

Оценка качества коптильного дыма на основе его физико-химических характеристик

DOI 10.37663/0131-6184-2022-6-115-118

Доктор технических наук, профессор **Э.Н. Ким** – профессор;

Тимчук Е.Г. – доцент;

аспирант **Заяц Е.А.**;

Кандидат технических наук, доцент **Глебова Е.В.** – доцент;

Кандидат технических наук, доцент **Лаптева Е.П.** – доцент –
Кафедра «Управление техническими системами» Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета (ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»)

@ kimandama@mail.ru;
gore802@mail.ru

Ключевые слова:

коптильный дым; дисперсная фаза, массовая концентрация, частицы, дисперсный состав; коптильные компоненты, фенолы, кислоты, карбонильные соединения, полиароматические углеводороды, коагуляция

Keywords:

wood smoke; dispersed phase, mass concentration, particles, dispersed composition; smoky components, phenols, acids, carbonyl compounds, polyaromatic hydrocarbons, coagulation

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF SMOKY SMOKE BASED ON ITS PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS

Doctor of Technical Sciences, Professor **E.N. Kim** – Professor;

Timchuk E.G. – Associate Professor;

graduate student **Zayats E.A.**;

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **Glebova E.V.** – Associate Professor;
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **Lapteva E.P.** – Associate Professor –
Department of "Management of Technical Systems" of the Far Eastern State Technical Fisheries University (FGBOU VO "Dalrybvtuz")

The work is devoted to the study of the physico-chemical characteristics of wood smoke used in the production of hot and cold smoked fish. The dispersion composition of wood smoke is determined depending on the temperature in the smoke formation zone and the excess air coefficient. The content of the main smoky components and polyaromatic hydrocarbons (PAHs) in the particles of the dispersed phase of wood smoke of various sizes has been established. A model of changing the dispersed composition of smoky smoke in the process of hot smoking is proposed. Theoretical calculations based on the proposed models of changes in the dispersed composition have been experimentally confirmed.

Physico-chemical and statistical research methods were used in the work.

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ТЕМЫ

Основной задачей копчения пищевых продуктов является эффективное управление процессом осаждения коптильных компонентов дыма, которые в нем содержатся преимущественно в виде частиц дисперсной фазы, на поверхность обрабатываемого продукта [1-3].

Проблемой, препятствующей решению указанной задачи, является отсутствие достоверных данных о закономерностях формирования и изменения дисперсности коптильного дыма, от параметров которой зависит эффективность осаждения частиц дисперсной фазы коптильного дыма, под воздействием различных сил, на поверхность обрабатываемого продукта.

Решение указанной проблемы требует установления влияния параметров процессов дымогенерации и копчения на физико-химические характеристики дисперсных частиц коптильного дыма.

Исследованию дисперсного состава коптильного дыма посвящены работы отдельных ученых, таких как Н.А. Воскресенский, Э.Н. Ким, В.И. Курко, Ю.Д. Проскура, Е.А. Хван, W.W. Foster, Z.E. Sikorski, M. Vaz-Velho. Однако в известных работах отсутствуют полные данные о влиянии параметров дымогенерации на физико-химические характеристики коптильного дыма и изменение их в процессе копчения.

Исходя из вышесказанного, целью работы является установление закономерности формирования физико-химических характеристик коптильного дыма и динамики их изменения в процессе копчения.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

- провести анализ дисперсного состава коптильного дыма, в зависимости от параметров дымогенерации;
- провести анализ распределения основных коптильных компонентов и ПАУ по частицам дисперсной фазы коптильного дыма.
- установить закономерности динамики дисперсного состава коптильного дыма в процессе копчения.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Коптильный дым генерировали экспериментальным дымогенератором, позволяющим регулировать температуру пиролиза щепы и степень разбавления дыма воздухом [4]. В ходе исследования использовали ольховую щепу относительной влажностью 43-48%. Динамику физико-химических характеристик коптильного дыма исследовали в экспериментальной коптильной камере, позволяющей регулировать температуру и скорость рабочей коптильной среды [5].

Кониметрическую концентрацию дисперсной фазы коптильного дыма определяли ме-

Работа посвящена изучению физико-химических характеристик коптильного дыма, используемого при производстве рыбы горячего и холодного копчения. Установлен дисперсионный состав коптильного дыма в зависимости от температуры в зоне дымообразования и коэффициента избытка воздуха. Установлено содержание основных коптильных компонентов и полиароматических углеводородов (ПАУ) в частицах дисперсной фазы коптильного дыма различного размера. Предложена модель изменения дисперсного состава коптильного дыма в процессе горячего копчения. Экспериментально подтверждены теоретические расчеты по предложенным моделям изменения дисперсного состава. В работе использовались физико-химические и статистические методы исследования.

тодом инерционного осаждения при помощи каскадного импактора [6]. Распределение основных коптильных компонентов и ПАУ по частицам дисперсной фазы коптильного дыма проводили, анализируя массу осевших на каждом каскаде импактора. Содержание фенолов определяли методом с использованием 4-аминоантрипина, карбонильных соединений – по методике с использованием 2,6-денитрофенилгидразина, органических кислот – методом титрования кислот щелочью [6]. Содержание ПАУ определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, в соответствии с ГОСТ Р 51650-2000 «Продукты пищевые. Методы определения массовой доли бенз(а)пирена», на флуоресцентном хроматографе с криогенной приставкой и осветителя ультрафиолетового типа «Хроматоскоп» со спектральным диапазоном 250-700 нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты анализа дисперсного состава коптильного дыма, полученного в экспериментальном дымогенераторе при различных параметрах дымообразования, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Дисперсный состав коптильного дыма при различных параметрах дымогенерации / **Table 1.** The dispersed composition of smoky smoke at various parameters of smoke generation

No опыта	Температура в зоне дымообразования, °С	Коэффициент избытка воздуха с 22-26 °С	Масса частиц дисперсной фазы различного диаметра, % к общей массе					
			Диапазон размеров частиц, мкм					
			0,0-0,25	0,26-0,75	0,76-1,5	1,6-2,5	2,6-4,0	5,0 и более
1	350	0,3	6,3	33,1	51,2	2,1	2,3	5,0
2	350	0,6	6,5	36,2	48,4	2,0	2,1	4,8
3	350	0,9	6,8	38,4	45,1	1,9	2,0	4,5
4	450	0,3	8,3	38,0	45,2	1,9	2,1	4,5
5	450	0,6	8,6	40,6	43,3	1,7	1,9	3,9
6	450	0,9	9,1	42,5	41,7	1,4	1,7	3,6
7	550	0,3	9,3	42,8	40,4	1,3	1,6	3,6
8	550	0,6	10,4	44,1	40,3	1,2	1,3	2,7
9	550	0,9	11,2	46,7	38,2	0,9	1,1	1,9

Таблица 2. Содержание копильных компонентов и ПАУ в дисперсных частицах различного размера, % от массы дисперсной фазы / **Table 2.** The content of smoking components and PAHs in dispersed particles of various sizes, % of the mass of the dispersed phase

Диапазон размеров частиц, мкм	Содержание фенолов, %	Содержание карбонильных соединений, %	Содержание органических кислот, %	Содержание ПАУ, %·10 ⁻⁶
0,00-0,25	2,5-3,6	4,1-6,3	3,9-10,8	23,4
0,26-0,75	3,7-5,8	3,9-6,4	6,3-8,9	26,5
0,76-1,50	4,9-6,2	6,3-8,1	6,2-9,1	29,3
1,60-2,50	2,6-4,3	1,9-4,9	4,5-6,9	31,6
2,60-4,00	0,9-2,0	3,3-4,6	3,6-9,4	43,1
5,00 и более	0,3-0,6	1,1-2,9	2,9-4,8	71,3

Математическая обработка экспериментальных данных позволила представить влияние температуры дымогенерации и степени разбавления копильного дыма воздухом на массу частиц определенного размера (Y_{Δ}) в виде системы уравнений (1-6). Полученные уравнения позволяют рассчитывать дисперсный состав копильного дыма в указанном диапазоне параметров дымогенерации.

$$\begin{cases} Y_{0,0-0,25} = 2,79 + 0,03X_1 - 3,47X_2 + 0,01X_1X_2, & (1) \\ Y_{0,26-0,75} = 10,02 + 0,06X_1 + 13,53X_2 - 0,56X_2^2 - 0,01X_1X_2, & (2) \\ Y_{0,76-1,5} = 85,04 - 0,11X_1 - 16,29X_2 - 4,07X_2^2 + 0,03X_1X_2, & (3) \\ Y_{1,6-2,5} = 1,34 + 0,01X_1 + 0,81X_2 - 0,56X_2^2 - 0,002X_1X_2, & (4) \\ Y_{2,6-4,0} = 0,39 + 0,01X_1 - 0,36X_2 + 0,37X_2^2 - 0,002X_1X_2, & (5) \\ Y_{5,0} = 2,01 + 0,02X_1 + 2,11X_2 + 0,56X_2^2 - 0,01X_1X_2, & (6) \end{cases}$$

где X_1 – температура в зоне дымообразования, °С;

X_2 – коэффициент избытка воздуха.

Анализ содержания копильных компонентов и ПАУ в дисперсных частицах различного размера копильного дыма, полученного при температуре 450°С и коэффициенте избытка воздуха 0,6, приведен в таблице 2.

Анализ экспериментальных данных показывает незначительные отклонения содержания копильных компонентов в частицах дисперсной фазы копильного дыма, в зависимости от размера частиц. Большинство копильных компонентов находилось в частицах дисперсной фазы размерами до 5 мкм.

Содержание ПАУ зависит от размера частиц дисперсной фазы копильного дыма нелинейно и, чем больше размер частиц дисперсной фазы копильного дыма, тем выше концентрация ПАУ. Удаление частиц размерами больше 5 мкм, перед его попаданием в копильную камеру, позволит уменьшить содержание ПАУ в дыме, используемом при копчении.

С целью изучения динамики дисперсного состава копильного дыма, в процессе копчения отбор проб осуществляли на различных этапах процесса обработки продукции копильным дымом (рис. 1):

- в дымогенераторе;
- после разбавления копильного дыма холодным воздухом;
- на входе в копильную камеру;
- на выходе из копильной камеры.

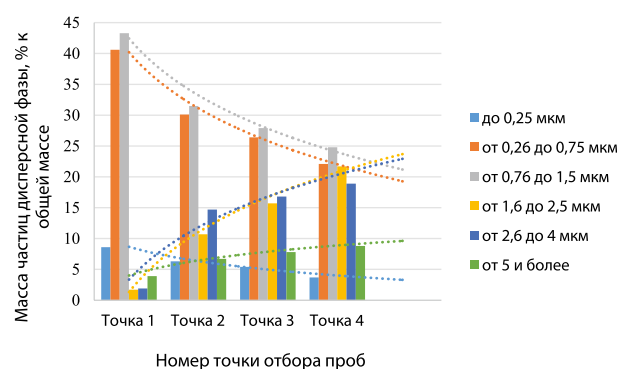


Рисунок 1. Распределение дисперсного состава копильного дыма на различных этапах процесса обработки продукции копильным дымом

Figure 1. Distribution of the dispersed composition of smoky smoke at various stages of the process of processing products with smoky smoke

В дымогенераторе копильный дым имеет достаточно высокую температуру – более 250°С. В верхней части дымогенератора происходит разбавление копильного дыма относительно холодным воздухом (температура 23-26°С, соотношение объемов около 1:1). Далее копильный дым перемещается по дымоводу диаметром 150 мм на расстояние до камеры 2,5 м со скоростью 0,5 м/с. В копильной камере в турбулентном режиме осуществляется обработка продукции копильным дымом. Частично дым удаляется из копильной камеры при той же скорости – 0,5 м/с. Динамика дисперсного состава копильного дыма в процессе копчения представлена на рисунке 1.

Оценка динамики дисперсного состава копильного дыма, в ходе копчения, показала, что масса частиц малого размера до 1,5 мкм имеет тенденцию к снижению, и в то же время масса частиц размерами от 1,6 до 4 мкм, соответственно, увеличивается, вследствие происходящих процессов коагуляции частиц, масса частиц размерами более 5 мкм в ходе копчения увеличивается не столь динамично, как массы частиц от 1,6 до 4 мкм, т.к. на эти частицы влияют две тенденции:

- увеличения массы за счет коагуляции;
- тенденция снижения массы за счет гравитационного осаждения частиц.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены закономерности формирования физико-химических характеристик коптильного дыма и динамики дисперсного состава коптильного дыма в процессе копчения. Полученные данные позволяют рассчитывать количество и соотношение частиц дисперсной фазы коптильного дыма при различных параметрах процесса копчения и, тем самым, регулировать массообменные процессы, происходящие при копчении продукции.

Проведен анализ дисперсного состава коптильного дыма в зависимости от параметров дымогенерации. Математическая обработка позволила получить уравнения регрессии зависимости распределения частиц различного диаметра к массовой концентрации от температуры в зоне дымообразования и коэффициента избытка воздуха.

Проведен анализ распределения основных коптильных компонентов и ПАУ по частицам дисперсной фазы коптильного дыма. Анализ данных показывает незначительные отклонения содержания коптильных компонентов в частицах дисперсной фазы коптильного дыма, в зависимости от размера частиц, большинство коптильных компонентов содержалось в частицах размерами менее 5 мкм. Содержание ПАУ зависит от размера частиц дисперсной фазы коптильного дыма нелинейно, с ростом частиц содержание ПАУ в них увеличивается. Удаление частиц размерами больше 5 мкм, перед его попаданием в коптильную камеру, позволит уменьшить содержание ПАУ в дыме, используемом при копчении.

Установлены закономерности динамики дисперсного состава коптильного дыма в процессе копчения. Масса частиц малого размера до 1,5 мкм имела тенденцию к снижению, масса частиц размерами от 1,6 до 4 мкм увеличивается, вследствие происходящих процессов коагуляции частиц. Масса частиц размерами более 5 мкм, в ходе копчения, увеличивается не столь динамично, т.к. на эти частицы влияют две тенденции: тенденция увеличения массы за счет коагуляции и тенденция снижения массы за счет гравитационного осаждения частиц.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад в работу авторов: **Э.Н. Ким** — идея работы, подготовка введения, заключения, окончательная проверка статьи; **Е.Г. Тимчук** — сбор и анализ данных, подготовка введения и заключения, математическая обработка данных, подготовка статьи; **Е.А. Заяц** — сбор и анализ данных, подготовка статьи; **Е.В. Глебова** — сбор и анализ данных, подготовка статьи; **Е.П. Лаптева** — сбор и анализ данных, подготовка статьи.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Contribution to the work of the authors: **E.N. Kim** — the idea of the work, preparation of the introduction, conclusion, final verification of the article; **E.G. Timchuk** — data collection and analysis, preparation of the introduction and conclusion, mathematical data processing, preparation of the article; **E.A. Zayats** — data collection and analysis, preparation of the article, **E.V. Glebova** — data collection and analysis, article preparation, **E.P. Lapteva** — data collection and analysis, article preparation.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ / REFERENCES AND SOURCES

1. Курко В.И. Физико-химические и химические основы копчения. – М.: Пищпромиздат, 1960. – 223 с.
1. Kurko V.I. Physico-chemical and chemical bases of smoking. – M.: Pishchpromizdat, 1960. – 223 p.
2. Воскресенский Н.А. Технология посола, копчения и сушки рыбы [Текст]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищпромиздат, 1958. – 547 с.
2. Voskresensky N.A. Technology of salting, smoking and drying fish [Text]. – 2nd ed., reprint. and additional – M.: Pishchepromizdat, 1958. – 547 p.
3. Хван Е.А. О роли дисперсионной среды дыма при копчении / Е.А. Хван, Б.Ф. Садовский, Н.А. Воскресенский // Рыбное хозяйство. – 1972. – № 6. – С.67-68.
3. Hwan E.A. On the role of the dispersion medium of smoke during smoking / E.A. Hwan, B.F. Sadovsky, N.A. Voskresensky // Fisheries. – 1972. – No. 6. – Pp.67-68.
4. Патент на полезную модель № 201949 U1 Российская Федерация, МПК A23B 4/044. Дымогенератор: № 2020128033: заявл. 20.08.2020: опубл. 21.01.2021 / Е.А. Заяц, Э.Н. Ким, В.И. Максимова, Е.Г. Тимчук; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет» (ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»).
4. Utility model Patent No. 201949 U1 Russian Federation, IPC A23B 4/044. Smoke generator: No. 2020128033: application 20.08.2020: publ. 21.01.2021 / E.A. Zayats, E.N. Kim, V.I. Maksimova, E.G. Timchuk; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Far Eastern State Technical University Fisheries University" (FGBOU VO "Dalrybvtuz").
5. Патент на полезную модель № 95467 U1 Российская Федерация, МПК A23B 4/052. Установка для бездымного копчения: № 2010108021/22: заявл. 04.03.2010: опубл. 10.07.2010 / Э.Н. Ким, Р.Н., Андреев, Е.В. Осипов, В.В. Максимов, Е.Г. Тимчук; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «ДымРАН» (ООО «ДымРАН»).
5. Utility model Patent No. 95467 U1 Russian Federation, IPC A23B 4/052. Installation for smokeless smoking: No. 2010108021/22: application 04.03.2010: publ. 10.07.2010 / E.N. Kim, R.N., Andreev, E.V. Osipov, V.V. Maksimov, E.G. Timchuk; applicant Limited Liability Company "DymRAN" (LLC "DymRAN").
6. Курко В.И. Методы исследования процесса копчения и копченых продуктов. М.: Пищепром, 1977. – 157 с.
6. Kurko V.I. Methods studies of the smoking process and smoked products. Moscow: Pi-shcheprom, 1977. – 157 p.