

УДК 664.8/9.034

## Установка электростатического копчения с индуктивным подводом энергии при дымогенерации в среде инертного газа

Д-р техн. наук **С.В. Шахов**, s.shahov@mail.ru,  
канд. техн. наук **О.В. Мальцева**, o.mal85@mail.ru  
аспирант **И.Н. Сухарев**, i.suxarev@yandex.ru,  
аспирант **С.Ю. Шубкин**, shubkin.92@mail.ru

Воронежский государственный университет инженерных технологий  
394000, г. Воронеж, пр-т Революции, 19

*В статье представлена установка электростатического копчения с индуктивным подводом энергии при дымогенерации в среде инертного газа, которая полностью отвечает современным направлениям в развитии пищевой промышленности. Использование электростатического поля — прогрессивный технический прием, позволяющий интенсифицировать различные процессы обработки пищевых сред. В основу этих перспективных технических решений, реализующих научные исследования процесса электростатического копчения при дымогенерации в среде инертного газа с индуктивным подводом энергии, положены следующие теоретические принципы и подходы. Использование при дымогенерации путем пиролиза древесных опилок в качестве инертного газа азота, полученного путем баромембранного разделения воздуха в генераторе инертного газа мембранного типа на полупроницаемых мембранах под давлением 0,5-4 МПа, позволяет получить копильную газоздушную смесь из воздуха с повышенным содержанием азота для ее использования при дымогенерации. Это исключает опасность возгорания древесных опилок и обеспечивает высокую скорость образования дыма. Применение подогревателя воздуха перед генератором инертного газа мембранного типа дает возможность интенсифицировать процесс разделения воздуха на мембранах и повысить удаление влаги из опилок в зоне их подогрева и подсушки. Кроме того, благодаря согласованной работе дымогенератора и аппарата для копчения с регулируемым электростатическим полем, увеличивается производительность оборудования за счет точной корректировки высокого напряжения на коронирующих электродах в зависимости от плотности дымовоздушной смеси, что позволяет получить готовый продукт стабильно высокого качества.*

*Представленная установка позволяет не только проводить процесс копчения в широких диапазонах температур в зоне дымогенерации, но и за счет конструкции дымогенератора получать однородную и стабильную дымовоздушную смесь, которая очищается от канцерогенных компонентов за счет фильтра и насыщает ароматом дыма поры продукта, приводя к получению более качественной и однородной продукции.*

**Ключевые слова:** электростатическое копчение; дымовоздушная смесь; показания вольтметра; генератор; зона дымогенерации; пиролиз опилок.

---

## Installation of electrostatic smoking with an inductive supply of energy at a dymogeneration in the environment of inert gas

Ph.D. **Sergei V. Shakhov**, s.shahov@mail.ru  
Ph.D. **Olesya V. Maltceva**, o.mal85@mail.ru  
PhD student **Igor' N. Sukharev**, i.suxarev@yandex.ru,  
PhD student **Sergei Y. Shubkin**, shubkin.92@mail.ru

Voronezh State University of Engineering Technologies  
394000, Voronezh, Prospect Revolution, 19

*Use of an electrostatic field the progressive technique allowing to intensify various processing of food environments. Thus the following theoretical principles and approaches are put in a basis of the perspective technical solutions realizing scientific researches of process of electrostatic smoking at a dymogeneration in*

*the environment of inert gas with an inductive supply of energy. Use at a dymogeneration by pyrolysis of wood sawdust as inert gas of the nitrogen received by baromembranny division of air in the generator of inert gas of membrane type on semipermeable membranes under pressure of 0,5-4 MPa allows to receive koptilny air-gas mix from air with the raised content of nitrogen, for its use at a dymogeneration that excludes danger of ignition of wood sawdust and provides the high speed of formation of a smoke. Application of a heater of air in front of the generator of inert gas of membrane type allows to intensify process of division of air on membranes and to increase efficiency of removal of moisture from sawdust in a zone of their heating and subdrying, and also provides increase of productivity of the equipment for the coordinated work of a smoke generator and the device for smoking with an adjustable electrostatic field, due to exact regulation of a high voltage on the koroniruyushchikh electrodes depending on density of air-flue mix that allows to receive steadily quality ready-made product. The presented installation of electrostatic smoking with an inductive supply of energy at a dymogeneration in the environment of inert gas completely answers the modern trends of development of the food industry. The developed design of installation allows not only to carry out process of smoking in the wide ranges of temperatures in a dymogeneration zone, but also at the expense of a design of a smoke generator to receive uniform and stable air-flue mix which at the expense of the filter is cleared of cancerogenic components and sates with aroma of a smoke of a time of a product that leads to receiving better and uniform production.*

**Keywords:** electrostatic smoking; air-flue mix; indications of the voltmeter; generator; dymogeneration zone; pyrolysis of sawdust.

Копченые мясные изделия и сыры всегда привлекают потребителей своим неповторимым вкусом и ароматом, пользуясь устойчивым спросом. В результате осаждения дыма на поверхности происходит ее окрашивание в коричнево-золотистые тона, а за счет проникновения его компонентов внутрь, продукт приобретает специфический аромат и вкус копчения. Кроме того, достигается бактериальный и антиокислительный эффект, что позволяет продуктам хорошо сохраняться при повышенных температурах. При этом обычно копчению подвергаются жирные сыры (45...60% жира в сухом веществе) [1, 2, 3].

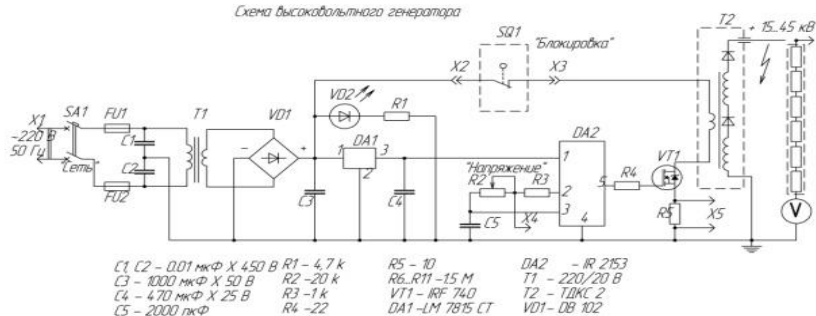
Предпочтительным способом создания сыров и мясных изделий с ароматом дыма является электростатическое копчение, обладающее неоспоримыми преимуществами перед копчением традиционными способами. К ним можно отнести небольшой расход электроэнергии и древесины; минимальный риск осаждения на поверхности продукта опасных для здоровья человека продуктов неполного сгорания древесины; возможность копчения сыра без предварительной длительной обсушки и получения продукта стандартного качества; увеличение выхода продукта за счет снижения потери влаги во время копчения; отсутствие дополнительной тепловой обработки, которая может вызвать изменение структуры и консистенции продукта, его органолептические показатели и микробиологическое состояние, а также денатурацию и распад основных органических соединений [4, 5, 6].

В связи с этим в основу разработки конструкции установки электростатического копчения с индуктивным подводом энергии при дымогенерации в среде инертного газа были положены следующие требования [7, 8, 9]. Для повышения качества и эффективности копчения, снижения энергетических затрат, расширения ассортимента продукции установка должна варьировать следующие параметры процесса электрокопчения: температуру дымовоздушной смеси, скорость дымовоздушной смеси, напряженность электрического поля, оптическую плотность дымовоздушной смеси, относительную влажность дымовоздушной смеси, температуру пиролиза опилок в дымогенераторе [10, 11]. С учетом данных требований была разработана установка электростатического копчения с индуктивным подводом энергии при дымогенерации в среде инертного газа (рисунок 1), включающая в себя камеру электростатического копчения 1, которая представляет собой герметичный корпус 2, сваренный из листовой стали [12].

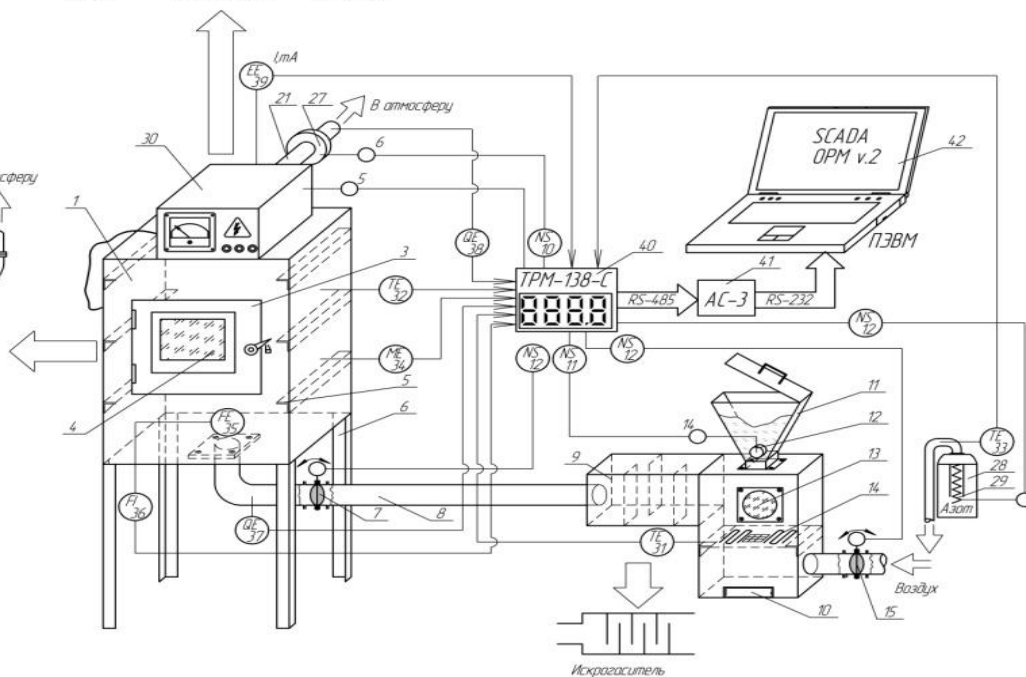
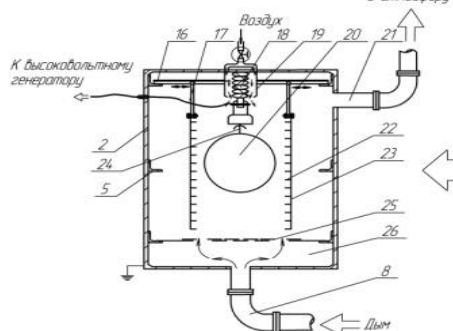


Рисунок 1 – Установка электростатического копчения с индуктивным подводом энергии при дымогенерации в среде инертного газа

Схема высоковольтного генератора



Камера электростатического копчения



Камера 2 снабжена герметичной дверью 3, через которую осуществляется загрузка-выгрузка продукта, а также очистка, обслуживание и ремонт различного внутреннего оборудования. Дверь 3 оборудована окном 4 для осуществления визуального контроля над процессом копчения в электростатическом поле. На боковых стенках камеры предусмотрены уголки 5, предназначенные для крепления коронирующих электродов, дымораспределительных жалюзей и необходимой контрольно-измерительной аппаратуры.

Коптильная камера установлена на стойках 6, изготовленных из металлического профиля. Поворотная задвижка 7, размещенная на трубопроводе 8, позволяет изменять расход дымовоздушной смеси в камеру 2. Данный трубопровод присоединен к лабиринтному искрогасителю 9, предназначенному для улавливания частиц золы и пепла, которые имеют малые размеры и потому могут уноситься потоком из дымогенератора. Более крупные частицы скапливаются в нижней его части (зольнике) и удаляются через дверцу 10 после окончания процесса копчения.

Опилки в дымогенератор подаются из бункера 11, снабженного роторным питателем с шаговым электродвигателем 12. Данная конструкция обеспечивает равномерность подачи опилок в зону дымогенерации, что позволяет достигать постоянную концентрацию дымовоздушной смеси на протяжении всего процесса копчения. Для визуального контроля над процессом дымообразования в боковой стенке корпуса дымогенератора предусмотрено смотровое окно 13, выполненное из термостойкого стекла. Нагрев опилок осуществляется от смешанных с ними ферромагнитных частиц посредством источника индуктивной энергии 14. Заслонка 15 служит для регулирования расхода свежего воздуха, поступающего в дымогенератор [14].

Внутри корпуса 2, в верхней его части, размещены направляющие 16, по которым могут свободно перемещаться подвесы 17 для коронирующих электродов. Такая конструкция дает возможность варьировать расстояние между электродами и продуктом. Посередине расположен высоковольтный изолятор 18, заключенный в защитный корпус 19, также выполненный из изоляционного материала.

Во внутреннем объеме защитного корпуса 19 поддерживается избыточное давление, за счет подачи в него чистого воздуха с малым расходом. Выходя через кольцевой зазор, образованный отверстием в защитном корпусе 19 и изолятором 18, воздух препятствует проникновению внутрь дымовоздушной смеси, что предотвращает загрязнение изолятора 18 оседающими на нем копильными веществами. К изолятору 18 подвешивается продукт 20.

Камера 1 снабжена выходным трубопроводом 21 для отвода отработанной дымовоздушной смеси. Для формирования устойчивого коронного разряда служат металлические иглы 22, укрепленные на токопроводящей пластине 23 и образующие вместе с ней коронирующие электроды.

Роль пассивного электрода выполняет продукт, к которому прикладывается высокое напряжение через подвес 24. Дымовоздушная смесь поступает через распределительные жалюзи 25 из нижней части камеры 26, в которую она, в свою очередь, подается по входному трубопроводу 13.

Дымораспределительные жалюзи 25 представляют собой набор перекрывающихся подвижных металлических пластин, лежащих на стальных угловых профилях. При проведении экспериментов, перемещая эти пластины, можно создавать щелевые зазоры и направлять потоки дымовоздушной смеси в различные зоны копильной камеры.

Движение дымовоздушной смеси во всей установке обеспечивает дымосос 27, представляющий собой осевой вентилятор, установленный в выходном трубопроводе 21, для отвода отработанного дыма из копильной камеры 1 [15].

Для изменения состава воздушной смеси, подаваемой в дымогенератор, путем подмешивания в нее газообразного азота служит сосуд Дьюара 28, в котором предусмотрена система подогрева жидкого азота 29 для обеспечения его испарения и последующего повышения температуры газообразного азота [13].

Установка для копчения пищевых продуктов в электростатическом поле снабжена высоковольтным генератором 30.

Конструкция достаточно проста и не требует специальной наладки. Генератор обладает высокими эксплуатационными характеристиками за счет применения современных электронных компонентов. Так в качестве элемента ключа TV1 используется MOSFET-транзистор типа IRF740 или его аналог – IRF840. Задающий генератор выполнен на микросхеме IR2153 либо на ее аналогах – IR2151 и IR2152. Микросхема представляет собой драйвер MOSFET-транзисторов со встроенным генератором. Такая конструкция позволяет получить высокий КПД всего устройства при невысокой его стоимости.

Значение напряжения на выходе высоковольтного генератора визуальным образом контролируется по показаниям вольтметра, подключенного через цепочку гасящих резисторов R6...R11. Управление напряжением осуществляется либо реостатом R2, либо от прибора ТРМ-138, подключенного к разъему Х4. Коронный ток контролируется путем измерения падения напряжения на резисторе R7, с помощью прибора ТРМ-138, подключенного к разъему Х5.

Генератор позволяет получать напряжение в диапазоне 15...45 кВ. В целях обеспечения безопасности при работе с установкой предусмотрена блокировка включения генератора при открытой дверце коптильной камеры с помощью концевого выключателя SQ1, подключенного к разъемам Х2 и Х3.

Установка электростатического копчения с индуктивным подводом энергии при дымогенерации в среде инертного газа оборудована современными средствами автоматического управления и контроля.

Температура в зоне дымогенерации измеряется посредством термоэлектрического преобразователя 31 (ТП) типа дТПЛ (ХК), модель дТПЛ164-10.0/5 (сертификат соответствия № 03.009.0104). Данный термоэлектрический преобразователь производится ПО «ОВЕН», имеет класс допуска 2 и рассчитан на измерение температуры в диапазоне 300...800°C с погрешностью  $\pm (0,7^\circ\text{C} + 0,005T)$ , что является вполне приемлемым для измерения и регулирования температуры пиролиза опилок в зоне дымогенерации.

Температура в коптильной камере 1 измеряется при помощи термопреобразователя сопротивления 32 (ТС) типа дТСМ, модель дТСМ014-50М.В3.20/5 (сертификат соответствия № 03.009.0105). Данный термоэлектрический преобразователь также производится ПО «ОВЕН», имеет класс допуска В и рассчитан на измерение температуры в диапазоне  $-50...150^\circ\text{C}$  с погрешностью  $\pm (0,25^\circ\text{C} + 0,0035T)$ . Это является вполне приемлемым для измерения температуры в коптильной камере 1, поскольку данный параметр является предметом проводимых исследований. Температура подаваемого в коптильную камеру 1 газообразного азота измеряется аналогично при помощи термопреобразователя сопротивления 33 (ТС) типа дТСМ.

Контроль влажности в коптильной камере производился при помощи измерительного преобразователя влажности 34 серии ИПТВ-056, модель ИПТВ-056/2/М3-01/160/0...50/К-Б, производства предприятия НПП «ЭЛЕМЕР», созданного на базе подразделений ГП «ВНИИФТРИ» (СКБ, Опытный Завод, ЦСМ) Госстандарта России. Измерительный преобразователь влажности серии ИПТВ-056 внесен в Государственный реестр средств измерения РФ (сертификат № 2860) за номером №16447-97, ТУ 4227-005-1328997-97 и допущен к применению в Российской Федерации. Прибор предназначен для преобразования значения влажности газовых сред в непрерывный линейный электрический сигнал 0...5 мА по ГОСТ 26.011-80. Принцип измерения влажности основан на измерении электрической емкости чувствительного элемента и преобразовании этого изменения в электрический сигнал с учетом компенсации температурной зависимости. При этом диапазон измерений и преобразований относительной влажности составляет 0...100%, а предел абсолютной погрешности измерений  $\pm 2\%$ .

Измерение скорости дымовоздушной смеси на входе в коптильную камеру проводилось электронным анемометром «VELOCITOR™» модель AM50. Анемометр состоит из датчика 35,

размещенного в коптильной камере и представляющего собой осевой вентилятор. Датчик посредством гибкого кабеля соединен с электронным блоком 36, снабженным цифровым семисегментным индикатором, отображающим численное значение скорости потока. Измерительный диапазон прибора составляет 0.3...45 м/с при абсолютной погрешности не более  $\pm 0,1$  м/с.

Определение концентрации дымовоздушной смеси ведется с использованием фотометрического метода, основанного на измерении интенсивности поглощения светового потока при прохождении им через толщу дымовоздушной смеси. В качестве датчиков 37 и 38 для измерения концентрации дымовоздушной смеси на входе и выходе коптильной камеры соответственно используется измеритель дыма типа АИД-210 «Энергия». Данный прибор является одноканальным фотометром. Пределы измерения 0...50% дымности. Выходной сигнал – электрический токовый 0...5 мА (согласно ГОСТ 26.011-80).

Мощность высоковольтного генератора измеряется датчиком 39.

Сбор показаний с датчиков осуществляется многоканальным цифровым измеритель-регулятором 40 марки ТРМ-138-С, разработанным Российским производственным объединением «ПО ОВЕН». Прибор сертифицирован (сертификат об утверждении типа средств измерений RU.C.32.004A № 16445), имеет восемь независимых универсальных настраиваемых аналоговых входов. В зависимости от установленных настроек на входы прибора можно подключать термопреобразователи сопротивления, термоэлектрические преобразователи или датчики, имеющие на выходе унифицированный токовый сигнал 0...5 мА (согласно ГОСТ 26.011-80). ТРМ-138 имеет восемь выходов, каждый из которых представляет собой семисторную оптопару рассчитанную на коммутацию нагрузки, потребляющей ток не более 50 мА при напряжении до 300 В. Кроме того, прибор оборудован цифровым интерфейсом связи промышленного стандарта RS-485 для связи с рабочей станцией (ПЭВМ). Через адаптер 41 интерфейсов ОВЕН-АС3 (сертификат соответствия № 0000847), который выполняет функцию согласования интерфейса RS-485 с последовательным интерфейсом RS-232 (COM-порт) персонального компьютера 42. Поступающие таким образом данные обрабатываются в SCADA-системе OWEN PROCESS MANAGER OPM v.2, которая может реализовывать весь комплекс функций по контролю и управлению технологическим процессом.

В таблице 1 приведено соответствие показаний фотометра (оптической плотности, %) и массовой концентрации коптильных компонентов в газовой фазе дымовоздушной смеси.

Таблица 1 – Соответствие оптической плотности реальным значениям концентрации коптильных веществ

Оптическая плотность, %	Концентрация коптильных веществ, г/м <sup>3</sup>
20	0,12
25	0,33
30	0,53
35	0,75
40	0,91

SCADA-системы OPM v.2 обладает следующими функциями:

- построение простейшей мнемосхемы технологического процесса;
- отображение любых доступных параметров приборов в виде таблиц, графиков (с задаваемой периодичностью), линейных или стрелочных индикаторов;
- выдача сообщений о выходе параметров за заданные границы;
- сбор информации и управление параметрами приборов;
- архивирование в реальном времени любых доступных параметров приборов с заданной периодичностью;
- контроль работоспособности и диагностика приборов;

- просмотр архива измерений за любой промежуток времени в табличном и графическом виде с помощью подсистемы OWEN REPORT VIEWER v.2.

Установка электростатического копчения с индуктивным подводом энергии при дымогенерации в среде инертного газа (рисунок 1) работает следующим образом. Включают дымосос 27, затем в коптильную камеру 1 через дверь 3 загружается продукт 20. Далее бункер роторного питателя 11 загружают предварительно увлажненными опилками древесины лиственных пород при отсутствии в их составе крупных щеп. Затем включают источник индуктивного нагрева 14 дымогенератора, после чего кратковременным включением шагового электродвигателя 12 производят дозирование порции опилок в зону пиролиза дымогенератора. Через смотровое окно 13 ведется визуальный контроль процесса дымогенерации, при этом не следует допускать воспламенения опилок.

После окончания процесса копчения выключение установки производят в обратном порядке. Сначала отключают источник индуктивного нагрева 14 дымогенератора, затем необходимо дождаться пока дымососом 1 будет удалена вся дымовоздушная смесь из коптильной камеры 1 дымогенератора и трубопроводов 8, после чего отключают высоковольтный генератор 30 и через дверцу 3 извлекают продукт из камеры 1.

Предлагаемая установка имеет следующие преимущества:

- позволяет получать напряжение в диапазоне 15...45 кВ за счет генератора;
- оборудована современными средствами автоматического управления и контроля;
- имеет возможность измерения температуры в зоне дымогенерации измеряющиеся посредством термоэлектрического преобразователя, который имеет класс допуска 2 и рассчитан на измерение температуры в диапазоне 300...800°C с погрешностью  $\pm (0,7^\circ\text{C} + 0,005\text{T})$ ;
- позволяет измерять температуру в коптильной камере за счет наличия термопреобразователя в диапазоне  $-50...150^\circ\text{C}$  с погрешностью  $\pm (0,25^\circ\text{C} + 0,0035\text{T})$ ;
- позволяет осуществлять контроль влажности в коптильной камере при помощи измерительного преобразователя влажности, при этом диапазон измерений и преобразований относительной влажности составляет 0...100%, а предел абсолютной погрешности измерений  $\pm 2\%$ ;
- позволяет измерять скорость дымовоздушной смеси на входе в коптильную камеру;
- позволяет определить концентрацию дымовоздушной смеси с использованием фотометрического метода, основанного на измерении интенсивности поглощения светового потока при прохождении им через толщу дымовоздушной смеси.

### Литература

1. Авакимян А.Б. Разработка технологии и исследование копченых сыров с чеддеризацией и термомеханической обработкой сырной массы: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Воронеж, 2010. 22 с.
2. Антипов С.Т., Шахов С.В., Мальцева О.В. Исследование процесса электростатического копчения твердых сыров с индуктивным подводом энергии при дымогенерации // Материалы XLIX отчетной научной конференции (Воронеж, 22–23 марта, 2011 г.). Воронеж, 2011. С. 23.
3. Бредихин С.А., Юрин В.Н. Техника и технология производства сливочного масла и сыра. М.: Колос, 2007. 319 с.
4. Китаев С.Ю. Разработка экспериментальной установки для электростатического копчения // Модернизация существующего и разработка новых видов оборудования для пищевой промышленности: сб. науч. тр. Воронеж, 2003. № 13. С. 104.
5. Алексахин С.В. Управление процессом горячего копчения рыбы в камерных установках: сборник трудов. М., 1985. 209 с.
6. Цейхнерс Ю.О. Фрикционный дымогенератор: пат. 401335 СССР. 1972. Бюл. № 41.
7. Шокина Ю.В., Обухов А.Ю., Кирилук О.А. Комплексный подход к применению коптильных сред, получаемых с использованием ИК-дымогенератор. *Рыбпром*. 2010. № 3. С. 98–102.
8. Мезенова О.Я. Научные основы и технология производства копченых продуктов. Калининград: КГТУ, 1997. 132 с.

9. *Н.И.* Основные процессы и аппараты химической промышленности. М.: Химия, 1981. 812 с.
10. Гордон Л.В., Скворцов С.О., Лисов В.И. Технология и оборудование лесохимических производств. М.: Лесная промышленность, 1988. 360 с.
11. *Пелеев А.И., Бражников А.М., Гаврилова В. А.* Тепловое оборудование колбасного производства. М.: Пищевая промышленность, 1970. 384 с.
12. *Шубкин С.Ю., Шахов С.В., Ткачев О.А.* Разработка установки для электростатического копчения пищевых сред с индуктивным подводом энергии при дымогенерации в среде инертного газа // Сборник докладов конференции «Инновационные технологии на базе фундаментальных научных разработок – прорыв в будущее». Воронеж, 2013. С.83–85.
13. Шахов С.В, Мальцева О. В., Сухарев И.Н., Шубкин С.Ю. Анализ процесса дымообразования // Материалы международной научно-практической конференции «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии АПК» (Воронеж, 8–9 апреля, 2015 г.). Воронеж, 2015. С. 404–406.
14. Шахов С.В, Мальцева О. В., Сухарев И.Н., Шубкин С.Ю. Интенсификация процесса сушки древесных опилок // Материалы международной научно-практической конференции «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии АПК» (Воронеж, 8–9 апреля 2015 г.). Воронеж, 2015. С. 407–409.
15. *Шахов С.В., Сухарев И.Н., Шубкин С.Ю., Мальцева О.В., Ракитянский А.А.* Установка с внутренней подачей дыма для получения копченых экструдированных продуктов // Мясная индустрия. 2015. №5. С. 44–46.

### References

1. Avakimyan A.B. Razrabotka tekhnologii i issledovanie kopchenykh syrov s cheddarizatsiei i termomekhanicheskoi obrabotkoi syrnoi massy. *Extended abstract of candidate's thesis*. Voronezh, 2010. 22 p.
2. Antipov S.T., Shakhov S.V., Mal'tseva O.V. Issledovanie protsesssa elektrostatischeeskogo kopcheniya tverdykh syrov s induktivnym podvodom energii pri dymogeneratsii. *Materialy XLIX otchetnoi nauchnoi konferentsii (Voronezh, 22–23 marta, 2011 g.)* [Proceedings of the 49th reporting conference (Voronezh, March 22–23, 2011)]. Voronezh, 2011. p. 23.
3. Bredikhin S.A., Yurin V.N. *Tekhnika i tekhnologiya proizvodstva slivochnogo masla i syra* [Technique and technology of production of butter and cheese]. Moscow, Kolos Publ., 2007, 319 p.
4. Kitaev S.Yu. Razrabotka eksperimental'noi ustanovki dlya elektrostatischeeskogo kopcheniya. *Modernizatsiya sushchestvuyushchego i razrabotka novykh vidov oborudovaniya dlya pishchevoi promyshlennosti: sb. nauch. tr.* Voronezh, 2003, no. 13, p. 104.
5. Aleksakhin S.V. *Upravlenie protsessom goryachego kopcheniya ryby v kamernykh ustanovkakh: sbornik trudov*. Moscow, 1985, 209 p.
6. Tseikhners Yu.O. *Friktsionnyi dymogenerator* [Friction smoke generator]. Patent USSR, no. 401335. 1972, byul. no. 41.
7. Shokina Yu.V., Obukhov A.Yu., Kirilyuk O.A. Kompleksnyi podkhod k primeneniyu koptil'nykh sred, poluchaemykh s ispol'zovaniem IK-dymogenerator. *Rybprom*. 2010, no. 3, pp. 98–102.
8. Mezenova O.Ya. *Nauchnye osnovy i tekhnologiya proizvodstva kopchenykh produktov*. Kaliningrad, KGTU Publ., 1997, 132 p.
9. N.I. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi promyshlennosti. Moscow, Khimiya Publ., 1981, 812 p.
10. Gordon L.V., Skvortsov S.O., Lisov V.I. *Tekhnologiya i oborudovanie lesokhimicheskikh proizvodstv*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988, 360 p.
11. Peleev A.I., Brazhnikov A.M., Gavrilova V. A. *Teplovoe oborudovanie kolbasnogo proizvodstva*. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1970, 384 p.
12. Shubkin S.Yu., Shakhov S.V., Tkachev O.A. Razrabotka ustanovki dlya elektrostatischeeskogo kopcheniya pishchevykh sred s induktivnym podvodom energii pri dymogeneratsii v srede inertnogo gaza. *Sbornik dokladov konferentsii «Innovatsionnye tekhnologii na baze fundamental'nykh nauchnykh razrabotok – proryv v budushchee»*. Voronezh, 2013, pp. 83–85.



13. Shakhov S.V, Mal'tseva O. V., Sukharev I.N., Shubkin S.Yu. Analiz protsessa dymoobrazovaniya. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sistemnyi analiz i modelirovanie protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitii APK» (Voronezh, 8–9 aprelya, 2015 g.). Voronezh, 2015. pp. 404–406.
14. Shakhov S.V, Mal'tseva O. V., Sukharev I.N., Shubkin S.Yu. Intensifikatsiya protsessa sushki drevesnykh opilok // Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sistemnyi analiz i modelirovanie protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitii APK» (Voronezh, 8–9 aprelya, 2015 g.). Voronezh, 2015. pp. 407–409.
15. Shakhov S.V., Sukharev I.N., Shubkin S.Yu., Mal'tseva O.V., Rakityanskii A.A. Ustanovka s vnutrennei podachei dyma dlya polucheniya kopchenykh ekstrudirovannykh produktov. *Myasnaya industriya*, 2015, no. 5. pp. 44–46.

*Статья поступила в редакцию 29.05.2015*