

664.951.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ДРЕВЕСНОГО ДЫМА^{х/}

Е.А.Хван

Физические особенности коптильного дыма

Древесный дым, используемый при копчении, представляет собой аэродисперсную систему или аэрозоль конденсационного типа. Он образуется при конденсации пересыщенных паров влаги и органических соединений, получающихся при термическом разложении древесины. Возникающая коллоидная система имеет определенные физические параметры (весовая и счетная концентрация, электрический заряд и дисперсный состав), которые под влиянием различных внешних условий, главным образом температуры, а также разбавления воздухом, постоянно изменяются, что ведет к изменению свойств дыма в целом.

Древесный дым как коллоидная система до настоящего времени изучен недостаточно. Из имеющихся в литературе данных следует отметить работу Фостера с сотрудниками (Foster, Simpson, 1961 (а и б), которые занимались в какой-то мере изучением физики древесного дыма (оптические свойства дыма, средний размер частиц). Однако исследования, выполненные Фостером, были направлены в основном на установление среднего размера частиц дыма, в то время как

х/ Работа выполнена под научным руководством
Н.А.Воскресенского.

для изучения механизма копчения большое значение имеет знание истинного распределения частиц в дыме по размерам, изменений, происходящих в дыме при осаждении на продукт, а также весовой и особенно счетной концентрации, позволяющей судить о коагуляции дымовых частиц.

Цель исследований — изучение некоторых физических показателей (весовой и счетной концентрации и дисперсного состава) древесного дыма, получаемого при различных режимах термического разложения древесины. В качестве источников дымообразования были использованы наиболее распространенные дымогенераторы — автоматический дымогенератор ПСМ и топочный дымогенератор установки горячего копчения "Квернер-Брук". Топливом для дымогенератора ПСМ служили сосновые опилки размером от 1 до 7 мм влажностью 15%, для дымогенератора "Квернер-Брук" — сосновая стружка влажностью 64,5%. Расход топлива на дымогенераторе ПСМ составлял 6 кг/ч, на дымогенераторе "Квернер-Брук" — около 64 кг/ч. Температура генерации на ПСМ поддерживалась от 400 до 600°C при помощи электронного потенциометра — ЭПВ — ПП = А.

Весовая и счетная концентрация коптильного дыма. Под концентрацией аэрозоля понимается содержание дисперсной фазы в данном объеме газовой среды. Концентрация аэрозолей в случае коптильного дыма может быть или весовой (гравиметрической) — это вес дымовых частиц, содержащихся в единице объема дисперсионной среды (обычно в мг/м³), — или счетной (кониметрической) — это число частиц дыма в единице объема газовой среды (число частиц в 1 см³ аэрозоля).

Существуют разнообразные методы определения весовой концентрации аэродисперсных систем. Весовую концентрацию определяют методом седиментации, фильтрации, электростатическим и термопреципитации, а также методом инерционного осаждения. Для наших исследований был выбран метод определения весовой концентрации, основанный на фильтрации дыма через высокоэффективные аналитические фильтры АФА-В-18, приготовленные из материала ФП. Суть этого метода заключается в следующем. Дым просасывается через три фильтра, заложенных в заборную воронку при помощи вакуум-насоса. Взве-

шивая фильтры до и после отбора пробы дыма, определяли привес на фильтре. Зная объем дыма, прошедшего через фильтр (объем определяется из расхода дыма, в единицу времени, который показывает ротаметр, и времени опыта), можно определить его весовую концентрацию:

$$C = \frac{P \cdot 1000}{Q \cdot t} \text{ [мг/м}^3\text{]},$$

где P - привес на фильтре, мг;
 Q - расход дыма, л/мин.;
 t - время опыта.

Счетную концентрацию находили из результатов, полученных при определении каскадным импактором дисперсного состава дыма, т.е. общего количества дымовых частиц, оседающих на каждом каскаде. Средний размер частиц каждого каскада известен из данных калибровки импактора. Принимая плотность осевших частиц за единицу, можно подсчитать количество частиц, осевших на каждом каскаде импактора:

$$n = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho} \text{ [шт.]},$$

где M - общий привес частиц дыма на каскаде, мг;
 r - средний радиус частиц для каждого каскада, см;
 ρ - плотность частиц, г/см³.

Разделив полученное значение n на время отбора пробы (в мин.) и на объемную скорость (в см³/мин), можно получить число частиц в 1 см³:

$$N = \frac{M \cdot 1000}{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho Q t} \text{ [шт./см}^3\text{]}.$$

Пробы дыма для определения весовой и счетной концентрации отбирали на входе и выходе из камеры копчения на электрокопильной установке и установке "Квернер-Брук".

Электрокопильная установка. Весовую концентрацию дыма из генератора ПСМ определяли в зависимости от температуры генерации. Поскольку при температуре ниже 500°C генерация дыма нетипична для данного дымогенератора, ниже этой температуры было сделано несколько опытов лишь для того,

чтобы построить зависимость весовой концентрации дыма от температуры генерации. В основном изучали влияние температуры в интервале от 500 до 600⁰С на значения весовой концентрации. Результаты этих наблюдений (средние из 15 измерений) приведены ниже (при Р = 0,95); для температуры 450⁰С значения весовой концентрации - средние из пяти замеров.

Температура генерации, ⁰ С	Весовая концентрация, мг/м ³
450	73 ± 9,2
500	132 ± 9,0
550	206 ± 9,5
600	295 ± 16,0

Все результаты обработаны статистически согласно методике, изложенной Кодсидайном и Россом (1968).

Установка "Квернер-Брук". Весовую концентрацию дыма на этой установке определяли при входе дыма в копильный тоннель и на выходе из него. Ввиду высокой весовой концентрации дыма на входе время отбора пробы на фильтр составляло 2-5 мин. Концентрация дыма на входе в тоннель резко колебалась из-за неравномерности подачи топлива (от 1000 до 7200 мг/м³, в среднем 2600 ± 430 мг/м³ из 15 замеров), а на выходе была от 210 до 480 мг/м³ (в среднем 332 ± 41 мг/м³ из 12 замеров).

Из данных, приведенных выше, видно, что с увеличением температуры генерации весовая концентрация дыма возрастает, причем зависимость эта имеет вид:

$$y = 0,2 \cdot 10^{-9} \cdot x^{4,375}$$

Из анализа усредненных данных весовой концентрации для каждого значения температуры генерации на установке ПСМ видно, что значения их стабильны (отклонение для среднего значения при температуре 500, 550 и 600⁰С составляют соответственно ±6,5; 4,5 и 5,5%), в то время как отклонение от среднего значения для весовой концентрации на установке "Квернер-Брук" составляет ±20,5%. Сравнивая значения весовой концентрации дыма для обеих установок, можно отметить,

что весовая концентрация дыма из ПСМ в 10 раз ниже, чем из "Квернер-Брук", что можно объяснить различным количеством топлива, сжигаемого в этих дымогенераторах в единицу времени.

Следовательно, весовая концентрация дыма сильно влияет на качество продукта и равномерность колера. Стабильность весовой концентрации имеет особое значение для получения равномерного колера при электрокопчении, так как процесс осаждения непродолжителен. Как показали опыты, отвечают этим требованиям только механические дымогенераторы (например, ПСМ), способные работать по заданному режиму и дающие возможность регулировать условия сжигания и, следовательно, весовую концентрацию дыма, что также имеет немалое значение. Эти качества отсутствуют у немеханических дымогенераторов (например, "Квернер-Брук").

Счетная концентрация дыма. Данные о содержании частиц каждого размера в дыме, поступающем и выходящем из установок электрокопчения и "Квернер-Брук", приведены в табл. I.

Сравнивая значения счетной концентрации дыма на входе и выходе из электрокопильной установки, можно отметить следующее. Отчетливо заметно уменьшение частиц дыма в единице объема по мере прохождения дыма через установку. Причем на электрокопильной установке частиц дыма размером более 1,2 мк в радиусе становится меньше более чем в два раза, что можно отнести за счет осаждения их в электрическом поле, а на установке "Квернер-Брук" — более чем в пять раз. Это можно объяснить тем, что весовая концентрация дыма из дымогенератора "Квернер-Брук" значительно выше и коагуляция его более интенсивна, что уменьшает частичную концентрацию выходящего из установки дыма. Уменьшение относительного содержания мелких частиц в выходящем дыме по сравнению с входящим в электрокопильной установке можно отнести не за счет осаждения, а за счет коагуляции, которая несмотря на кратковременное нахождение дыма в копильной камере (около 1⁰ сек. — расстояние по высоте между точками отбора пробы) успевает осуществиться.

Таблица I

Средний радиус частиц, мк						
0,1	0,3	0,7	1,2	2,0	3,5	
<u>Электрокопильная установка</u>						
Вход в камеру копчения						
$1,2 \cdot 10^7$	$0,7 \cdot 10^6$	$0,7 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10^4$	$0,4 \cdot 10^3$	$0,12 \cdot 10^2$	
$2,1 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^3$	$0,13 \cdot 10^2$	
$0,9 \cdot 10^7$	$0,7 \cdot 10^6$	$0,8 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^3$	$0,3 \cdot 10^2$	
$1,0 \cdot 10^7$	$0,6 \cdot 10^6$	$0,6 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10^4$	$0,4 \cdot 10^3$	$0,1 \cdot 10^2$	
$0,8 \cdot 10^7$	$0,6 \cdot 10^6$	$0,7 \cdot 10^5$	$0,4 \cdot 10^4$	$0,3 \cdot 10^3$	$0,16 \cdot 10^2$	
Среднее $1,2 \cdot 10^7$	$0,8 \cdot 10^6$	$0,75 \cdot 10^5$	$0,32 \cdot 10^4$	$0,41 \cdot 10^3$	$0,16 \cdot 10^2$	
Выход из камеры копчения						
$0,4 \cdot 10^7$	$0,4 \cdot 10^6$	$0,4 \cdot 10^5$	$0,12 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^3$	$0,05 \cdot 10^2$	
$0,6 \cdot 10^7$	$0,6 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^5$	$0,13 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^3$	$0,06 \cdot 10^2$	
$0,7 \cdot 10^7$	$0,5 \cdot 10^6$	$0,4 \cdot 10^5$	$0,16 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^3$	$0,06 \cdot 10^2$	
$0,5 \cdot 10^7$	$0,4 \cdot 10^6$	$0,3 \cdot 10^5$	$0,14 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^3$	$0,05 \cdot 10^2$	
$1,0 \cdot 10^7$	$0,8 \cdot 10^6$	$0,7 \cdot 10^5$	$0,21 \cdot 10^4$	$0,3 \cdot 10^3$	$0,10 \cdot 10^2$	
Среднее $0,7 \cdot 10^7$	$0,5 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^5$	$0,15 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^3$	$0,07 \cdot 10^2$	
<u>"Квернер-Брук"</u>						
Вход в тоннель						
$4,1 \cdot 10^7$	$8,4 \cdot 10^6$	$12,2 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^3$	$0,13 \cdot 10^2$	
$4,6 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^6$	$7,8 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^4$	$0,3 \cdot 10^3$	$0,20 \cdot 10^2$	
$3,8 \cdot 10^7$	$5,2 \cdot 10^6$	$7,4 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^3$	$0,13 \cdot 10^2$	
$3,4 \cdot 10^7$	$5,0 \cdot 10^6$	$6,0 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^4$	$0,3 \cdot 10^3$	$0,10 \cdot 10^2$	
$5,2 \cdot 10^7$	$5,8 \cdot 10^6$	$6,2 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^4$	$0,3 \cdot 10^3$	$0,13 \cdot 10^2$	
Среднее $4,2 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^6$	$7,8 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^4$	$0,4 \cdot 10^3$	$0,14 \cdot 10^2$	
Выход из тоннеля						
$0,9 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^5$	$0,4 \cdot 10^4$	$0,04 \cdot 10^3$	$0,02 \cdot 10^2$	
$1,0 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^6$	$0,7 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10^4$	$0,04 \cdot 10^3$	$0,02 \cdot 10^2$	
$0,3 \cdot 10^7$	$0,4 \cdot 10^6$	$0,3 \cdot 10^5$	$0,1 \cdot 10^4$	$0,01 \cdot 10^3$	$0,01 \cdot 10^2$	
$1,0 \cdot 10^7$	$0,6 \cdot 10^6$	$0,3 \cdot 10^5$	$0,1 \cdot 10^4$	$0,01 \cdot 10^3$	$0,01 \cdot 10^2$	
$0,8 \cdot 10^7$	$0,7 \cdot 10^6$	$0,4 \cdot 10^5$	$0,2 \cdot 10^4$	$0,03 \cdot 10^3$	$0,03 \cdot 10^2$	
Среднее $0,8 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^6$	$0,8 \cdot 10^5$	$0,2 \cdot 10^4$	$0,02 \cdot 10^3$	$0,02 \cdot 10^2$	

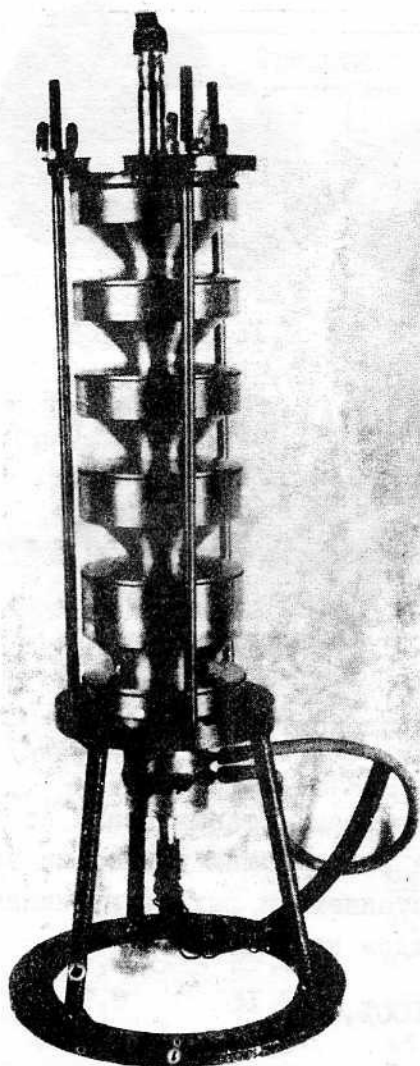
Дисперсный состав дыма. По характеру частиц аэрозольная система может быть монодисперсной (частицы одинакового размера) или полидисперсной (частицы разного размера). Поскольку действие физических законов применительно к коллоидным системам в значительной мере зависит от размера ее частиц, то физические свойства полидисперсного аэрозоля, в частности древесного дыма, определяются в первую очередь размером частиц, а также представительностью частиц каждого размера. Из сказанного выше следует, насколько важно знать распределение частиц в дыме по размерам.

Существуют различные способы определения дисперсного состава аэрозолей. Наиболее распространен метод микроскопии и метод, основанный на инерционном осаждении.

Дисперсный состав дыма исследовали по методике Физико-химического института им. Л. Я. Карпова, основанной на центробежной сепарации частиц аэрозоля в импакторе (рис. I). При помощи этого прибора можно исследовать дисперсный состав аэрозолей с частицами размером от 10 до 0,3 мк и меньше. Импактор представляет собой ряд последовательно установленных увеченных конусов. За каждым конусом на пути движения дыма установлены стеклянные подложки (рис. 2). В нусах перед подложками имеются специальные откалиброванные отверстия. За последней подложкой ставится фильтр из материала ФПП-15. Характеристика импактора приведена в табл. 2.

Таблица 2

№ каскада	Диаметр сопла, мм	Диаметр частиц, мк		Скорость дыма в сопле, м/сек.
		оседающих на каскаде	средний	
1	8,0	5-10	7,5	5,0
2	4,5	3-5	4,0	15,7
3	3,5	2-3	2,5	26,0
4	2,0	1-2	1,5	79,6
5	1,5	0,5-1	0,75	141,3
Фильтр	32,3	менее 0,5	около 0,25	0,3



Дым просасывался через импактор при помощи вакуум-насоса, при этом расход в 15 л/мин обеспечивал скорости движения дыма через импактор, указанные в таблице. Проходя через каскады, дым увеличивает свою скорость и достигает максимальной на последнем, пятом каскаде. Наличие подложки на выходе из конуса заставляет дым вместе с дисперсными частицами изменять направление движения. При этом частицы, обладая плотностью большей, чем плотность газов, имеют большую инерционную способность и не успевают вместе с газом обогнуть подложку. Стремясь двигаться в прежнем направлении, они встречают на своем пути подложку и, ударяясь, прилипают к ней.

Размер частиц, осевших на данной подложке, определяется скоростью ее движения

Рис. I. Каскадный импактор. (грубо говоря скоростью движения газового потока на вы-

ходе из сопла) и массой частицы, т.е. ее размером и плотностью. В импакторе частицы разделяются по размерам при одинаковой их плотности за счет различия в скорости движения. На устанавливаемом за последним каскадом фильтре, оседают все частицы, не уловленные каскадами. Количество частиц, осевшее на каждом каскаде, определяется взвешиванием. Для уточнения веса частиц на подложку каждого каскада помещали фильтр из ленты ЛФС, на которую и оседали частицы дыма.

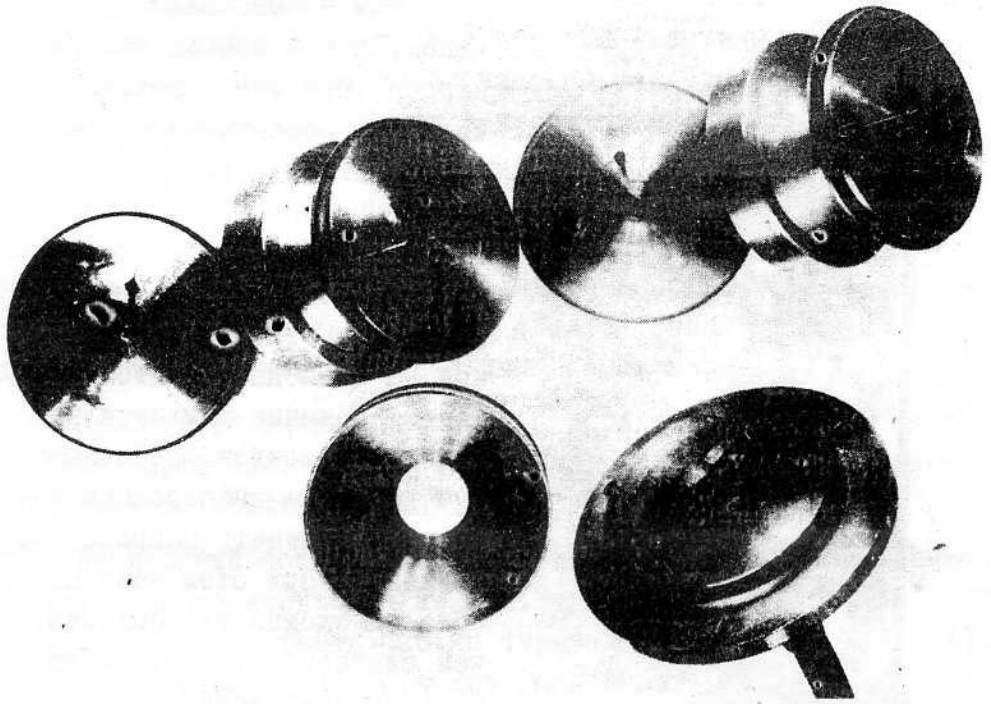


Рис.2. Каскады импактора с плексиглазовыми подложками.

Распределение частиц по размерам устанавливали по весовой доле каждого размера. Для этого общий привес на всех подложках каскадов и фильтре, стоящем на выходе из импактора, относили к привесу на каждом каскаде:

$$\frac{N'}{N} \cdot 100\%,$$

где N' - привес на отдельном каскаде;
 N - общий привес на всех каскадах.

Дисперсный состав дыма определяли в электрокопильной установке и установке "Квернер-Брук" на входе и выходе из копильной камеры. Кроме того, исследовали влияние степени измельчения опилок и вида топлива (опилки или стружки) на дисперсный состав дыма на установке "Квернер-Брук".

Результаты определения дисперсного состава дыма на входе и выходе электрокопильной установки и "Квернер-Брук" представлены в табл.3 (относительная доля частиц каждого размера выражена в процентах).

Таблица 3

Средний радиус частиц, мк					
0,1	0,3	0,7	1,2	2,0	3,5
<u>Электрокопильная установка</u>					
На входе					
18,6	31,7	36,4	6,9	4,4	4,0
18,9	31,7	36,3	7,5	4,5	0,9
26,7	31,2	32,0	5,4	3,6	1,0
22,2	32,2	35,4	5,6	4,1	0,7
19,6	28,3	37,7	7,8	5,6	0,9
Среднее					
21,2	30,4	35,6	6,6	4,4	1,5
На выходе					
12,5	33,3	41,0	7,1	5,6	0,9
15,2	37,9	37,5	5,4	3,2	0,8
19,3	31,9	36,9	7,0	4,2	0,8
16,1	32,7	37,2	8,1	5,0	0,8
20,0	34,0	35,8	5,4	3,6	1,0
Среднее					
16,5	33,9	37,7	6,6	4,3	0,8
<u>"Квернер-Брук"</u>					
На входе					
8,8	31,4	46,9	6,1	4,2	2,4
6,9	25,6	44,9	13,4	8,1	1,2
7,9	31,5	47,5	6,7	5,1	1,2
10,9	33,5	43,8	5,6	4,9	1,4
8,9	22,2	39,1	14,6	13,4	1,8
Среднее					
8,7	28,8	44,4	9,3	7,1	1,6
На выходе					
10,3	37,4	40,1	4,2	1,9	0,6
14,4	39,8	33,9	6,8	3,4	1,7
9,4	43,6	34,9	7,4	3,4	1,3
16,2	45,6	32,5	2,8	1,9	0,9
17,0	40,0	28,5	6,1	4,8	3,4
Среднее					
13,4	41,3	33,9	5,4	3,1	1,6

Было установлено, что дым, получаемый на дымогенераторе ПСМ, имеет довольно высокую степень дисперсности - в среднем 51,6% всех находящихся в дыме частиц - менее 0,3 мк. Как видно из данных таблицы, радиус около 20% всех частиц - 0,1 мк. Средний радиус основной массы частиц - 0,1-0,7 мк, среднее количество - 87,2%. В дыме из дымогенератора ПСМ частицы радиусом более 1,2 мк составляют в среднем около 12,5%. Сравнивая распределение частиц в дыме, входящем и выходящем из копильной камеры, можно заметить, что при прохождении дыма через камеру и осаждении его на поверхности рыбы, распределение частиц по размерам несколько изменяется: в выходящем дыме содержание самых мелких частиц уменьшается. Общее количество частиц радиусом до 0,3 мк в дыме не изменяется: на входе в камеру 51,6%, а на выходе - 50,4%. Содержание частиц других размеров не меняется в процессе осаждения дыма в электрическом поле. Средний радиус основной массы частиц в дыме как на входе, так и на выходе из камеры копчения - 0,3-0,7 мк.

Из таблицы видно, что радиус основной массы частиц в дыме, входящем в установку "Квернер-Брук" равен 0,7 мк и количество этих частиц составляет в среднем 44,4%. Копильный дым из этой установки содержит относительно небольшое количество мелкодисперсных частиц (радиусом 0,1 мк) - около 8,7% в среднем; преобладают частицы средним радиусом от 0,1 до 0,7 мк - в среднем около 81,9%. Следует отметить, что в процессе осаждения дыма на рыбу при прохождении его через тоннель дисперсность значительно меняется: увеличивается относительная доля самых мелких частиц (8,7 и 13,4% соответственно на входе и выходе из установки). Кроме того, в дыме на выходе преобладают частицы радиусом 0,3 мк. Соответственно уменьшается относительное содержание частиц радиусом более 1,2 мк. Общее количество их сокращается на выходе до 10,1% по сравнению с 18% на входе дыма в камеру.

Эти изменения дисперсного состава дыма при прохождении его через тоннель можно объяснить тем, что при движении дыма, наиболее крупные его частицы за счет гравитационных сил и соударения с поверхностями осаждения (рыба, тележки, стенки тоннеля) выпадают из дымового потока

и оседают на поверхности. Вследствие этого возрастает относительное содержание других частиц.

На основании средних данных о дисперсном составе дыма из дымогенераторов ПСМ и "Квернер-Брук" построены сравнительные гистограммы дисперсного состава этих образцов дыма (рис.3).

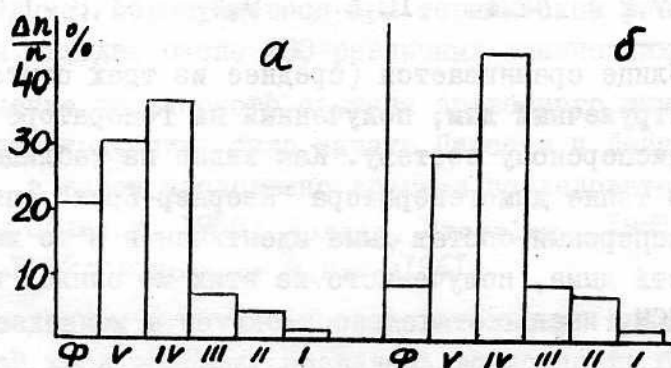


Рис.3. Средний дисперсный состав дыма из дымогенераторов ПСМ (а) и "Квернер-Брук" (б):
 Ф - фильтр (0,5 мк); V - пятый каскад (0,5+1 мк); IV - четвертый каскад (1+2 мк); III - третий каскад (2+3 мк); II - второй каскад (3+5 мк); I - первый каскад (5 мк).

Как видно из гистограммы, дисперсный состав дыма из дымогенераторов ПСМ и "Квернер-Брук" различен: копильный дым из установки "Квернер-Брук" содержит меньше мелких частиц - (8,7 и 21,2% частиц средним радиусом 0,1 мк соответственно). Общее содержание частиц радиусом менее 0,3 мк в дыме из ПСМ 51,6% по сравнению с 37,5% частиц этого же размера в дыме из "Квернер-Брук". Таким образом, у дыма из механического дымогенератора с регулируемыми условиями пиролиза более высокая степень дисперсности, чем у дыма из кустарного дымогенератора. Это различие, видимо, объясняется условиями сжигания, которые различны у данных генераторов.

Для подтверждения этого были проведены следующие опыты. Для получения дыма на установке "Квернер-Брук" использовали то же топливо, что и на дымогенераторе ПСМ, и отбирали при этом пробы дыма на импактор. Результаты этого опыта показали, что дисперсный состав дыма не зависит от вида сжигаемого топлива (табл.4).

Таблица 4

Средний радиус частиц, мк						Топливо
0,1	0,3	0,7	1,2	2,0	3,5	
8,7	28,8	44,4	9,3	7,1	1,6	Стружка
8,9	27,2	42,1	10,6	9,4	1,8	Опилки

В таблице сравнивается (среднее из трех опытов) опилочный и стружечный дым, полученный на генераторе "Квернер-Брук" по дисперсному составу. Как видно из таблицы, при сжигании в топке дымогенератора "Квернер-Брук" опилок и стружки дисперсный состав дыма идентичен и в то же время дисперсность дыма, полученного из этих же опилок на дымогенераторе ПСМ, иная.

Разделяя смесь опилок, используемых в качестве топлива на дымогенераторе ПСМ, на отдельные фракции, исследовали влияние степени измельчения топлива на дисперсный состав дыма. Смесь опилок разделяли на фракции размером 1-3, 3-5, 5-7 мм, которые по отдельности загружали в бункер дымогенератора и исследовали дисперсность получаемого дыма. Кроме того, в этих же условиях для сравнения определяли дисперсный состав дыма из смеси опилок. Результаты опытов приведены в табл.5.

Таблица 5

Размер опилок, мм	Средний радиус частиц, мк					
	0,1	0,3	0,7	1,2	2,0	3,5
1-3	16,2	28,4	35,4	10,1	7,2	1,9
3-5	13,3	27,9	41,5	8,3	6,4	2,6
5-7	13,9	27,6	41,0	11,8	4,0	1,5
Смесь	21,2	30,4	35,6	6,6	4,4	1,5

Как видно из таблицы, в дыме, полученном при сжигании отдельных фракций опилок, как и в дыме, полученном при сжигании опилок, преобладают частицы радиусом 0,7 мк, затем идут частицы радиусом 0,3 мк, а за ними частицы радиусом 0,1 мк и менее. Таким образом, дисперсный состав дыма не зависит от степени измельчения древесного топлива.

Химические особенности дыма

Ароматизирующее и вкусовое действие древесного дыма обусловлено многообразием входящих в его состав органических соединений. По данным Гуса (цит. по Wise, Jahn, 1952), в состав дыма, образующегося при термическом разложении древесины, входит около 200 различных химических соединений.

Изучение химического состава древесного дыма, используемого для копчения, было начато Питетом и Лейном (Pitet, Lane), а затем продолжено другими исследователями (Курко, 1960; Солинек, 1958; Porter, Bratsler, 1965; A. Husani, G. Cooper, 1957; P. Sparyar, E. Kevai, 1961).

С введением в научно-исследовательскую практику метода газовой хроматографии появилась возможность более тонкого изучения химического состава коптильного дыма в целом, а также отдельных классов органических соединений, содержащихся в дыме. В последние годы были исследованы составы жирных летучих кислот дыма, карбонильных соединений и состава дыма в целом (Jahnsen, 1961; Hamid, Safle, 1965; Love, 1966).

Цель наших исследований - выяснение некоторых химических показателей как целого дыма, так и отдельных фаз - молекулярной и дисперсной. Для этого были определены следующие показатели дыма - кислотность, pH, качественный состав и количественное содержание фенолов и качественный состав карбонильных соединений.

Для получения дыма использовали два дымогенератора различной конструкции (ПСМ и "Квернер-Брук"). На дымогенераторе ПСМ дым получали из сосновых опилок при температуре генерации 600°C , а на дымогенераторе "Квернер-Брук" - из сосновой стружки. Температура дыма из генератора ПСМ при отборе проб составляла $55-60^{\circ}\text{C}$, а из дымогенератора "Квернер-Брук" - $75-80^{\circ}\text{C}$.

Все химические анализы проводили с конденсатами целого дыма и молекулярной фазы, а также с отделенной дисперсной фазой дыма. Конденсаты целого дыма получали, пропуская

его через стеклянную ловушку с повышенной поверхностью конденсации, помещенную в охлаждающую смесь. Смесь для охлаждения приготавливали из концентрированной азотной кислоты и снега в соотношении 1:3 по весу в сосуде Дьюара. Температура охлаждающей смеси - минус 30-35⁰С. Конденсат молекулярной фазы дыма получали путем отделения от дыма дисперсной фазы, для чего на пути движения дыма в ловушку ставили фильтры из материала ФПП-15. Пробы конденсата в каждом опыте отбирали в течение 2 ч.

Осевшую на фильтре дисперсную фазу предварительно экстрагировали водой (при определении рН и кислотности) и серным эфиром (при определении состава фенолов и карбонильных соединений). Из 1 м³ дыма, получаемого на дымогенераторе ПСМ, получали в среднем 9 мл конденсата целого дыма и молекулярной фазы, а на дымогенераторе "Квернер-Брук" - в среднем 20 мл.

Полученные конденсаты целого дыма и молекулярной фазы, а также дисперсную фазу дыма, полученного с обоих дымогенераторов, исследовали на качественное и количественное содержание фенолов методом бумажной хроматографии (Юдицкая, Лебедева, 1965), кислотность и рН - общепринятыми методами (Лазаревский, 1955), качественный состав карбонильных соединений - методом газовой хроматографии (Лясковская и др., 1967).

Состав фенолов, присутствующих в целом дыме и в его молекулярной фазе, был следующим (для обоих дымогенераторов): гваякол, фенол А, фенол, фенол У, М-и О-крезол, метил-гваякол, М-и П-ксиленол. Состав дисперсной фазы дыма, полученного на дымогенераторе "Квернер-Брук", отличался от полученного на ПСМ тем, что, кроме гваякола, фенола А, фенола, фенола У, М-и О-крезола, в нем присутствовали метилгваякол и М-и П-ксиленол.

Результаты определения рН и кислотности приведены в табл.6.

В молекулярной фазе кислот содержится больше, чем в дисперсной, из чего можно предположить, что большая часть кислот в дыме находится в летучем состоянии. При конден-

сации они переходят в конденсат, чем и объясняется повышенная кислотность конденсатов целого дыма и молекулярной фазы.

Таблица 6х/

П С М			"Квернер-Брук"		
целый дым	ф а з ы		целый дым	ф а з ы	
	молекулярная	дисперсная		молекулярная	дисперсная
2,89	1,10	4,07	1,74	1,53	3,56
		<u>pH</u>			
		<u>Кислотность</u>			
0,9	1,05	0,21	0,60	0,60	0,21

х/ Средние значения из трех определений. Кислотность в пересчете на CH_3COOH .

Концентрация водородных ионов выше в молекулярной фазе обоих образцов дыма, чем в целом дыме и дисперсной фазе.

Данные о количественном содержании фенолов приведены в табл.7 (в /100 мл).

Таблица 7

Фенолы	П С М		"Квернер-Брук"	
	целый дым	молекулярная фаза	целый дым	молекулярная фаза
Гваякол	2100	1075	4112	1773
Фенол	662	290	525	218
Крезолы	1132	245	719	422
Всего	3890	1610	5358	2412

Как видно из таблицы, содержание фенолов в конденсатах целого дыма и молекулярной фазы дыма из генератора ПСМ ниже, чем в дыме из дымогенератора "Квернер-Брук", что можно объяснить меньшей весовой концентрацией дыма в первом случае. Из общего количества фенолов, содержащихся в конденсате целого дыма ПСМ, 54,2% приходится на долю гваякола, 17,2 - на долю фенола и 29,0% - на долю крезолов. В молекулярной фазе дыма из ПСМ гваякол составляет 66,8%, фенол - 18,0 и крезолы - 14,5% (от общего содержания фенолов).

В конденсате целого дыма из "Квернер-Брук" доля гваякола составляет 76,5%, фенола - 9,8 и крезолов - 13,4%; в молекулярной фазе содержится гваякола - 73,4%, фенола - 9,4 и крезолов - 17,7%. Таким образом, наибольшее количество содержащихся в дыме фенолов приходится на гваякол.

Из таблицы можно видеть, что в молекулярной фазе дыма из обеих установок общее содержание фенолов примерно в два раза меньше, чем в целом дыме. Следовательно, около половины фенолов, содержащихся в дыме, приходится на дисперсную фазу.

На рис. 4 приведены хроматограммы, полученные при разделении смеси карбонильных соединений, выделенных из дисперсной фазы дыма ПСМ и "Квернер-Брук".

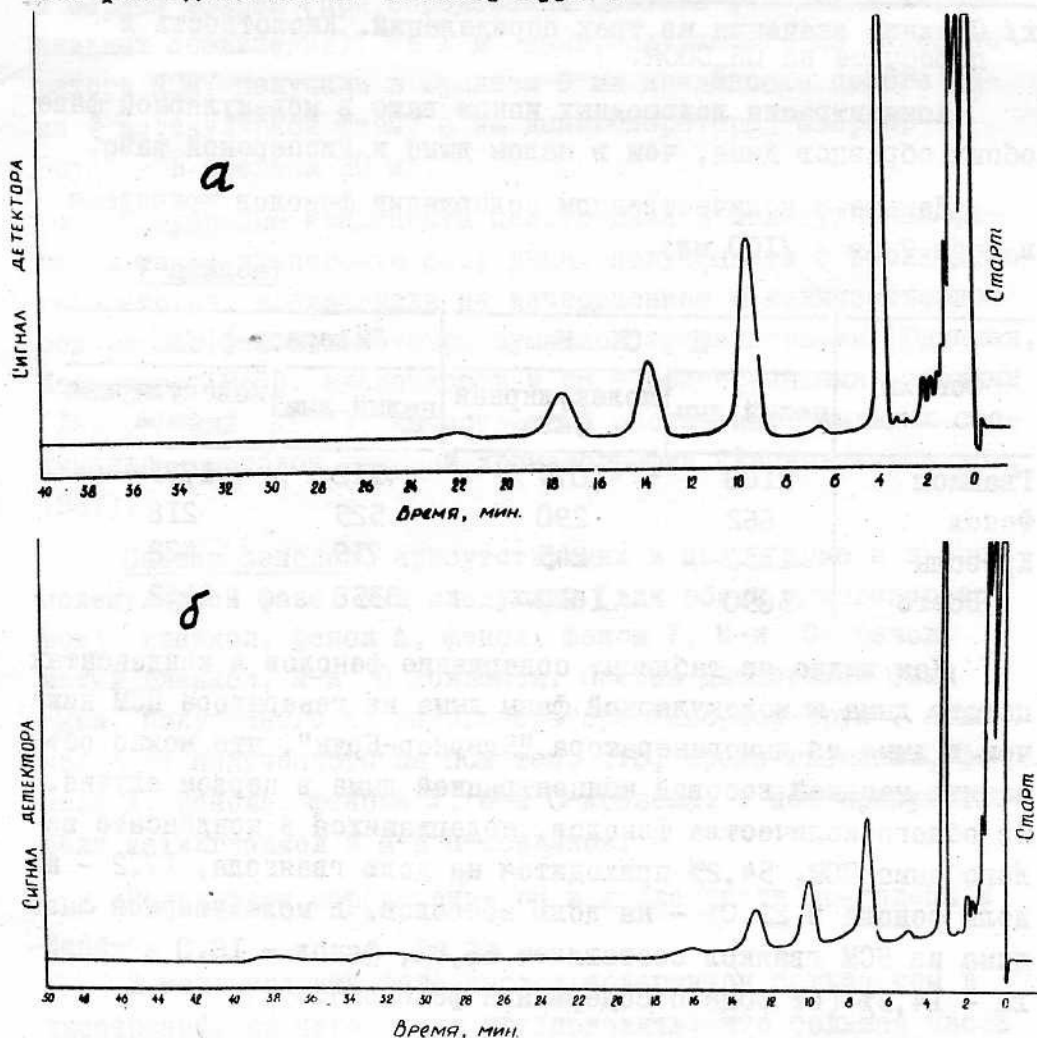


Рис. 4. Хроматограмма карбонильных соединений из дисперсной фазы дыма:
а - из генератора ПСМ; б - из "Квернер-Брук".

При исследовании состава карбонильных соединений молекулярной фазы и дисперсной фазы дыма ПСМ было выделено соответственно I5 и I2 карбонильных соединений. В молекулярной и дисперсной фазах дыма "Квернер-Брук" было выделено соответственно 20 и I4 соединений. Было обнаружено, что образцы дыма различаются по карбонильному составу; особенно ярко эта разница была выражена в количестве карбонильных соединений, содержащихся в молекулярной фазе дыма ПСМ и "Квернер-Брук".

В ы в о д ы

1. Весовая концентрация дыма из дымогенератора ПСМ, работающего при температуре 600°C , лежит в пределах 295 ± 16 мг/м и носит стабильный характер. Весовая концентрация дыма из генератора "Квернер-Брук" подвержена резким колебаниям (от 1000 до 7200 мг/м³), составляя в среднем 2600 мг/м³.

2. В процессе осаждения дыма на продукт изменяется частичная концентрация дыма как при электрокопчении, так и при обычном копчении, что объясняется выпадением частиц из дымового потока под действием силы тяжести и протекающей коагуляции дыма.

3. При осаждении дыма в электрическом поле дисперсный состав изменяется незначительно, при этом уменьшается относительное количество самых мелкодисперсных частиц в дыме на выходе (21,2 и 16,5% в дыме на входе и выходе соответственно). При копчении на установке "Квернер-Брук" дисперсный состав дыма изменяется в более значительной степени при осаждении его на рыбу. Увеличивается относительное количество самых мелких частиц с 8,7 до 13,4%, а в дыме на выходе из установки преобладают частицы средним радиусом 0,3 мк. Изменение дисперсного состава объясняется тем, что крупные частицы оседают под действием силы тяжести, что вызывает увеличение относительного содержания частиц других размеров.

4. Доказано, что на дисперсный состав влияет способ сжигания топлива и не влияет степень его измельчения.

5. По составу фенолов дым из дымогенератора ПСМ не отличается от дыма из "Квернер-Брук". Различия в составе фенолов, содержащихся в целом дыме, молекулярной и дисперсной фазы дыма "Квернер-Брук" не обнаружено. В дыме из генератора ПСМ состав фенолов дисперсной фазы несколько отличается от состава фенолов целого дыма и молекулярной фазы.

6. Конденсат молекулярной фазы дыма ПСМ и "Квернер-Брук" имеет более низкий pH по сравнению с конденсатом целого дыма. Содержание летучих кислот составляет в конденсате целого дыма из ПСМ - 0,9%, а из "Квернер-Брук" - 0,6% в пересчете на уксусную кислоту, т.е. в дыме ПСМ содержится больше летучих кислот.

7. В количественном содержании фенолов наблюдается разница между целым дымом и его молекулярной фазой для обоих дымогенераторов. Содержание фенолов в молекулярной фазе составляет около половины всех фенолов, содержащихся в дыме. Основная доля среди фенолов падает на гваякол: конденсат целого дыма из ПСМ содержит 54,2% гваякола от общего количества фенолов, из "Квернер-Брук" - 76,5%; в молекулярной фазе - 66,8% и 73,4% соответственно.

8. Набор карбонильных соединений в дыме из "Квернер-Брук" несколько полнее, чем в дыме из ПСМ. Наиболее заметна разница в содержании карбонильных соединений между конденсатами молекулярной фазы; в молекулярной фазе дыма "Квернер-Брук" их было больше.

Л и т е р а т у р а

Консидайн Д, Росе С. Справочник по прикладной измерительной технике. М., Изд. "Энергия", 1968.

Курке В.И. Физико-химические основы копчения. Пищепромиздат, 1960.

Лазаревский А.А. Техно-химический контроль в рыбообработывающей промышленности. М., Пищепромиздат, 1955.

Лясковская Ю.Н., Хламова Р.И., Шмидт Е.Т., Яковлева Г.А.

Исследование карбонильных соединений гетероциклического ряда в копильных препаратах. Труды ВНИИМП. Вып.19, 1967.

Солиник В.А. Исследование свойств копильного дыма.
Труды ВНИРО. Т.35, М., Пищепромиздат, 1958.

Юдицкая А.И., Лебедева Т.М. Качественный и количественный хроматографический метод анализа фенолов копченых рыбопродуктов. М., 1965.

- Foster, W.W., Simpson, T. Studies of the smoking process for food. "J. Food Sci. and Agr.", 1961a, N 5.
- Foster, W.W., Simpson, T., Campbell, D. Studies of the smoking process for food. "J. Food Sci. and Agr.", 1961b, N 9.
- Hamid, H.A., Safle, R.L. Isolation and identification of the volatile fatty acids present in hickory sawdust smoke. "J. Food Sci.", 1965, N 4.
- Husani, A., Cooper, G. Fractionation of wood smoke and the comparison of chemical composition of sawdust and friction smokes. "Food Techn.", 1957, 10.
- Jahnsen, V.I. The chemical composition of hardwood smoke. Dissertations Abstr. 1961, v.22, N 1.
- Love, S., Bratsler, L.G. Tentative identification of carbonyl compounds in wood smoke by gas chromatography. "J. Food Sci.", 1966, N 2.
- Pittet, I., Zane, C. A study of the chemical composition of wood smoke. "J. Soc. Chem. Ind.", 1940, v.59, N 4.
- Porter, R.W., Bratsler, L.I., Pearson, A.M. Fractionation and study of components in wood smoke. "J. Food Sci.", 1965, N 4.
- Spanyar, P., Kevai, E. Smoking of foods. Mechanism of smoking. Z. Lebensmittel-Untersuchung, 1961, No.115.
- Wise, L.E., Jahn, E.C. "Wood Chem.", v.2, New York, 1952.