить, что интенсивность испарения воды из пористого тела в такую среду при прочих равных условиях будет другой, а результаты измерений будут содержать систематическую ошибку. Можно также предположить, что величина ошибки будет зависеть от "густоты" или концентрации дыма, т.е. от количества веществ в единице объема дымовоздушной смеси. Для выяснения этих вопросов были поставлены эксперименты, описанные ниже.

Влага дымовоздушной смеси состоит из влаги воздуха, поступающего в очаг образования дыма, и влаги, выделяющейся из топлива. Количество влаги, содержащейся в окружающем воздухе, можно определить известными методами, в частности, психрометрическим.

Рассмотрим возможность определения количества влаги, выделяющейся в очаге дымообразования при тлении (пиролизе) опилок древесины. Продукты пиролиза древесины содержат влагу, состоящую из влаги гигроскопической, т.е. несвязанной, и влаги "реакционной", т.е. возникающей в результате химических реакций пиролиза. Гигроскопическую влагу можно удалить высушиванием опилок до постоянного веса и при дальнейших расчетах не учитывать, реакционную - можно рассчитать, принимая во внимание следующие соображения.

Коптильный дым получается в результате горения опилок при ограниченном доступе кислорода воздуха, т.е. неполного сгорания. Так как в литературе нет данных о материальном балансе такого процесса с учетом всех интересующих нас факторов (исходная влажность древесины, влажность воздуха, подаваемого в очаг дымообразования и др.), воспользуемся данными исследований сухой перегонки древесины, сходной с неполным сгоранием. Сухую перегонку древесины осуществляют без доступа воздуха в ретортах равных конструкции.

Немецкий исследователь Классон [1] производил в лабораторных условиях сухую перегонку различных пород древесины: сосны, ели, березы и бука с исходной влажностью 7-9%. Выход основных продуктов (в % к общему весу) приведен в табл.1.

Таблица 1

| Продукты | Сосна | Ель | Береза | Бук |
|-----------------|-------|-------|--------|-------|
| Уголь | 37,83 | 37,81 | 31,80 | 34,97 |
| Газы CO_2 | 10,13 | 10,30 | 9,96 | 10,90 |
| C_2H_4 | 0,23 | 0,20 | 0,19 | 0,20 |
| CO | 3,74 | 3,76 | 3,32 | 4,22 |
| Метиловый спирт | 0,88 | 0,96 | 1,60 | 2,07 |
| Ацетон | 0,78 | 0,20 | 0,19 | 0,20 |
| Метилацетон | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |

продолжение табл.1

| Продукты | Сосна | Ель | Береза | Бук |
|------------------|-------|-------|--------|-------|
| Уксусная кислота | 3,50 | 3,19 | 7,08 | 6,04 |
| Смола | | | | |
| растворимая | 8,03 | 7,75 | 8,15 | 5,89 |
| нерастворимая | 11,79 | 8,08 | 7,93 | 8,11 |
| Вода | 22,97 | 25,70 | 27,81 | 26,58 |
| И т о г о | 100 | 100 | 100 | 100 |

Институтом "Гипролесхим" при расчете материального баланса сухоперегонного производства применяется следующий выход продуктов (для березы с исходной влажностью 15%) [2]:

| Продукты | Выход, % |
|---------------------------------|----------|
| Уголь | 23,0 |
| Кислоты органические | 6,2 |
| Спиртопродукты | 2,7 |
| Смолы | 8,65 |
| отстойная | 5,35 |
| растворимая | 3,30 |
| Вода | |
| гигроскопическая | 15,0 |
| реакционная | 18,7 |
| Газы неконденсируемые | 17,0 |
| Зола | 2,8 |
| И т о г о | 100 |

По данным испанского исследователя Рамона [3], при сухой перегонке дуба с исходной влажностью 26% получен следующий выход продуктов:

| Продукты | Выход, % |
|---------------------------------|----------|
| Уголь | 27,50 |
| Уксусная кислота | 4,03 |
| Метиловый спирт | 1,29 |
| Ацетон | 0,99 |
| Смола (суммарно) | 6,50 |
| Газы неконденсируемые | 17,05 |
| Вода (суммарно) | 42,64 |
| И т о г о | 100 |

В табл.2 приведен элементарный состав неконденсируемого газа (по данным В.И.Козлова [4 /).

Таблица 2

| Компоненты | В % от веса березы 15%-ной влажности | В % от общего веса |
|-----------------|---|-----------------------|
| CO ₂ | 8,65 | 50,8 |
| CO | 6,00 | 35,2 |
| CH ₄ | 1,70 | 10,1 |
| O ₂ | 0,12 | 0,7 |
| H ₂ | 0,03 | 0,2 |
| 2 | 0,5 | 3,0 |
| И т о г о | 17,0 | 100,0 |

Подавляющее большинство рыбокопильных предприятий Советского Союза получают дым сжиганием смеси опилок древесины разных пород, являющихся отходом деревообрабатывающих производств. Поэтому для подсчета реакционной влаги, образующейся при дымообразовании, исходим из следующих соображений.

1. Среднее значение реакционной влаги при сухой перегонке различных пород древесины (по литературным данным) составляет 17,63% (~ 18%).

2. Как видно из табл.2, неконденсируемые газы, соединяясь с воздухом и вступая с ним в реакцию, заметно не увеличат содержание влаги в дыме.

Таким образом, влагу, содержащуюся в дымовоздушной смеси, можно определить так:

- 1) измерить количество и влагосодержание воздуха, подаваемого в очаг дымообразования;
- 2) подсчитать количество реакционной влаги, выделившейся из сухих опилок.

Сравнивая расчетные и опытные данные по влажности дыма можно сделать поправки к существующим психрометрическим таблицам или составить специальные таблицы для определения влажности дыма.

Эксперимент проводился в следующей последовательности.

1. Смесь опилок различных пород высушивали в сушильном шкафу до постоянного веса.
2. Порцию опилок весом 30 г сжигали за 3 мин. в экспериментальной сушильно-копильной установке при постоянной температуре пода ($\sim 550^{\circ}\text{C}$).
3. Скорость и объем воздуха, подаваемого в очаг дымообразования, измеряли при помощи анемометра и регулировали заслонкой.
4. Объем подаваемого воздуха изменялся в широком диапазоне.
5. Относительную влажность воздуха измеряли перед каждым замером влажности дыма в камере аспирационным психрометром (большая модель).
6. Влажность дыма в копильной камере измеряли сразу после измерения влажности окружающей среды этим же психрометром.
7. После каждого замера батистовый чулок, надетый на "мокрый" термометр, заменяли.

Кроме этого, изучали изменение показаний аспирационного психрометра в зависимости от степени "засмоления" чехла в неизменных условиях с целью установления максимально возможного числа измерений с одним чулком.

Одновременно определяли зависимость количества взвешенных твердых и капельно-жидких частиц дыма от количества воздуха, подаваемого в очаг дымообразования.

Определенное (по ротаметру) количество дыма просасывалось вакуум-насосом через сдвоенный высокоэффективный аэрозольный фильтр АФ-В-18. Фильтры взвешивали на аналитических весах с точностью до четвертого знака после запятой до и после употребления. Измерения и расчеты проводили по методике, описанной Н.А. Воскресенским, Б.Ф. Садовским и Е.А. Хваном / 5 /.

Скорость прохождения дымовоздушной смеси через контролируемое сечение (150x150 мм) установки в экспериментах была: 1; 1,7; 2,3; 2,6; 3,3; и 5,0 м/сек. Соответственно объемы дымовоздушной смеси составляли: 4,15; 6,85; 8,55; 10,45; 18,53 и 20,2 м³ за 3 мин. (время сгорания порции опилок).

Чтобы обеспечить точность, при одной и той же скорости дымовоздушной смеси проводили по 30 измерений.

Математическая обработка результатов измерений производилась с доверительной вероятностью 0,95. Отклонение всех измерений от своих среднеарифметических в большинстве случаев не превышало 2%.

Значения влажности в окружающем воздухе и дыма в камере находили по показаниям "сухого" и "мокрого" термометров, психрометрическим таблицам / 6 /, по формуле упругости водяного пара и по формуле перехода от упругости водяного пара к абсолютной влажности a . Упругость e водяного пара:

$$e = E' - Ap(t - t') \quad [\text{мм рт. ст.}],$$

где E' - упругость водяного пара, насыщающего воздух при температуре мокрого термометра, мм рт.ст.

P - давление воздуха, мм рт. ст.;

A - психрометрический коэффициент (для аспирационного психрометра $A = 0,000662 \frac{1}{\text{град}}$);

и t, t' - температура "сухого" и "мокрого" термометров.

Формула перехода к абсолютной влажности :

$$a = 289 \frac{e}{T}, \quad / \text{ г/м}^3 /,$$

где T - абсолютная температура анализируемого газа.

Абсолютная истинная влажность в дымовоздушной среде была рассчитана следующим образом:

- 1) определялось количество влаги, содержащейся в проходящем за 3 мин. через установку воздухе;
- 2) подсчитывалась реакционная влага порции опилок;
- 3) сумма влажностей опилок и воздуха делилась на просасываемый объем дымовоздушной среды.

Результаты замеров и расчетов сведены в табл.3.

Таблица 3

| Влажность | Объем дымовоздушной смеси, м ³ | | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 4,15 | 6,85 | 8,55 | 10,45 | 12,53 | 10,20 |
| Абсолютная, г/м ³ | | | | | | |
| замеренная | 15,27 | 12,10 | 12,27 | 10,53 | 9,08 | 11,36 |
| расчетная | 10,01 | 10,06 | 11,83 | 10,05 | 8,66 | 10,25 |
| Разность между расчетной и за- меренной | 5,26 | 2,14 | 0,44 | 0,48 | 0,42 | 0,89 |

Весовую концентрацию C рассчитывали по формуле:

$$C = \frac{M \cdot 1000}{Q \cdot \tau} \quad [\text{ мг/м}^3],$$

- где M - привес на фильтрах, мг;
 Q - расход дыма по ротаметру, л/мин.;
 τ - время работы вакуум-насоса, мин.

Результаты измерений весовой концентрации дыма при различных скоростях дымовоздушной смеси сведены в табл.4.

Таблица 4

| Объем дымовоздушной смеси, м ³ | Весовая концентрация, мг/м ³ | Объем дымовоздушной смеси, м ³ | Весовая концентрация, мг/м ³ |
|---|---|---|---|
| 4,15 | 5038 | 10,45 | 1482 |
| 6,85 | 2682 | 12,53 | 1200 |
| 8,55 | 2007 | 20,2 | 550 |

По данным таблицы построены кривые, приведенные на рис.1.

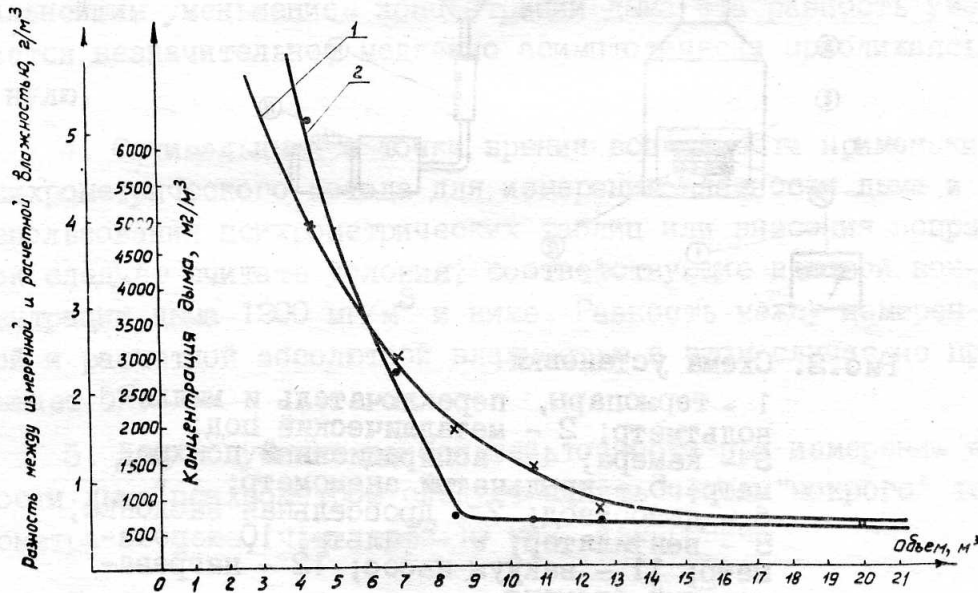


Рис.1. Весовая концентрация (1) и разность между значениями измеренной и расчетной влажности дыма (2) в зависимости от объема просасываемого воздуха.

Экспериментальная сушильно-копильная установка (рис.2) состоит из камеры (3) небольшого объема (около 0,1 м³), дымоотвода (6) прямоугольного сечения (150x150 мм), дроссельной заслонки (7), центробежного вентилятора № 1 (8) и вакуум-насоса (11).

В основании камеры установлен металлический под (2), подогреваемый снизу электроспиралью (12). Контроль температуры пода осуществляется с помощью термопар (1), располо-

женных в центре и по периферии пода, и регулируется с помощью лабораторного автотрансформатора.

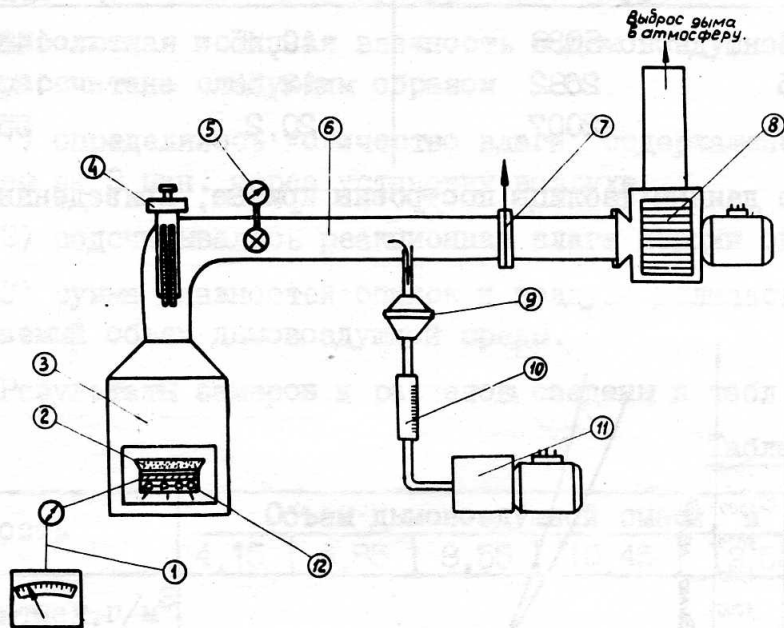


Рис.2. Схема установки:

1 - термопары, переключатель и милли-
вольтметр; 2 - металлический под;
3 - камера; 4 - аспирационный психро-
метр; 5 - крыльчатый анемометр;
6 - дымоотвод; 7 - дроссельная заслонка;
8 - вентилятор; 9 - фильтр; 10 - рота-
метр; 11 - вакуум-насос; 12 - нагрева-
тельный элемент.

Скорость движения дымовоздушной среды (тем самым и расход) регулируется с помощью дроссельной заслонки и измеряется крыльчатым анемометром (5).

Датчик аспирационного психрометра (4) погружается в камеру через отверстие в дымоходе.

Вакуум-насосом через фильтры (9) просасывается порция дымовоздушной смеси. Количество смеси определяется ротаметром (10), установленным за фильтрами.

Выводы

1. Разность между значениями истинной (расчетной) влажностью и измеренной психрометрическим методом находится в закономерной прямой зависимости от весовой концентрации дыма.

2. Чем больше концентрация дыма, тем больше разность между расчетной и измеренной (психрометром) влажностью.

3. В пределах концентрации дыма от 5000 до 1500 мг/м³ разность между расчетной и измеренной абсолютной влажностью дыма убывает (от 5 до 0,5 г/м³), в то время как с дальнейшим уменьшением концентрации дыма эта разность уменьшается незначительно, медленно асимптотически приближаясь к нулю.

4. Оптимальными с точки зрения возможности применения психрометрического метода для измерения влажности дыма и использования психрометрических таблиц или внесения поправок следует считать условия, соответствующие весовой концентрации дыма 1200 мг/м³ и ниже. Разность между измеренной и расчетной абсолютной влажностью в этом случае не превышает 5%.

5. Для получения наибольшей точности при измерении влажности дыма психрометром следует менять чехол "мокрого" термометра не реже, чем через 10 мин. измерений.

Литература

1. Ногин К.И. Сухая перегонка древесины. Гостехиздат, 1936.
2. Унификация технологических расчетов лесохимических производств. Гипролесхим, 1966.
3. Деревягин А.А. Расчеты в лесохимии. Гослестехиздат, 1936.
4. Козлов В.И. Пиролиз древесины. Изд. АН СССР, 1952.
5. Хван Е.А., Садовский Б.С., Воскресенский Н.А. Некоторые коллоидно-химические свойства копильного дыма. "Рыбное хозяйство", 1968, №7.
6. Психрометрические таблицы. Гидрометиздат, 1968.

**Measurement of moisture content in the curing
smoke by a psychrometer**

D.H.Boonin

S u m m a r y

Errors of the psychrometer have been determined while measuring the moisture content in the curing smoke, and when using psychrometric tables for the atmospheric air. The error magnitudes are presented depending on the density of the curing smoke.

**Mesurage de l'humidité de la fumée du fumage
avec psychromètre**

D.H.Bounine

R é s u m é

L'article définit des erreurs du psychromètre au mesurage de l'humidité de la fumée du fumage et à l'utilisation des tables psychrométriques composées pour l'air de l'atmosphère. Il contient aussi les valeurs de ces erreurs en fonction de la densité de la fumée du fumage.