

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО /КОПТИЛЬНОГО/ ДЫМА

КУРКО В.И. , КОЛОНИСТОВА И.В. , МАКАРОВА Н.А.

Всесоюзный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии, Москва, СССР

Получение древесного дыма высокого качества одинаково важно как для традиционного копчения, так и для изготовления из конденсатов дыма коптильных препаратов.

Отдельными исследованиями установлены зависимости между условиями образования дыма и его химическим составом /преимущественно - кислот, фенолов и карбонильных соединений, полициклических ароматических углеводородов/, однако многие параметры дымообразования, в том числе необходимые при конструировании дымогенераторов, остаются малоизученными.

С помощью устройства, описанного в данной работе, представляется возможным проводить исследование факторов дымообразования таких, как влияние скорости перемещения опилок, их размеров и содержание в них влаги на количество образующихся смолистых веществ и других нежелательных компонентов в составе технологического дыма, получить термографическую запись процесса дымообразования.

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ДЫМА

Устройство (рис.1) состоит из собственно дымогенератора, корпус /5/ которого цилиндрической формы с креплением /6/ плотно поставлен на поверхность нагревательного элемента /3/ (типа электрической плиты), поддерживаемой подставкой /2/. Корпус дымогенератора имеет крышку /7/, в которой находятся два отверстия: одно - для бункера /8/, куда помещают опилки, второе - для оси мешалки /9/, проходящей через тефлоновый сальник /10/ и имеющей снизу гребенку /11/ для ворошения и перемещения опилок в процессе дымообразования.

Контроль и измерение температурных условий дымообразования осуществляют с помощью термодпары /12/, впаи которой выведен на поверхность нагревательного элемента. Термодпары /12 и 13/ предназначены для измерения температуры дыма, выходящего из дымогенератора. Трубка из силиконовой резины, через которую пропущены наконечники термодпар, надежно с необходимой степенью герметизации удерживает термодпары и соединяет через выходной штуцер корпус дымогенератора с холодильником /16/, имеющим приемную колбу /18/ для конденсата дыма, и с серией ловушек /21, 22, 23/.

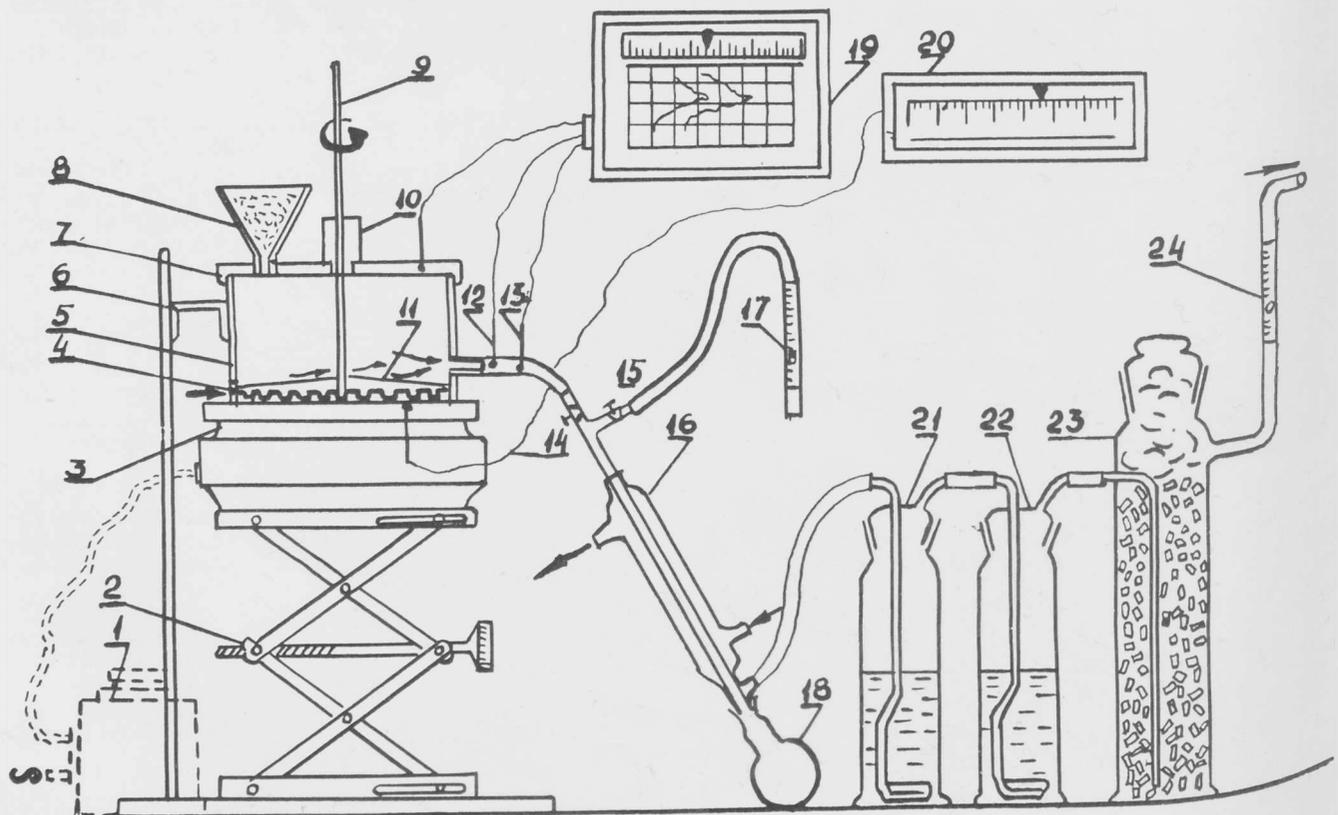


Рис. 1. Лабораторное устройство для моделирования процесса образования коптильного дыма (пояснения в тексте).

Изменения температуры дыма на выходе из дымогенератора сразу же после штуцера (термопара I2) и в резиновой трубке (термопара I3) регистрируются автоматическим потенциометром / I9 /, а за изменениями температуры на поверхности нагревательного элемента наблюдают по показаниям лагометра / 20 /. Перед холодильником / I6 / помещен тройник с двумя кранами, один / I5 / из которых предназначен для соединения с ротаметром / I7 /, другой может перекрывать систему на участке штуцер-холодильник. В этом случае ротаметр / I7 / показывает скорость просасывания воздуха через дымогенератор над зоной горения опилок в дымогенераторе (через несколько небольших отверстий /4/ в нижней части его корпуса) и отвода образующегося дыма. Сопоставляя показания ротаметров / I7 / и / 24 / контролируют герметичность соединений всей системы. Ловушки / 2I и 22 /, представляющие собой газопромывные склянки, заполненные водой, предназначены для сорбции компонентов дыма, не задержанных холодильником. Ловушка / 23 /, заполненная активированным углем, предохраняет вакуум-насос от возможности попадания коррозирующих веществ.

ПОРЯДОК РАБОТЫ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ И ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ КОПТИЛЬНОГО ДЫМА

Моделировать процесс образования коптительного дыма можно варьируя размер опилок, содержание в них влаги, вид древесины; температуру дымообразования (устанавливая необходимый температурный режим поверхности нагреваемого элемента / 3 / с помощью лабораторного автотрансформатора / I /; скорость поступления свежего воздуха и отвода образующегося дыма (направление которого на рис. I показано стрелками) регулируется краном, помещенным на участке ротаметр-вакуум насос; скорость перемещения (или ворошения) опилок на поверхности нагревательного элемента лопастями мешалки. Устанавливают необходимую температуру дымообразования, например 400°C, контролируя постоянство заданного предела температуры в начале каждого эксперимента с помощью термопары / I4 / и лагометра / 20 /. Опилки, строго градуированные по размеру и содержанию влаги, помещают в бункер / 8 /. Устанавливают определенную скорость потока воздуха в системе (0,5-I л/мин). Пускают в ход мешалку / 9 /, вороша опилки в бункере тонким металлическим стерженьком, собирают их на под дымогенератора.

В процессе дымообразования регистрируют временные изменения температуры пода, а также температуры (на выходе из дымогенератора) дыма с помощью самописца-потенциометра / I9 /. По окончании процесса термического разложения органической массы древесины, сопровождающегося образованием дыма, приступают к анализу (в соответствии с задачами предпринятого эксперимента) содержимого ловушек 2I, 22, либо смолистых веществ, отлагающихся на различных участках устройства. Содержимое ловушек 2I и 22 меняют в зависимости от характера предпринятого анализа. Например, для сбора, выделения в чистом виде и последующего хроматографического анализа состава фенольной фракции коптительного дыма целесообразно заполнять указанные ловушки 5%-ным раствором щелочи. При сравнительном определении количеств смолистых веществ, отлагающихся в соединительной трубке на участке дымогенератор-холодильник (первый участок) на стенках холодильника и приемной колбе (второй участок), на стенках склянки / 2I / и фильтре из пористого стекла (третий участок) было установлено, что в данном устройстве при скорости подаваемого воздуха 0,5 - I,0 л/мин подавляющая часть смолистых веществ оседает на первом участке, тогда как на втором и третьем участках количество смолы составляет 25 и 20% от общего количества ее.

Ацетоновые смывки со всех трех участков, на которых осаждались смолистые вещества, фильтровали, ацетон отгоняли, остаток доводили до постоянного веса в сушильном шкафу. Для определения количества образующихся смол в зависимости от различных факторов (температурный режим образования дыма, размер опилок, вид древесины, содержание влаги и т.п.) были построены соответствующие калибровочные кривые: оптическая плотность ацетоновых растворов смолистых веществ, получаемых указанным выше способом, - концентрация этих соединений в растворе определенного разведения.

Данные, полученные при первых сериях экспериментов по моделированию процесса образования коптительного дыма, позволили сделать ряд заслуживающих внимания выводов.

Замер и фиксация температуры пода дымогенератора и зоны горения, а также температуры дыма на выходе из дымогенератора и в трубке на расстоянии 10 мм от первой термопары позволили получить кривые (рис.2 и 3), характеризующие особенности изучаемых вариантов образования дыма.

Так кривые I, 2, 3 (рис.2), регистрирующие изменения температуры пода, имеют различную форму, зависящую от состояния древесины, используемой для получения дыма, а также от того, перемещается ли слой опилок в процессе термолиза или они находятся в статическом состоянии.

Все данные, представленные на рис.2, получены для опилок одинаковых размеров частиц древесины /3 мм/ при точно соблюдаемой начальной температуре пода (400°C) и строго контролируемой подаче воздуха (I л/мин). Кривая I характеризует температуру пода при подаче порции опилок с влажностью около 55%, при 2,5 оборотах в минуту мешалки /9/ (см.рис.I). В этом случае температура пода несколько снижается (в среднем на 8-10%), затем возрастает до 403-405°C и на этом пределе поддерживается почти на всем протяжении догорания угля, образующегося после термолиза органической массы древесины.

Кривая 2 представляет аналогичную термограмму, но для сухих опилок с влажностью порядка 7-8%. Температура пода при этом не снижается /либо снижается незначительно/, так как про-

цесс термического разложения древесины начинается почти мгновенно после соприкосновения с горячей поверхностью пода, температура которого в дальнейшем из-за экзотермического характера процесса дымообразования возрастает на 8-12°С и затем очень медленно снижается по мере догорания угля. При получении термограмм I и 2 спай термопары был выведен, как показано на рис. 2, вровень с поверхностью пода. При измерении температуры в зоне термического разложения опилок, характер кривых / 3 и 4 / резко изменяется. Так, если подать порцию опилок даже из сухой древесины спай термопары охлаждается на 50-60°С (кривая 3), затем резко возрастает, достигая 450-460°С, догорание же угля происходит при более низкой температуре 430-420°С. При форсированной подаче воздуха (5-6 л/мин) температура спая термопары, находящегося в зоне тлеющих опилок, превышает начальную температуру пода на 100-130°С (пунктирная кривая 4). Из этого факта можно заключить, что в небольших локализованных участках зоны горения органической массы древесины температура может достигать еще больших величин, способствуя протеканию реакций образования полициклических ароматических углеводородов, количество которых резко возрастает по мере повышения температуры термического разложения опилок, например при образовании дыма в устройствах так называемого колосникового типа.

По термограммам, показывающим изменения температуры дыма на выходе из дымогенератора (рис. 3, кривые 5, 5", 6, 6", 7, 7"), так же можно отметить отдельные характерные особенности процесса дымообразования. Прежде всего, как это видно из кривых 5 и 6, полученных при термоллизе соответственно влажных (55%) и сухих (7%) осиновых опилок, продолжительность процесса термоллиза органической массы древесины значительно больше в первом случае (средние величины "в" и в'). Температура на выходе из дымогенератора дымовоздушной смеси так же значительно выше при использовании сырых опилок /преимущественно за счет большого количества перегретого пара/.

Кривые 5' и 6' (термопара I3) имеют такую же форму как кривые 5 и 6, но в отдельных случаях (как например это следует из термограмм 7 и 7', регистрирующих температуру дыма сухих осиновых опилок, подвергнутых термоллизу без работающей мешалки) отличаются от других кривых прежде всего тем, что процесс термоллиза происходит медленнее, температура на выходе из дымогенератора ниже, чем в предыдущих случаях, и что, наконец, характер кривой 7' вблизи нулевой точки указывает на небольшое снижение температуры дымовоздушной смеси вначале процесса термоллиза древесины.

В таблице приведены результаты определения количества смолистых веществ в дыме, образующемся при термоллизе опилок от разных видов древесины.

Таблица

| Древесина | Относительная влажность, % | Количество смолистых веществ в пересчете на абсолютно сухую древесину, % | |
|-----------|----------------------------|--|---------|
| | | Параллельные определения | Средние |
| Ольха | 7,12% | 6,58; 7,42 | 7,00 |
| Дуб | 8,32% | 6,89; 6,68; 6,72 | 6,76 |
| Бук | 7,86 | 6,36; 7,44 | 6,90 |
| Осина | 6,87 | 9,58; 8,65; 8,83; 8,32 | 8,85 |
| Береза | 6,86 | 8,95; 9,48; 8,77 | 9,07 |
| Сосна | 9,29 | 12,46; 11,44; 11,29; 11,30; 11,85 | 11,67 |
| Ель | 8,32 | 7,64; 7,9 | 7,88 |

Таким образом, наибольшее количество смолистых соединений возникает в дыме, получаемом из сухих опилок с размером частиц 3 мм при температуре пода дымогенератора 400°С из таких пород древесины как сосна, далее следует береза, осина, ель. Меньше смолистых веществ содержится в дыме от древесины дуба и бука.

Определение количества смол в дыме, полученном в строго контролируемых аналогичных условиях из опилок указанных выше пород древесины, но сильно увлажненных (относительная влажность их колебалась 54-55%) показало, что количество смол снижается в среднем на 1/10 по сравнению с их содержанием в дыме, полученном из сухой древесины, например в дыме от влажной березы на 10%, от ольхи на 16%, а от ели на 5% и т.д.

Из других предварительных наблюдений на основе первых экспериментов по моделированию процесса образования коптильного дыма могут быть сделаны следующие выводы:

- образование собственно дыма из сухих опилок размером 2-3 мм на поверхности пода дымогенератора с температурой 400°С происходит в течение 80-90 с (опилки рассыпаны в один слой и перемешаются лопастями мешалки);

- при не работающей мешалке (слой опилок в 8-10 мм) образование дыма заканчивается в промежуток времени в 2,5-3 раза больше, чем в предыдущем случае;

- по мере увеличения размеров опилок количество несгоревшего угля увеличивается (при прочих равных условиях за один и тот же период сгорания) для опилок размером 3 мм на 25%, размером 5-6 мм - на 40-45% по сравнению с опилками, имеющими размеры I мм;

- при перемещении (ворошении) опилок на поверхности пода дымогенератора количество смолы возрастает в дыме на 10-20% по сравнению с такими же опилками, находящимися в процессе термического разложения в стационарном состоянии.

В заключение можно сказать, что использование устройства, имитирующего процесс получения дыма в дымогенераторах с подогреваемой поверхностью, в котором можно четко контролировать и соблюдать постоянство температурных и других параметров изучаемого процесса, позволяет получить ряд данных, необходимых для конструирования устройств, предназначенных для генерирования технологического (копильного) дыма высокого качества.

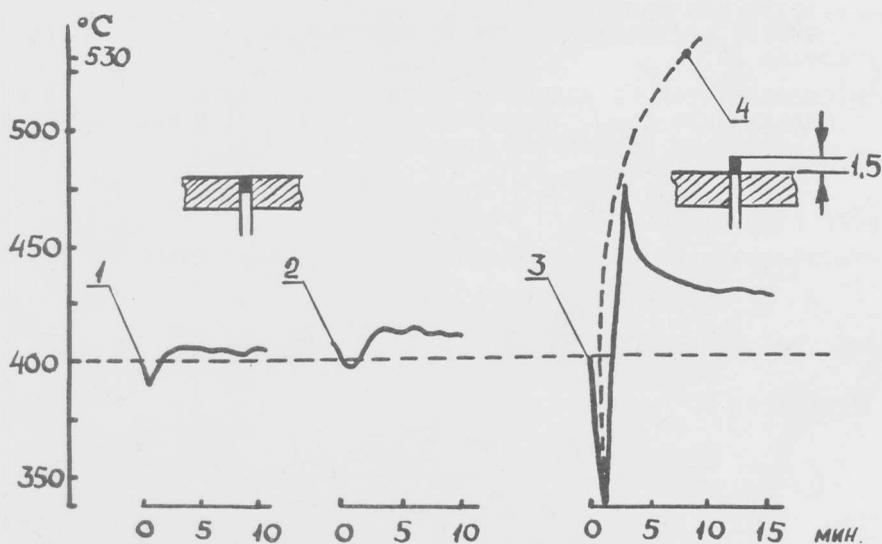


Рис. 2. Кривые изменения температуры пода дымогенератора (пояснения в тексте)

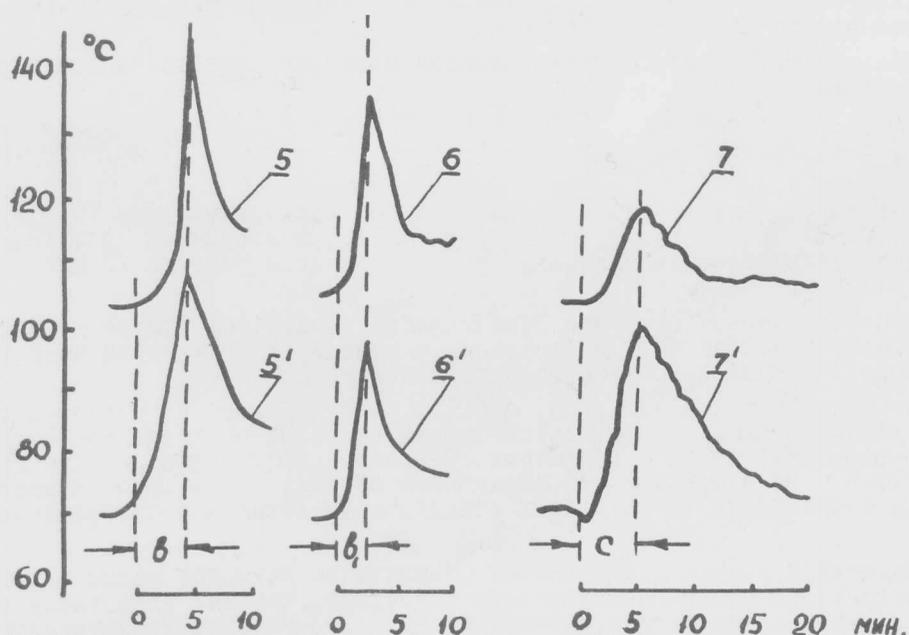


Рис. 3. Кривые изменения температуры дыма непосредственно на выходе из дымогенератора (пояснения в тексте)