

УДК 664.951.3.041 : 664.951.039.51

Обоснование оптимального режима эксплуатации ИК-дымогенератора 2-го поколения

А.М. Ершов², А.А. Маслов¹, Д.А. Пономаренко¹, Ю.В. Шокина²,
А.Ю. Обухов², А.А. Коробицын²

¹ Политехнический факультет МГТУ, кафедра автоматики
и вычислительной техники

² Технологический факультет МГТУ, кафедра технологии пищевых
производств

Аннотация. Эксплуатация промышленного образца ИК-дымогенератора повышенной производительности (2-го поколения) в производственных условиях вскрыла ряд технических проблем, основной причиной которых является высокая интенсивность тепло- и массообменных процессов в слое топлива. Для устранения выявленных недостатков была усовершенствована конструкция ИК-дымогенератора. Получена математическая модель процесса пиролиза, на основе которой определены оптимальные значения основных режимных параметров эксплуатации аппарата. Разработан проект технической документации. Изучен теплоперенос в слое для топлива известной удельной поверхности и начальной влажности, при постоянном количестве воды, добавляемой в ИК-дымогенератор. Для данных условий получены аналитические зависимости, описывающие распределение температуры пиролиза топлива в слое. Выведена эмпирическая зависимость коэффициента теплового рассеяния от одного из влияющих факторов – начальной влажности топлива. Использование математической модели процесса пиролиза на практике позволит получать предварительную информацию по продолжительности рабочего цикла ИК-дымогенератора, которая определяет его производительность.

Abstract. The operation of the IR smoke generator of high productivity (2-nd generation) showed some technical problems, which were caused by the high intensity of heat and mass transfer into the layer of wood fuel. The construction of the IR smoke generator has been developed with the purpose to eliminate these defects. The mathematical model of pyrolysis has been developed, on its base the optimal values of operation main parameters have been determined. The draft of engineering data has been worked out.

1. Введение

В условиях рыночной экономики задача повышения эффективности технологических процессов играет существенную роль, так как позволяет из того же количества сырья получать больше готовой продукции более высокого качества при одновременном сокращении производственных затрат. Качество технологического процесса определяется тем, насколько близко к оптимальному он проводится.

Повышение эффективности процесса копчения связано с интенсификацией процесса дымообразования, что позволяет поддерживать концентрацию дымовоздушной смеси в копильной камере на максимально возможном при текущих внешних условиях уровне и сократить этап процесса копчения, связанный с насыщением пищевого продукта копильными компонентами.

На кафедре "Технология пищевых производств" МГТУ в 2002 г. был разработан новый высокопроизводительный ИК-дымогенератор 2-го поколения, позволяющий генерировать высококачественный технологический дым, практически не содержащий канцерогенных веществ. Аппарат обладает всеми достоинствами, присущими дымогенераторам данного класса, а по ряду эксплуатационных показателей превосходит предыдущие модели. Более высокая производительность ИК-дымогенератора второго поколения была достигнута за счет увеличения размеров носителей для топлива, что повлекло увеличение рабочей площади пиролиза в камере дымогенерации.

Однако проведенные технологические испытания промышленного образца ИК-дымогенератора 2-го поколения выявили некоторые недостатки, а именно: значительный нагрев корпуса аппарата (температура поверхности достигала 120°C), что снижает безопасность эксплуатации и обслуживания установки для персонала; высокая температура дымовоздушной смеси на выходе дымогенератора (более 160°C) и нерациональное использование древесного топлива в связи с его неравномерным прогоранием.

Установлено, что основной причиной, обусловившей все перечисленные негативные факторы, является высокая интенсивность тепло- и массообменных процессов, протекающих в слое топлива,

вследствие изменения основных геометрических параметров носителей – значительного, по сравнению с предыдущими моделями, увеличения толщины слоя топлива при недостаточном подводе влаги к слою из боковых карманов носителя.

Поэтому основной целью дальнейших работ являлось совершенствование конструкции ИК-дымогенератора, направленное на снижение интенсивности тепло- и массообменных процессов в топливе до оптимального уровня.

А.М. Ершовым, Ю.В. Шокиной и А.Ю. Обуховым были разработаны новые носители, представляющие собой ванны с фальш-дном (без боковых карманов), в качестве которого использовалась мелкаячеистая решетка из нержавеющей стали. Использование носителей с фальш-дном позволило уменьшить толщину слоя топлива и, тем самым, несколько снизить интенсивность теплообменных процессов, протекающих в слое под действием ИК-излучения. Изменение способа подачи влаги к слою топлива в процессе собственно дымообразования (влага стала подводиться к слою топлива в виде пара через ячейки в фальш-дне, в то время как в предыдущих моделях влага подводилась в виде жидкости через боковые карманы) позволило не только добиться более равномерного прогрева топлива, но и уменьшить температуру дымовоздушной смеси на выходе из дымогенератора.

Температура дыма, по сути, является основным возмущающим воздействием для контура регулирования температуры дымовоздушной смеси в коптильной камере. Контроль этой температуры позволяет улучшить динамические характеристики контура регулирования температуры в камере в процессе копчения, что связано с появлением дополнительной обратной связи по основному возмущающему воздействию. Внедрение автоматической системы управления (АСУ) процессом дымообразования позволит снизить затраты на производство единицы продукции путем постоянного контроля качества данного технологического процесса. Введение в систему контуров сигнализации и регистрации параметров процесса исключает необходимость постоянного контроля со стороны обслуживающего персонала.

Оптимизация интенсивности теплообменных процессов в слое топлива может быть достигнута также путем постоянного контроля ее косвенной характеристики – плотности дымовоздушной смеси в коптильной камере – и управления производительностью дымогенератора с целью достижения плотностью дымовоздушной смеси максимально возможных в текущих условиях значений. Применение АСУ процессом дымообразования позволило бы снизить затраты электроэнергии, необходимой для протекания процесса. Однако применение АСУ с жестко заданными параметрами регуляторов не позволяет достичь максимальной эффективности процесса копчения в целом ввиду изменения параметров самого процесса с течением времени. Одним из способов решения этой задачи является построение адаптивной АСУ, изменяющей структуру и параметры своих регуляторов для получения наилучшего по выбранным критериям управления.

Внедрение АСУ позволяет добиться повышения качества технологического процесса. Однако это не исключает работу специалистов-технологов, разрабатывающих и обосновывающих технологические карты процессов. Автоматика способна минимизировать в динамике отклонения параметров процесса от параметров, указанных в технологических картах, освобождая обслуживающий персонал технологических установок от необходимости постоянного ручного регулирования контролируемых величин.

Для разработки подобных систем необходимо предварительно определить близкие к оптимальным значения основных факторов, влияющих на процесс дымообразования, а также разработать методику исследования технологического процесса, что позволит получить необходимые исходные данные для синтеза автоматических систем управления. Применение методов математического планирования эксперимента и современной компьютерной техники в качестве инструмента для проведения экспериментов согласно разработанной методике и для обработки полученных данных позволяет повысить качество результатов и сократить сроки исследований.

Несмотря на наличие широкого спектра промышленных адаптивных АСУ за рубежом, высокая стоимость не позволяет использовать их для автоматизации недорогих отечественных аппаратов, подобных ИК-дымогенератору, рассчитанных на эксплуатацию в условиях малых и средних предприятий, бюджет которых зачастую сопоставим со стоимостью этих установок. Задача разработки достаточно эффективной и недорогой отечественной адаптивной АСУ, требующей минимальных затрат на изготовление и внедрение и имеющей минимальные сроки окупаемости, была решена Д.А. Пономаренко и А.А. Масловым.

Для достижения поставленной цели, таким образом, были сформулированы следующие задачи:

- 1) изучить возможность понижения температуры дымовоздушной смеси на выходе дымогенератора;
- 2) устранить неравномерное прогорание топлива;

3) оптимизировать процесс пиролиза путем построения математической модели процесса дымообразования на основе данных исследований, проверить адекватность данной модели и определить оптимальные режимы эксплуатации ИК-дымогенератора;

4) получить аналитические зависимости, описывающие температурное поле внутри слоя древесного топлива в процессе пиролиза в зависимости от некоторых влияющих факторов;

5) разработать адаптивную АСУ процессом дымообразования в ИК-дымогенераторе.

2. Объекты и методы исследования

Объектом исследования служил ИК-дымогенератор 2-го поколения усовершенствованной конструкции с носителями для топлива, снабженными фальш-дном (без боковых карманов). Возможно изменение положения фальш-дна по высоте носителя, тем самым обеспечивается регулирование толщины слоя топлива. Фальш-дно представляет собой мелкоячеистую решетку из нержавеющей стали. Подача "избыточной" влаги к слою топлива в процессе собственно дымообразования осуществляется в виде пара через ячеи решетки фальш-дна. Сравнительная характеристика ИК-дымогенераторов 1-го и 2-го поколения по некоторым основным техническим параметрам приведена в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительная характеристика ИК-дымогенераторов 1-го и 2-го поколения

Показатель	1 поколение	2 поколение	
Габаритные размеры ИК-дымогенератора, мм:	– длина	900	900
	– ширина	420	540
	– высота	1000	1625
Габаритные размеры ванны для топлива, мм, не более:	– длина	730	765
	– ширина	275	510
	– высота	55	140
Масса, кг	120	180	
Продолжительность рабочего цикла, мин. (ч)	130 (2,2)	120 ÷ 720 (2 ÷ 6)	
Техническая производительность по топливу, кг/ч	от 0,35 до 1,0	от 0,75 до 4,5	

Среднюю удельную поверхность топлива (древесных опилок) определяли как отношение площади поверхности древесной частицы к ее массе с последующей статистической обработкой полученных данных (не менее 50 штук).

Влажность опилок определяли высушиванием навески ~5 г при температуре 105°C.

Продолжительность периода нагрева топлива определяли как отрезок времени от момента включения ИК-дымогенератора, загруженного подготовленным топливом, до момента заполнения коптильной камеры, соединенной с ИК-дымогенератором, технологическим коптильным дымом (дымовоздушной смесью с оптической плотностью не менее 0,2 Б). Продолжительность периода собственно дымообразования определяли как отрезок времени от момента достижения оптической плотности дымовоздушной смеси в коптильной камере значения не менее 0,2 Б до момента достижения значений оптической плотности смеси менее 0,2 Б.

В качестве датчика оптической плотности (ДОП) дымовоздушной смеси в коптильной камере был выбран ДОП, являющийся частью измерительного комплекта Н29-И57, подключенного к исследуемой лабораторной коптильной установке. В качестве датчика температуры дыма была выбрана термопара типа ТХА 008-000. В качестве внутренней структуры регуляторов автоматизируемых контуров была принята двухконтурная структура с пропорционально-интегральными (ПИ) регуляторами. В качестве исполнительного элемента АСУ был выбран и собран симисторный регулятор мощности нагревательных элементов.

Исследование температурных полей в слое топлива в процессе дымообразования в ИК-дымогенераторе проводилось на действующем аппарате с помощью разработанной авторами установки, в составе которой: термопара типа ТХА в качестве датчика температуры дыма; ADAM 4011 – модуль аналогового ввода с преобразователем сигнала с термопар; 3 рабочих части термосопротивления типа ТСМ в качестве датчиков температуры в слое опилок; 3 измерительных моста; 3 усилителя сигнала с блоком питания; ADAM 4017+ – модуль аналогового ввода сигналов в компьютер; ADAM 4520 – модуль преобразования интерфейса RS-485 (интерфейса связи модулей ADAM) в RS-232 (интерфейс последовательного порта компьютера); ПК IBM PC – персональный компьютер с программой для регистрации данных с термодатчиков, выполненной Д.А. Пономаренко в SCADA-системе Genie DAQ.

Установка позволяет одновременно регистрировать данные с датчиков температуры дыма и температуры внутри кассеты с опилками согласно разработанному плану экспериментов, сохранять результаты и выводить их на экран ПК в графическом виде.

Весовую концентрацию дымовоздушной смеси определяли прокачиванием дыма при помощи универсального переносного газового анализатора УГ-2 непосредственно в коптильной камере через фильтрующий патрон (адсорбент – активированный уголь) с последующим взвешиванием фильтрующего патрона с осевшей на него дисперсной фазой дыма.

При построении схемы эксперимента по определению оптимальных параметров эксплуатации ИК-дымогенератора использовали методы математического планирования, в частности, центральное ортогональное композиционное планирование – полнофакторный эксперимент (Саутин, 1975).

Проверку адекватности полученных уравнений регрессии проводили при помощи критерия Фишера, используя компьютерную программу для математических расчетов "DataFit. Ver. 8.0".

Для нахождения температуры внутри слоя топлива при известной температуре дымовоздушной смеси на выходе дымогенератора применили графоаналитический метод с использованием логарифмических амплитудо-частотных характеристик (ЛАЧХ) математических моделей изменения температуры внутри слоя топлива и температуры дымовоздушной смеси на выходе из дымогенератора, что позволило вывести формулу коэффициента связи между указанными параметрами.

3. Результаты и их обсуждение

3.1. Оптимизация процесса пиролиза топлива в ИК-дымогенераторе

Одной из задач проводимых работ являлось определение оптимальных значений эксплуатационных режимов ИК-дымогенератора. Для оптимизации процесса пиролиза топлива был применен метод математического планирования эксперимента – полнофакторный эксперимент. В качестве функций отклика были выбраны Y_1 – продолжительность периода нагрева опилок; Y_2 – продолжительность периода собственно дымообразования.

При предварительном анализе из значительного числа факторов, влияющих на процесс дымообразования, были выбраны основные, определяющие его продолжительность. Такими факторами являются X_1 – влажность топлива, %, и X_2 – количество добавляемой избыточной влаги под фальш-дно, % от массы загруженного топлива. Остальные влияющие факторы, такие как: удельная поверхность сырья, толщина слоя, расстояние до излучателей, мощность излучателей, фиксировались в ходе экспериментов с целью исключить их влияние на результат.

Область факторного пространства ограничивалась условием отсутствия пиролиза опилок в ИК-дымогенераторе в течение процесса дымообразования: по первому влияющему фактору – от 35 до 65 %; по второму влияющему фактору – от 40 до 100 %. Матрица планирования полнофакторного эксперимента представлена в табл. 2.

Таблица 2. Полный двухфакторный эксперимент

№ опыта	Влияющие факторы		Функция отклика Y_1 , мин		Функция отклика Y_2 , мин	
	X_1 , %	X_2 , %	эксперимент	расчет по ф-ле (1)	эксперимент	расчет по ф-ле (2)
1	35	40	4	4,0	60	61,9
2	35	70	5	4,6	75	70,2
3	35	100	5	5,0	80	78,6
4	50	40	5	5,4	90	83,6
5	50	70	6	5,9	82	91,9
6	50	100	6	6,4	95	100,2
7	65	40	7	6,7	100	105,2
8	65	70	7	7,2	120	113,6
9	65	100	8	7,7	125	121,9

Математической обработкой результатов были получены следующие уравнения регрессии:

$$Y_1 = 0,2777 + 0,0888 \cdot X_1 + 0,0166 \cdot X_2, \quad (1)$$

$$Y_2 = 0,2222 + 1,4444 \cdot X_1 + 0,2777 \cdot X_2. \quad (2)$$

Проверку адекватности уравнений регрессии проводили при помощи критерия Фишера. Значение расчетной величины критерия Фишера для Y_1 составило 50,53; для Y_2 – 35,45. Сравнение значений критерия Фишера с табличным значением позволяет сделать вывод об адекватности модели.

Для нахождения оптимума данной функции установили характер поверхности отклика. Как видно из сравнения уравнений регрессий и характера поверхностей, обе функции отклика описываются сходными линейными уравнениями. Следовательно, для описания процесса дымообразования можно ограничиться, с достаточной адекватностью, одним уравнением (1) с линейной зависимостью функции отклика Y – продолжительность рабочего цикла (сумма периодов нагрева и дымообразования), в мин.

Из линейного вида функции отклика Y следует, что оптимумы располагаются на границе факторного пространства: максимальной производительности соответствуют значения первого и второго влияющих факторов 35 % и 40 %, а минимальной – 65 % и 100 %, соответственно.

Таким образом, в зависимости от заданных условий процесса копчения – получение ли это продукции, качество которой соответствовало традиционному дымовому (для чего требовалось сжигать больше топлива в единицу времени, т.е. повышать производительность – минимум функции) или же увеличение длительности рабочего цикла дымогенератора (максимальное значение функции отклика), выбираются значения влияющих факторов.

3.2. Исследование температурного поля внутри слоя древесного топлива в процессе пиролиза в зависимости от некоторых влияющих факторов

Исследование распределения температурных полей внутри слоя топлива с удельной поверхностью $10 \text{ м}^2/\text{кг}$ проводили в работающем дымогенераторе с помощью описанной выше установки, разработанной Д.А. Пономаренко.

Основные графики, полученные в результате обработки экспериментальных данных, представлены на рис. 1-2. Количество "избыточной" воды, добавляемой под фальш-дно, в ходе всех экспериментов составляло 50 % от массы опилок; начальная влажность опилок варьировалась от 5 до 70 %.

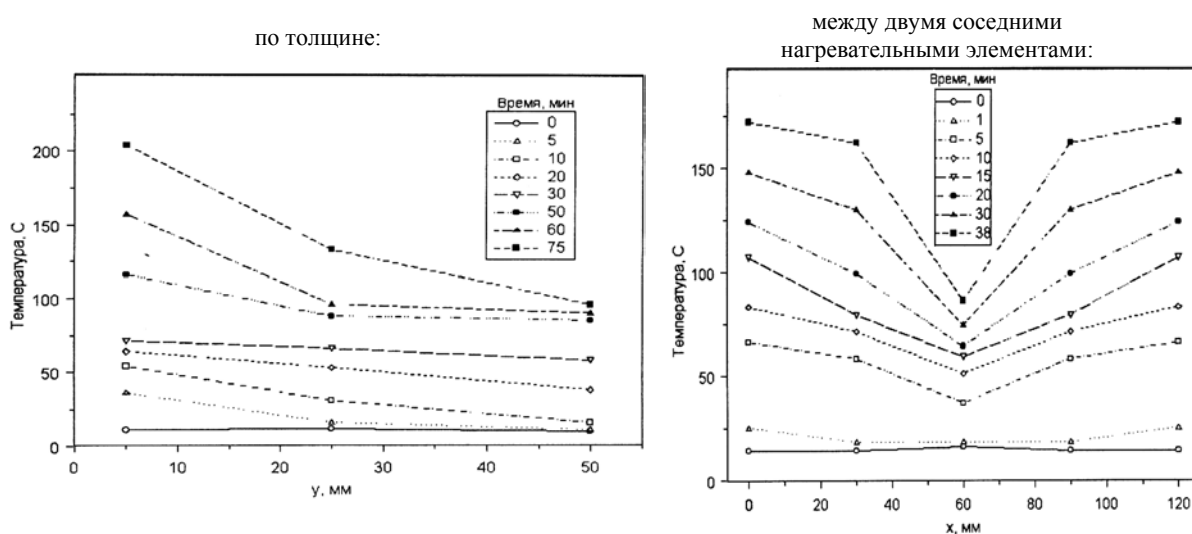


Рис. 1. Распределение температуры в слое опилок (начальная влажность опилок 50 %)

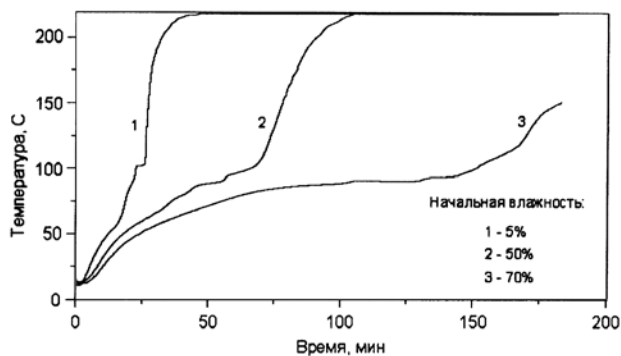


Рис. 2. Изменение температуры внутри слоя топлива постоянной толщины в зависимости от начальной влажности опилок. Удельная поверхность опилок $10,0 \text{ м}^2/\text{кг}$, количество добавляемой под фальш-дно "избыточной" воды составляет 50 %

Анализ результатов экспериментов (рис. 1-2) позволяет говорить о том, что во время дымообразования в слое опилок непрерывно идут два противоположных по характеру процесса: первый – нагрев слоя за счет поглощаемой им энергии инфракрасного излучения с уменьшением среднеобъемной влажности; второй – охлаждение слоя за счет влаги, поступающей из нижележащих слоев под воздействием градиента влажности, поддерживаемого на протяжении всего процесса дымообразования на достаточно высоком уровне за счет «избыточной» влаги, поступающей в виде пара к нижним слоям опилок через ячеи в фальш-дне. Интенсивность данных процессов и определяет общую картину изменения температуры в слое по толщине в зависимости от начальной влажности опилок. При

увеличении начальной влажности опилок на начальном этапе прогрева все большее значение приобретают процессы охлаждения слоя за счет влаги нижних слоев, что приводит к увеличению продолжительности как процесса нагрева и пиролиза, так и процесса дымообразования в целом. Однако при недостаточной влажности опилок нагрев и пиролиз древесины идет настолько интенсивно, что влага из нижних слоев не успевает проникать в наблюдаемый слой. Это приводит к быстрому термическому разложению всего объема древесины и необходимости частой замены опилок в носителе ИК-дымогенератора. Выбор оптимальных значений эксплуатационных параметров аппарата (начальной влажности, удельной поверхности топлива и количество "избыточной" воды) должен проводиться, исходя из требуемой производительности аппарата, как упоминалось в разделе 3.1.

По результатам экспериментов были получены оценки величины коэффициента теплового рассеивания: при изменении начальной влажности W опилок от 5 до 70 % этот коэффициент для березовых опилок с удельной поверхностью $10 \text{ м}^2/\text{кг}$, количества "избыточной воды" 50,0 % меняется в пределах от 0,3 до $80 \text{ мм}^2/\text{мин}$.

3.3. Разработка адаптивной АСУ процессом дымообразования в ИК-дымогенераторе 2-го поколения

Для эффективного автоматического управления процессом необходимо единое обобщающее описание процессов, происходящих во всем объеме носителя с опилками, на основе которого в первом приближении можно было бы судить о тепловых процессах в слое топлива. Таким описанием является математическое описание процесса изменения температуры дымовоздушной смеси на выходе из ИК-дымогенератора в виде передаточной функции. Для нахождения температуры внутри слоя топлива при известной температуре дымовоздушной смеси на выходе из дымогенератора с помощью графоаналитического метода с использованием логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) математических моделей изменения температуры внутри кассеты и температуры дыма была выведена формула коэффициента связи:

$$K_{CB}(p) = 1,5 \cdot \frac{0,113p + 1}{0,035p + 1}, \quad (3)$$

где p – оператор Лапласа. С учетом формулы (3) при известной температуре дыма T_d температура внутри кассеты с опилками $T_{до}$ может быть найдена как

$$T_{до}(\tau) = K_{CB}(\tau) \cdot T_d(\tau) = 1,5 \cdot \frac{0,113 dT_d / d\tau + 1}{0,035 dT_d / d\tau + 1} \cdot T_d(\tau). \quad (4)$$

Применимость описания процесса изменения температуры дымовоздушной смеси для описания процесса изменения температуры внутри слоя топлива была доказана путем сравнения экспериментальных данных и переходного процесса, полученного обработкой выражения (4).

Таким образом, для контроля и управления процессом дымообразования необходимо контролировать температуру дыма на выходе из автоматизируемого ИК-дымогенератора и поддерживать ее в диапазоне от 80 до 130°C путем регулирования мощности, подаваемой на генераторы инфракрасного излучения. Совместно с поддержанием необходимого качества подготовки опилок (состав, структура, влажность) это позволит процессу дымообразования протекать наилучшим образом, исходя из требуемой производительности аппарата.

На основании анализа структуры копильной среды как объекта управления в качестве регулируемых параметров для контура регулирования плотности дымовоздушной смеси выбраны: оптическая плотность этой смеси, измеряемая датчиком плотности в копильной камере, и температура смеси на выходе из дымогенератора. Регулирующим органом для контура предлагается блок регулирования мощности исполнительных элементов (генераторов инфракрасного излучения).

С целью построения математических моделей отдельных составляющих процесса дымообразования, используемых в дальнейшем в качестве начальных моделей для адаптивной АСУ при холодном копчении, были проведены экспериментальные исследования и выполнено моделирование технологического процесса получения дыма в ИК-дымогенераторе.

Был разработан план экспериментов по получению переходных характеристик ИК-дымогенератора при воздействии на него ступенчато изменяющегося теплового потока, подводимого от нагревательных элементов, а также переходных характеристик копильной камеры, как объекта управления по концентрации дымовоздушной смеси. Построены графики переходных характеристик.

В соответствии с планом экспериментов данные были обработаны в программном пакете Matlab, в результате чего найдены математические модели объектов управления в виде передаточных функций.

Коэффициенты передаточных функций объектов управления значительно отличаются (в пределах 100 %) друг от друга при изменении внешних условий экспериментов, что доказывает необходимость применения адаптивной АСУ процессом.

В качестве начальных моделей для дальнейшей обработки в контуре адаптации системы управления были выбраны модели, построенные по результатам экспериментов, наиболее приближенных к реальным условиям протекания процесса дымообразования в ИК-дымогенераторе (начальная влажность опилок 50 %, количество "избыточной" воды 50 %, полностью закрытые заслонки свежего воздуха, 100 % мощность генераторов излучения).

Передаточные функции контуров температуры дымообразования и концентрации дымовоздушной смеси при увеличении мощности излучающих элементов:

$$W_{T_{\text{НАГРЕВ}}}(p) = \frac{165}{279p^2 + 2461p + 1}; \quad W_{\text{ОП}_{\text{НАГРЕВ}}}(p) = \frac{0,696}{25840p^2 + 510p + 1}. \quad (9)$$

Передаточные функции контуров температуры дымообразования и концентрации дымовоздушной смеси при снижении мощности излучающих элементов:

$$W_{T_{\text{ОХЛ}}}(p) = \frac{140}{166p^2 + 2310p + 1}; \quad W_{\text{ОП}_{\text{ОХЛ}}}(p) = \frac{0,279}{981643p^2 + 8255p + 1}. \quad (10)$$

Найденные начальные модели (9), (10) были в дальнейшем использованы при построении компьютерной адаптивной АСУ процессом дымообразования при холодном копчении в лаборатории "Современных технологий переработки гидробионтов" МГТУ.

4. Заключение

Итогом проведенных работ явилась усовершенствованная конструкция ИК-дымогенератора 2-го поколения с носителями для топлива новой конструкции, позволившая решить проблему снижения интенсивности тепло- и массообменных процессов в слое топлива.

Уравнение регрессии, описывающее технологический процесс дымообразования в ИК-дымогенераторе новой конструкции, позволило его оптимизировать и определить наилучшие значения параметров эксплуатации аппарата. В точке оптимума математической модели были поставлены контрольные эксперименты, результаты которых оказались близки к расчетным данным.

Были получены аналитические зависимости, описывающие распределение температуры в слое топлива в процессе дымообразования, рассчитан коэффициент теплового рассеяния для одного из возможных вариантов ведения процесса.

Обработка экспериментальных данных позволила вывести уравнение для коэффициента связи между среднеобъемной температурой слоя топлива и температурой дымовоздушной смеси на выходе из дымогенератора, что существенно облегчило задачу разработки и построения системы адаптивной АСУ процессом дымообразования.

Разработано программное и аппаратное обеспечение адаптивной АСУ процессом дымообразования в ИК-дымогенераторе при холодном копчении на базе персонального компьютера. Проведены испытания АСУ на действующей коптильной установке МГТУ, подтвердившие эффективность разработанных программ и высокие эксплуатационные характеристики компьютерной системы управления.

Данные, полученные нами в ходе экспериментов, поставили ряд вопросов, которые необходимо будет решить для совершенствования физической модели процесса теплопередачи в слое топлива в ИК-дымогенераторе, положенной в основу его математического описания.

Прежде всего, очевидно, что требуется уточнение коэффициента теплового рассеяния, который учитывал бы весь рабочий диапазон значений основных факторов, влияющих на перенос теплоты в слое топлива. Уточнение потребует серии новых экспериментов. Учет этих факторов позволит в будущем получить более универсальную и достоверную математическую модель изучаемого процесса.

Использование такой модели на практике позволит вести процесс дымогенерации более эффективно и при этом получать высококачественную технологическую коптильную среду, не содержащую канцерогенных веществ.

Литература

Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. *Ленинград, Химия*, 47 с., 1975.