

Эдуард Николаевич Ким<sup>1</sup>, Евгений Александрович Заяц<sup>2✉</sup>, Егор Геннадьевич Тимчук<sup>3</sup>,  
Елена Велориевна Глебова<sup>4</sup>, Евгения Петровна Лаптева<sup>5</sup>

1,2,3,4,5Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

<sup>1</sup>kim.en@dgtru.ru

<sup>2</sup>www.ganya\_nic.ru@mail.ru

<sup>3</sup>timchuk.eg@dgtru.ru

<sup>4</sup>glebova.ev@dgtru.ru

<sup>5</sup>lapteva.ep@dgtru.ru

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАНЦЕРОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОПЧЕНОЙ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ

Цель исследования – разработка рекомендаций рациональных параметров дымогенерации, обеспечивающих качество и экологическую безопасность копченой рыбной продукции. Задачи: установить влияние параметров дымогенерации на оценку канцерогенности копченой продукции; оценить качество и безопасность копченой продукции, изготовленной при оптимальных параметрах дымогенерации; разработать рекомендации по обеспечению качества и безопасности копченой рыбной продукции. Исследования проводились на кафедре «Управление техническими системами» ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз» (г. Владивосток, Приморский край). Объект исследования – процесс дымогенерации. Применялись аналитические, физико-химические методы, методы математического моделирования. Для подготовки проб копильного дыма было подготовлено 10 кг опилок из ольхи с влажностью 30–35 %. При оптимальных режимах дымогенерации получены образцы корюшки горячего копчения. Общий органолептический показатель составил 5. Содержание индивидуальных полиароматических углеводородов составило: хризен – 71 нг/кг; бенз(а)антрацен – 70 нг/кг; бенз(б)флуорантен – 602 нг/кг; бенз(а)пирен – 64 нг/кг; бенз(е)пирен – 667 нг/кг; дибенз(а,с)антрацен – 57 нг/кг; дибенз(а,һ)антрацен – 69 нг/кг, что соответствует обобщенному показателю качества, равному 0,99 (очень хорошо). В ходе выполнения исследования было установлено влияние параметров дымогенерации на оценку канцерогенности копченой рыбной продукции, при этом подтверждена зависимость содержания индивидуальных полиароматических углеводородов от коэффициента избытка воздуха в зоне дымогенерации. Оптимальные режимы дымогенерации: температура дымогенерации 475 °С, коэффициент избытка воздуха – 0,4. Рациональные параметры дымогенерации: температура дымогенерации 450–500 °С, коэффициент избытка воздуха – 0,3–0,6.

**Ключевые слова:** копчение, канцерогенность, копченая продукция, экологическая безопасность, температура дымогенерации, коэффициент избытка воздуха

**Для цитирования:** Обеспечение канцерогенной безопасности копченой рыбной продукции / Э.Н. Ким [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 1. С. 235–243.

Eduard Nikolaevich Kim<sup>1</sup>, Evgeniy Aleksandrovich Zayats<sup>2✉</sup>, Egor Gennadievich Timchuk<sup>3</sup>,  
Elena Velorievna Glebova<sup>4</sup>, Evgenia Petrovna Lapteva<sup>5</sup>

1,2,3,4,5Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

<sup>1</sup>kim.en@dgtru.ru

<sup>2</sup>ganya\_nic.ru@mail.ru

<sup>3</sup>timchuk.eg@dgtru.ru

<sup>4</sup>glebova.ev@dgtru.ru

<sup>5</sup>lapteva.ep@dgtru.ru

## ENSURING CARCINOGENIC SAFETY OF SMOKED FISH PRODUCTS

*The purpose of the study is to develop recommendations for rational smoke generation parameters that ensure the quality and environmental safety of smoked fish products. Objectives: to establish the influence of smoke generation parameters on the assessment of the carcinogenicity of smoked products; to evaluate the quality and safety of smoked products produced under optimal smoke generation parameters; to develop recommendations to ensure the quality and safety of smoked fish products. Research was carried out at the department of Management of Technical Systems at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Dalrybtuz (Vladivostok, Primorsky Region). The object of the study is the process of smoke generation. Analytical, physical and chemical methods, and mathematical modeling methods were used. To prepare smoke-drying smoke samples, 10 kg of alder sawdust with a moisture content of 30–35 % was prepared. Hot smoked smelt samples were obtained under optimal smoke generation conditions. The overall organoleptic index was 5. The content of individual polyaromatic hydrocarbons was: chrysene – 71 ng/kg; benz(a)anthracene – 70 ng/kg; benz(b)fluoranthene – 602 ng/kg; benz(a)pyrene – 64 ng/kg; benz(e)pyrene – 667 ng/kg; dibenz(a,c)anthracene – 57 ng/kg; dibenz(a,h)anthracene – 69 ng/kg, which corresponds to a generalized quality index of 0.99 (very good). During the study, the influence of smoke generation parameters on the assessment of the carcinogenicity of smoked fish products was established, and the dependence of the content of individual polyaromatic hydrocarbons on the excess air coefficient in the smoke generation zone was confirmed. Optimal smoke generation modes: smoke generation temperature 475 °C, excess air coefficient – 0.4. Rational smoke generation parameters: smoke generation temperature 450–500 °C, excess air coefficient – 0.3–0.6.*

**Keywords:** smoking, carcinogenicity, smoked products, environmental safety, smoke generation temperature, excess air coefficient

**For citation:** Ensuring carcinogenic safety of smoked fish products / E.N. Kim [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(1): 235–243. (In Russ.).

**Введение.** Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 г. предусматривает обеспечение населения качественной и безопасной продукцией.

В области производства копченой рыбной продукции основной проблемой, препятствующей решению указанной задачи, является загрязнение обрабатываемого продукта полиароматическими углеводородами (ПАУ), содержащимися в коптильном дыме и обладающими канцерогенным, мутагенным и тератогенным эффектами [1]. Попытки замены коптильного дыма на коптильные препараты, не содержащие канцерогенные соединения, недостаточно эффективны из-за их неудовлетворительных технологических свойств [2].

Перспективным направлением решения указанной проблемы представляется изучение закономерностей формирования показателей безопасности коптильного дыма в процессе дымогенерации с целью определения рациональных параметров, позволяющих минимизировать риск образования полиароматических углеводородов при сохранении его свойств придавать копченому продукту характерный запах и вкус

копчения, окраску поверхности, стойкость к микробиальной и окислительной порче.

Вопросами содержания ПАУ в копченой продукции посвящены работы таких ученых, как Н.Д. Горелова, П.П. Дикун, Н.А. Долгина, И.Н. Ким, Э.Н. Ким, В.И. Курко, Н.А. Макарова, Т.Н. Радакова, В.Ф. Федонин, J. Lesage, J.A. Vaga, G. Ora, S. Onaran, K. Pottast и др., однако в известных работах отсутствует информация о закономерностях образования полиароматических углеводородов в процессе дымообразования, нет рекомендаций по содержанию и соотношению коптильных компонентов в дыме. Исходя из этого актуальность предложенных исследований не вызывает сомнений.

**Цель исследования** – разработка рекомендаций рациональных параметров дымогенерации, обеспечивающих качество и экологическую безопасность копченой рыбной продукции.

**Задачи:** установить влияние параметров дымогенерации на оценку канцерогенности копченой продукции; оценить качество и безопасность копченой продукции, изготовленной при оптимальных параметрах дымогенерации; разработать рекомендации по обеспечению качества и безопасности копченой рыбной продукции.

**Материалы и методы.** Для подготовки проб копильного дыма было подготовлено 10 кг опилок из ольхи с влажностью 30–35 %. Для этого в соответствии с ГОСТ 16483.7-71 «Древесина. Методы определения влажности» (с Изменениями № 1, 2, 3).

Температура пиролиза древесины измеряется инфракрасным термометром на поверхности щепы. Температура поверхности нагревательного пода дымогенератора измеряется термопарой, подключаемой к мультиметру.

Коэффициент избытка воздуха в области дымогенерации определяется как отношение объема подаваемого воздуха в зону дымогенерации к объему воздуха, необходимому для полного сгорания древесины. Объем подаваемого в область дымогенерации воздуха определяется по принципу закона сохранения объема, описываемого уравнением [3]

$$V = U \cdot S \cdot t, \quad (1)$$

где  $V$  – объем воздуха,  $m^3$ ;  $U$  – скорость потока воздуха,  $m/c$ ;  $S$  – площадь сечения,  $m^2$ ;  $t$  – время поступления воздуха,  $c$ .

Скорость потока воздуха определяется при помощи уравнения Бернулли [4]:

$$U = \sqrt{\Delta P \cdot \frac{S}{\rho}}, \quad (2)$$

где  $U$  – скорость потока воздуха;  $\Delta P$  – перепад давления,  $Pa$ ;  $S$  – площадь сечения воздухопровода,  $m^2$ ;  $\rho$  – плотность воздуха,  $kg/m^3$ .

Для определения перепада давления используется трубка Пито.

Содержание индивидуальных полиароматических углеводородов в пробах определяется методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в соответствии с ГОСТ 31745-2012 «Продукты пищевые. Определение содержания полициклических ароматических углеводородов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии».

Качество копченой продукции оценивается органолептическим методом с использованием балльных шкал (табл. 1).

Таблица 1

**Балльные шкалы для органолептической оценки копченой рыбной продукции**

Балльная оценка	Цвет	Вкус	Запах
5	Светло-золотистый	Вкус копчения без посторонних вкусов	Насыщенный запах копчения
4	Желтовато-золотистый. Насыщенный коричневый	Сильно выраженный вкус копченого продукта. Недостаток вкуса копчения в толще мяса	Минимальное наличие посторонних ароматов
3	Желтый. Темно-коричневый	Слабовыраженная горечь. Легкий недостаток вкуса копчения	Сильный посторонний запах
2	Бледно-желтый. Коричнево-черный	Горький. Слабовыраженный вкус копченой рыбы	Запах гари. Слабо выражен аромат копчения
1	Черный, с оттенками желтого. Белый, с оттенками желтого	Сильная горечь. Вкус печеной рыбы	Сильный запах гари. Отсутствует запах копчения

Общая органолептическая оценка находилась по известной методике [5].

Для обеспечения возможности регулировки температуры дымогенерации и коэффициента избытка воздуха в области дымогенерации был разработан экспериментальный дымогенератор [6].

Для оценки общей канцерогенности копченой рыбы была разработана модель оценки канцерогенности копильного дыма и копченой продукции и написана на ее основе программа для ЭВМ [7, 8]. Математическая обработка результатов выполнялась при помощи программного обеспечения TableCurve 3D. V. 2. Для перевода

различных величин к безразмерным использовалась функция желательности Харрингтона [9].

**Результаты и их обсуждение.** Оценка канцерогенности, рассчитанная при помощи модели оценки канцерогенности [8], по результатам количественного определения индивидуальных

канцерогенных полиароматических углеводородов в предоставленных пробах корюшки горячего копчения и ее органолептических показателей, полученных при обработке этим дымом, представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты эксперимента**

Номер опыта	Параметры дымогенерации		Характеристики рыбы горячего копчения	
	Температура, °С	Коэффициент избытка воздуха	Оценка канцерогенности, у. е.	Общая органолептическая оценка, баллы
1	475	0,5	801	5
2	475	0,3	912	5
3	475	1	1023	4
4	350	0	1114	4
5	600	0	1179	4,5
6	350	1	1320	3,5
7	278	0,5	1390	4
8	672	0,5	1451	3,5
9	600	1	1478	4,5
10	672	1	1523	4

Для наглядного изображения влияния температуры дымогенерации (X) и коэффициента избытка воздуха (Z) на канцерогенную оценку

(Y) при помощи ПО Table Curve был построен график (рис. 1), описанный уравнением

$$Y = 3882,4 - 12,67X - 288,74Z + 0,014X^2 + 574,33Z^2 - 0,27XZ. \quad (4).$$

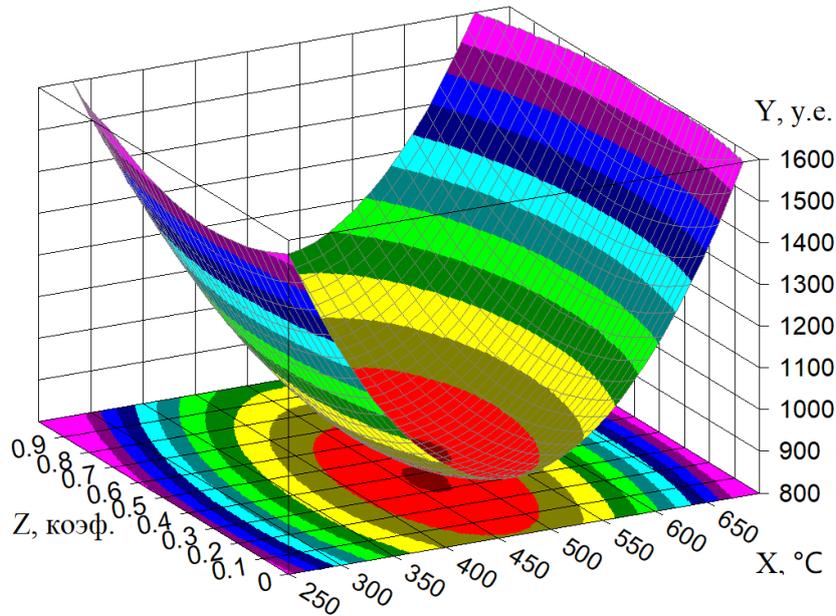


Рис. 1. Влияние температуры дымогенерации и коэффициента избытка воздуха на канцерогенную оценку копченой рыбы: Z – коэффициент избытка воздуха; X – температура пиролиза; Y – оценка канцерогенности

Для наглядного изображения влияния температуры дымогенерации (X) и коэффициента избытка воздуха (Z) на общую органолептическую

оценку (Y) был построен график (рис. 2), описанный уравнением

$$Y = -1,58 + 0,066X + 0,79Z - 7,15X^2 - 5,32Z^2 + 0,008XZ, \quad (5).$$

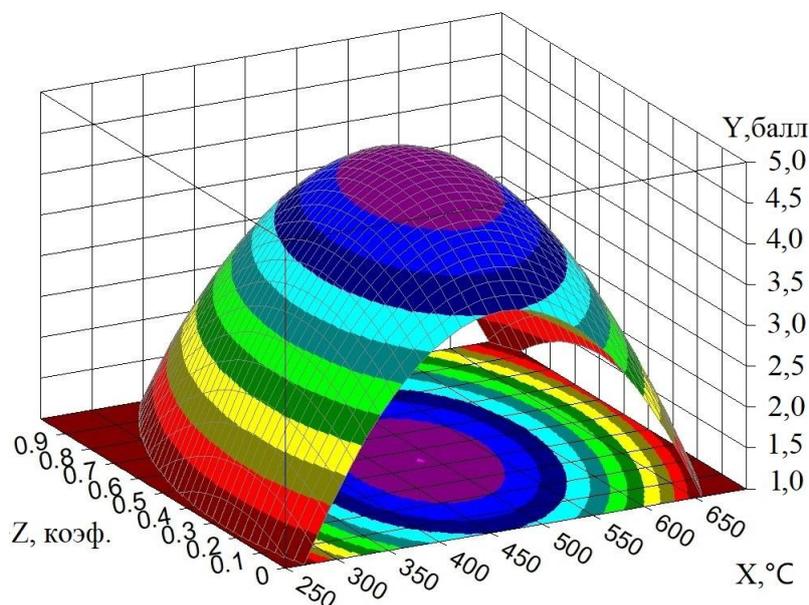


Рис. 2. Влияние температуры дымогенерации и коэффициента избытка воздуха на общую органолептическую оценку копченого полуфабриката

Графическая зависимость на рисунке 1 показывает наличие экстремального минимума канцерогенной оценки корюшки горячего копчения. Графическая зависимость, представленная на рисунке 2, показывает наличие экстремума общей органолептической оценки корюшки горячего копчения.

При анализе полученных результатов становится очевидно, что полученные уравнения качества и безопасности имеют различные коэффициенты, что делает невозможным установление рациональных режимов дымогенерации на основании этих уравнений. Для установления рациональных режимов дымогенерации необходимо на основании полученных сведений разработать модель оценки качества и безопасности копченой продукции, объединяющую показатели качества и безопасности в единое числовое значение.

Особенные органолептические свойства достигаются по причине наличия в копильном дыме определенных копильных компонентов, попадающих в результате копчения на поверхность и в толщу сырья. Основными копильными компонентами, формирующими свойства

копченой продукции, являются фенольные соединения, карбонильные соединения, органические кислоты и эфиры.

Качество копченой продукции оценивается ее потребительскими свойствами, т. е. оценкой органолептических характеристик и степенью ее безвредности. Органолептические характеристики копченой продукции оценивались по специально разработанной балльной шкале (см. табл. 1). Основным опасным фактором копченой рыбной продукции является наличие в ней канцерогенных ПАУ типа БП. Общую оценку канцерогенности рассчитывали с учетом количества индивидуальных ПАУ в образцах копченой рыбы с учетом их канцерогенной активности [8].

Норма общей канцерогенности по результатам оценки канцерогенности копченой продукции с учетом перечня ПАУ находится в диапазоне 0–1226,99 у. е.

Исследуемые характеристики выражаются в различных единицах. Для того чтобы получить объективную оценку содержания различных соединений, необходимо привести исследуемые факторы к безразмерным величинам при помощи функции желательности Харрингтона [7].

График перевода оценки канцерогенности и общей органолептической оценки копченого полуфабриката в безразмерные величины изображен на рисунке 3.

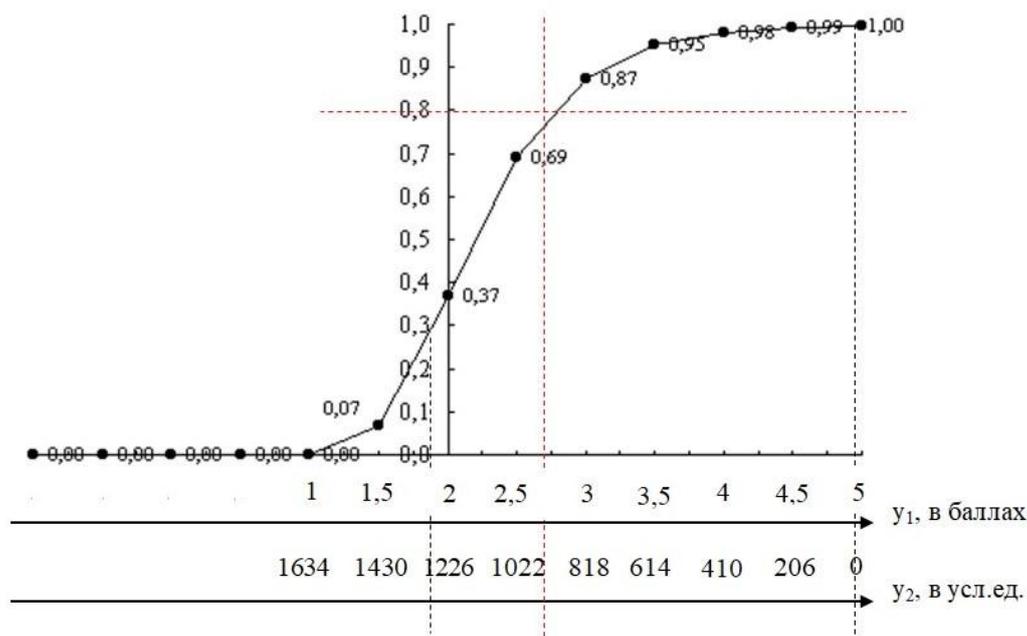


Рис. 3. График перевода оценки канцерогенности и органолептической оценки корюшки горячего копчения в безразмерные величины

Для оценки обобщенной функции желательности рассчитывали параметр оптимизации – качество копченой рыбы по формуле

$$D = \sqrt{y_1 \times y_2}, \quad (7)$$

где  $y_1$  – общая органолептическая оценка корюшки горячего копчения;  $y_2$  – канцерогенность копченого полуфабриката.

Использование уравнения (7) позволило рассчитать по данным таблицы 2 значения качества рыбы горячего копчения в зависимости от температуры и коэффициента избытка воздуха дымогенерации (табл. 3).

Таблица 3

**Результаты оценки качества рыбы горячего копчения**

Номер опыта	Параметры дымогенерации		Обобщенный показатель качества копченой рыбы, у. ед.
	Температура дымогенерации, °С	Коэффициент избытка воздуха	
1	475	0,5	0,93
2	475	0,3	0,89
3	475	1	0,78
4	350	0	0,71
5	600	0	0,66
6	350	1	0,47
7	278	0,5	0,36
8	672	0,5	0,26
9	600	1	0,23
10	672	1	0,19

Математический анализ табличных данных позволил построить уравнение регрессии, описывающее зависимость качества рыбы горячего копчения (Y) от параметров дымогенерации (температура (X) и коэффициент избытка воздуха (Z)):

$$Y = -2,22 + 0,013X + 0,14Z - 0,35Z^2 \quad (8).$$

Согласно стандартной шкале желательности, желательность «очень хорошо» начинается со значения желательности в условных единицах, равного 0,80. Таким образом, рациональные значения параметров дымогенерации будут достигнуты при достижении оценки качества копченого полуфабриката значения 0,80.

Математический анализ полученного уравнения регрессии, исходя из указанных граничных значений, позволил рассчитать диапазон параметров дымогенерации, обеспечивающий высокое качество рыбы горячего копчения (0,8–1,0): температура дымогенерации должна быть 400–500 °С при коэффициенте избытка воздуха, равном 0,3–0,6.

Графическое представление математической зависимости качества рыбы горячего копчения представлено на рисунке 4, который показывает зоны различного качества рыбы. Оптимальные режимы дымогенерации, обеспечивающие наилучшие показатели качества и безопасности: температура дымогенерации – 475 °С, коэффициент избытка воздуха – 0,4.

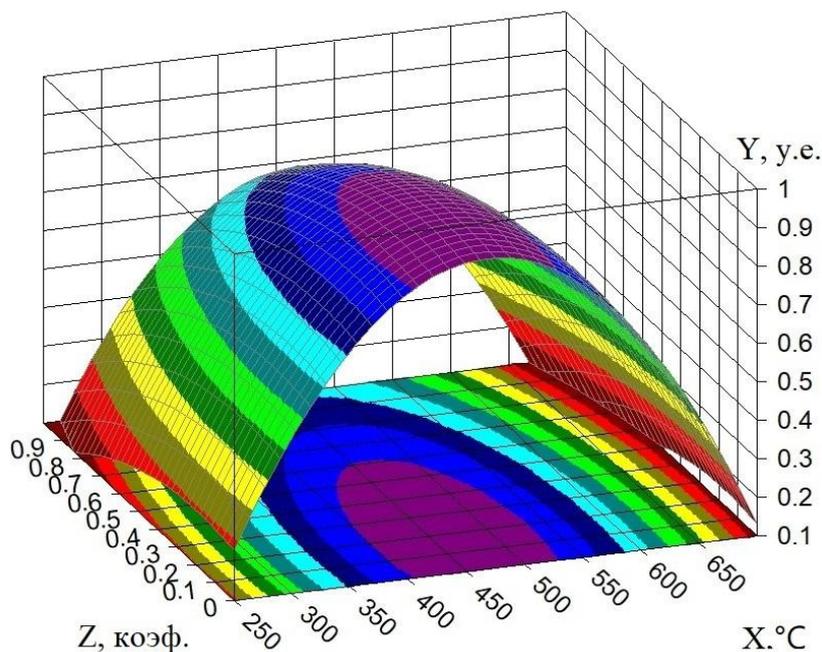


Рис. 4. Влияние температуры дымогенерации и коэффициента избытка воздуха на качество рыбы горячего копчения

При оптимальных режимах дымогенерации полученным дымом обрабатывалась корюшка горячего копчения. Общая органолептическая оценка продукта составляла 5 баллов, оценка канцерогенности продукта показала содержание индивидуальных полиароматических углеводородов: хризен – 71 нг/кг; бенз(а)антрацен – 70; бенз(б)флуорантен – 602; бенз(а)пирен – 64; бенз(е)пирен – 667; дибенз(а,с)антрацен – 57; дибенз(а,һ)антрацен – 69 нг/кг; дибенз(а,і)пирен – не обнаружен.

Оценка канцерогенности корюшки горячего копчения составила 201,85, что подтверждает результаты математического анализа уравнения регрессии.

Из полученных сведений следует, что рациональными параметрами дымогенерации для достижения высокого уровня качества копченой продукции является температура пиролиза древесины 400–500 °С и коэффициент избытка воздуха 0,3–0,6. Оптимальные режимы дымогенерации, обеспечивающие наилучшие показате-

тели качества и безопасности: температура дымогенерации – 475 °С, коэффициент избытка воздуха – 0,4.

Вероятно, это связано с природой пиролиза древесины – протеканием окислительных процессов, основанных на энергетическом обмене с образованием новых соединений. Кислород является основным катализатором окисления и источником энергии при реакции.

Проведенные экспериментальные и теоретические исследования позволили разработать практические рекомендации по оптимизации процесса дымогенерации, обеспечивающие высокое качество и повышение канцерогенной безопасности копченой рыбной продукции:

1. Коэффициент избытка воздуха в области дымогенерации рекомендовано соблюдать 0,3–0,6 для умеренного протекания окислительных реакций. При этом необходимо своевременное удаление первичных продуктов пиролиза древесины – копильного дыма и золы во избежание протекания вторичных реакций с образованием полиароматических углеводородов.

2. Осуществлять пиролиз древесины рекомендовано при температуре 400–500 °С при соблюдении равномерной температуры нагрева топлива, без допуска возникновения очагов повышенной температуры внутри объема топлива. Для этого топливо должно располагаться тонким слоем, своевременно удаляться и, по возможности, перемешиваться.

### Заключение

1. В ходе выполнения работы было установлено влияние параметров дымогенерации на оценку канцерогенности копченой продукции. При этом подтверждена зависимость содержания индивидуальных полиароматических углеводородов от коэффициента избытка воздуха в зоне дымогенерации. Оптимальные режимы дымогенерации: температура дымогенерации – 475 °С, коэффициент избытка воздуха – 0,4. Рациональные параметры дымогенерации: температура дымогенерации 450–500 °С, коэффициент избытка воздуха – 0,3–0,6.

2. При оптимальных режимах дымогенерации получены образцы корюшки горячего копчения. Общий органолептический показатель составил 5. Содержание индивидуальных полиароматических углеводородов составило: хри-

зен – 71 нг/кг; бенз(а)антрацен – 70; бенз(б)флуорантен – 602; бенз(а)пирен – 64; бенз(е)пирен – 667; дибенз(а,с)антрацен – 57; дибенз(а,һ)антрацен – 69 нг/кг, что соответствует обобщенному показателю качества, равному 0,99 (очень хорошо).

3. Для обеспечения качества и безопасности копченой рыбной продукции рекомендовано соблюдать коэффициент избытка воздуха в области дымогенерации в диапазоне 0,3–0,6, осуществлять пиролиз древесины рекомендовано при температуре 400–500 °С при соблюдении равномерной температуры нагрева топлива, без допуска возникновения очагов повышенной температуры внутри объема топлива.

### Список источников

1. Заридзе Д.Г. Канцерогенез. М., 2000. 420 с.
2. Селунский В.В., Чуринов В.Ю. Оптимизация процесса электростатического копчения бездымным способом // Вестник КрасГАУ. 2013. № 1. С. 153–159.
3. Справочная книга техник-энергетиков. Т. 4. Тепловая энергетика / под ред. Г.Р. Иванова, В.И. Глухого. М., 1977. С. 295.
4. Физика: учебник для 10–11-х классов / под ред. А.В. Перышкина, В.Ф. Склера, Н.И. Федоткина. М., 2008. С. 381.
5. Холоша О.А. Формирование качества рыбных продуктов: монография. Владивосток, 2011. 181 с.
6. Пат. 201949 U1 Российская Федерация, МПК А23В 4/052. Дымогенератор / Заяц Е.А., Ким Э.Н., Максимова В.И., Тимчук Е.Г.; заявитель Дальрыбвтуз. № 2020128033; заявл. 20.08.2020; опубл. 21.01.2021.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680249 Российская Федерация. Расчет оценки канцерогенности копильного дыма и копченой продукции / Заяц Е.А., Ким Э.Н.; заявитель Дальрыбвтуз. № 2022668596; заявл. 10.10.2022; опубл. 28.10.2022.
8. Заяц Е.А., Ким Э.Н. Модель оценки канцерогенности копильного дыма и копченой продукции // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 10 (112). С. 47–50.
9. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.

References

1. Zaridze D.G. Kancerogenez. M., 2000. 420 s.
2. Selunskij V.V., Churin V.Yu. Optimizaciya processa `elektrostaticheskogo kopcheniya bez-dymnym sposobom // Vestnik KrasGAU. 2013. № 1. S. 153–159.
3. Spravochnaya kniga tehnik-`energetikov. T. 4. Teplovaya `energetika / pod red. G.R. Ivanova, V.I. Gluhogo. M., 1977. S. 295.
4. Fizika: uchebnik dlya 10-11-h klassov / pod red. A.V. Peryshkina, V.F. Sklyara, N.I. Fedotkina. M., 2008. S. 381.
5. Holosha O.A. Formirovanie kachestva rybnyh produktov: monografiya. Vladivostok, 2011. 181 s.
6. Pat. 201949 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK A23B 4/052. Dymogenerator / Zayac E.A., Kim `E.N., Maksimova V.I., Timchuk E.G.; zayavitel' Dal'rybvtuz. № 2020128033; zayavl. 20.08.2020; opubl. 21.01.2021.
7. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya `EVM № 2022680249 Rossijskaya Federaciya. Raschet ocenki kancerogennosti koptil'nogo dyma i kopchenoj produkcii / Zayac E.A., Kim `E.N.; zayavitel' Dal'rybvtuz. № 2022668596; zayavl. 10.10.2022; opubl. 28.10.2022.
8. Zayac E.A., Kim `E.N. Model' ocenki kancerogennosti koptil'nogo dyma i kopchenoj produkcii // Nauka i biznes: puti razvitiya. 2020. № 10 (112). S. 47–50.
9. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskij Yu.V. Planirovanie `eksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij. M.: Nauka, 1976. 280 s.

Статья принята к публикации 01.11.2023 / The article accepted for publication 01.11.2023.

Информация об авторах:

**Эдуард Николаевич Ким**<sup>1</sup>, заведующий кафедрой управления техническими системами, доктор технических наук, профессор

**Евгений Александрович Заяц**<sup>2</sup>, аспирант кафедры управления техническими системами

**Егор Геннадьевич Тимчук**<sup>3</sup>, доцент кафедры управления техническими системами, кандидат технических наук, доцент

**Елена Велориевна Глебова**<sup>4</sup>, доцент кафедры управления техническими системами, кандидат технических наук, доцент

**Евгения Петровна Лаптева**<sup>5</sup>, доцент кафедры управления техническими системами, кандидат технических наук, доцент

Information about the authors:

**Eduard Nikolaevich Kim**<sup>1</sup>, Head of the Department of Technical Systems Management, Doctor of Technical Sciences, Professor

**Evgeniy Aleksandrovich Zayats**<sup>2</sup>, Postgraduate student at the Department of Technical Systems Management

**Egor Gennadievich Timchuk**<sup>3</sup>, Associate Professor at the Department of Technical Systems Management, Candidate of Technical Sciences, Docent

**Elena Velorievna Glebova**<sup>4</sup>, Associate Professor at the Department of Technical Systems Management, Candidate of Technical Sciences, Docent

**Evgenia Petrovna Lapteva**<sup>5</sup>, Associate Professor at the Department of Technical Systems Management, Candidate of Technical Sciences, Docent

