

ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯ (ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ)

УДК 632.517:637.523.38

Э. Я. Эпик ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА
И. Г. Бабанов КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ТЕРМОКАМЕРЕ
С ПУЛЬСАЦИОННЫМ
ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

Приведены результаты экспериментального исследования полей скорости и температуры в термокамере с пульсационным подводом воздуха для тепловой обработки колбасных батонов. Установлена наиболее эффективная форма навески батонов. Проведен тепловой и аэродинамический расчет камеры с навеской. Показана перспективность локального подхода для разработки мероприятий по повышению эффективности технологического процесса.

В существующих традиционных технологических процессах обработки сырокопченых колбас в должной мере не обеспечиваются требуемые параметры технологического процесса и, как следствие, наблюдается снижение качества продукции. Основные причины такого положения связаны с недостатками при проектировании камер для копчения, в которых не организовано равномерное воздухораспределение. Игруют роль и некоторые другие факторы, в частности, недостаточная оснащенность и надежность работы технологического оборудования, значительная длительность транспортировки колбас от термического отделения до сушильных помещений и загрузки (из-за несоответствия емкости камер), плохое состояние изоляции камер, отсутствие резервных подвесных путей для транспортировки рам с продукцией и т. п.

Большое разнообразие технических средств для копчения и сушки колбас (автокоптелки; камеры шахтного и туннельного типов; сушилки с напольными, пристенными, потолочными и другими системами воздухораспределения) усложняет разработку универсальных методов расчета и интенсификации технологических процессов. Наиболее рациональная технология производства колбасных изделий в камерах предполагает объединение процессов тепловой обработки и организацию интенсифицирующих режимов в одной камере (например [1—3]). Такая тепловая обработка сырокопченых колбас имеет существенные преимущества по сравнению с традиционной. Согласно расчетам, при ее использовании сокращается продолжительность рабочего цикла на 10—15 %, снижаются примерно на 20 % энергетические затраты и на 0,3 % потери готового продукта от сушки, повышается производительность труда при уменьшении трудозатрат. Интенсивность процессов теплообмена может быть увеличена на 30 % за счет турбулизации потоков дымовоздушной и воздушной (рабочей) смеси в зоне обработки продукта. Однако отсутствие данных по аэродинамике камер и гидравлическим характеристикам систем воздухораспределения затрудняет создание научно обоснованной методики расчетов процессов теплообмена в аппаратах камерного типа с прогрессивной системой воздухораспределения.

ИТТФ АН УССР совместно с ВНИКИМПОм Госагропрома СССР экспериментально изучены некоторые аэродинамические характеристики аппарата камерного типа дискретного действия для тепловой обработки сырокопченых колбасных изделий с пульсационной системой

воздухораспределения. Использовался локальный подход, позволяющий обоснованно выявить ресурсы для интенсификации процесса тепломассообмена, существенно улучшить технологию за счет ликвидации неравномерностей полей скорости и температуры, более точно оценить общую производительность системы воздухоснабжения. Это достигается измерением и соответствующей корректировкой скорости и температуры в характерных заранее выбранных сечениях камеры.

Камеры с пульсационной системой воздухораспределения обладают рядом преимуществ [4]. Система воздухораспределения таких камер

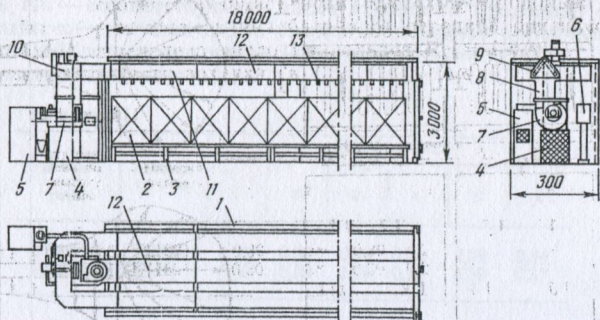


Рис. 1. Камера для тепловой обработки сырокопченых колбас. 1 — теплоизолированный туннель; 2 — рама с продуктом; 3 — наполненный контейнер; 4 — кондиционер; 5 — дымогенератор; 6 — щит управления; 7 — вентилятор; 8 — приточный воздуховод; 9 — механизм переключения подачи рабочей смеси; 10 — заслонка; 11 — воздухораспределительный канал; 12 — вытяжной канал; 13 — форсунка для подачи воздуха

в нормальном рабочем режиме обеспечивает строго регламентированную подачу дымовоздушной (при копчении) и воздушной (при сушке) смесей. Система управления и регулирования камеры обеспечивает автоматическое поддержание на заданном уровне режимных параметров по стадиям процесса. Кроме того, они удобны для исследования, так как конструкция камеры позволяет размещать датчики различного назначения, в том числе и термоанемометрические для фиксации температурно-влажностных и скоростных полей.

Общий вид используемой в описываемых экспериментах камеры показан на рис. 1. Рамы 2 с колбасными батонами располагались в трубе 1 в два ряда по 14 рам в каждом. Для обдува использовались форсунки 13, установленные по длине двух симметричных распределительных каналов 11. Пульсирующее течение в камере достигалось переменной подачей рабочей смеси в каналы. Длительность цикла подачи в каждый из каналов составляла 18 с.

Для определения средних во времени скоростей и температур рабочей среды использовался разработанный в ИТФ АН УССР термоанемометрический цифровой расходомер типа РПС-1. Принцип действия расходомера изложен в работах [5, 6]. Специально сконструированные датчики представляют собой теплоэлектронизоляционные цилиндры диаметром 2 мм длиной 6—10 мм с навитым из вольфрамовой проволоки диаметром 10—18 мкм нагревательным элементом. Датчики крепились на металлических иглах-державках (рис. 2). В ряде случаев иглы датчиков пронизывали два соседних батона.

Градуировка датчиков проводилась в стационарном потоке воздуха. Ориентация датчика при градуировке соответствовала расположению на объекте.

Расходомер РПС-1 регистрировал сигнал десяти первичных преобразователей. Устанавливались шесть датчиков в сечении рамы и четыре в форсунках нагнетания и соплах всасывания воздуховодов.

(рис. 2). Скорости в различных сечениях рабочей смеси, циркулирующей в объеме камеры, измерялись датчиками с интервалом 1 с последовательно, так что в течение цикла длительностью 18 с проводилось 19 замеров. Результаты обрабатывались на миниЭВМ СОУ-1. Для повышения достоверности результатов измерения проводились трижды. В отдельных случаях скорости и температуры рабочей смеси

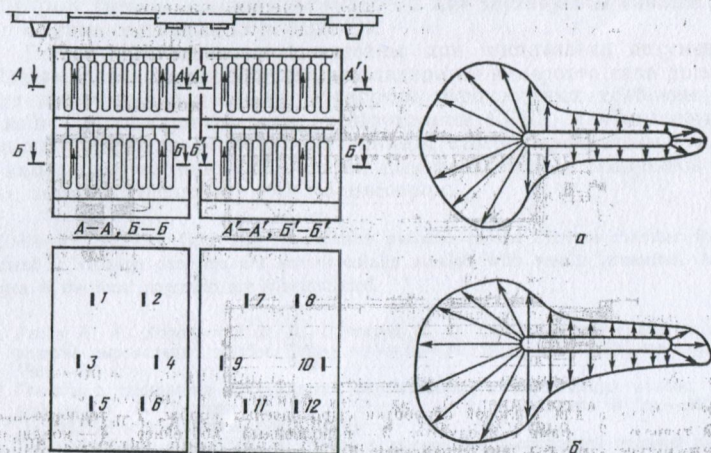


Рис. 2. Схема установки датчиков в рабочей зоне камеры

Рис. 3. Распределение локальных коэффициентов теплоотдачи поверхности батона: а — при симметричном режиме обтекания, $U=0,3$ м/с, б — при несимметричном режиме обтекания, $U=0,2...0,45$ м/с.

дополнительно измерялись термоанемометром GGA-45 с первичным преобразователем ANE-145 фирмы «ALNOR» (Финляндия).

Исследовались коридорное и шахматное расположения батонов колбас. Количество их в камере изменялось от 162 до 198 штук.

Результаты измерения скорости (м/с) в левой и правой рамах при разных степенях загрузки приведены в табл. 1 и 2. Из анализа этих данных следует, что в верхнем и нижнем ярусах рам при одинаковой загрузке и одинаковом расположении батонов скорости распределены достаточно равномерно. Отличия составляют $\pm 15\%$.

В торцевых рядах батонов отличия скоростей более существенны: в среднем от 0,20 до 0,45 м/с. При увеличении загрузки батонов на раму (до 198 шт.) и шахматной навеске средняя скорость уменьшается примерно на 15—20% по сравнению с коридорной навеской.

Результаты измерений температурных полей в зоне обработки продукта свидетельствуют о достаточной равномерности температурного поля. Отклонения температур от среднего значения 12°C составляют $\pm 0,9^\circ\text{C}$ ($\pm 7,5\%$). Из результатов измерений следует, что шахматная навеска более рациональна, так как обеспечивает лучшие скоростные и термовлажностные условия. Кроме того, шахматная навеска батонов (198 шт.) позволяет увеличить объем загрузки камеры и, следовательно, ее производительность без дополнительных затрат мощности.

Рабочая смесь в аппаратах тепловой обработки колбас представляет собой бинарную систему [7]. Процессы теплообмена сопровождаются конденсацией пара из влажного воздуха на поверхности изделий либо испарением жидкости. Однако при достаточно интенсивном потоке рабочей смеси преобладающим оказывается конвективный теплообмен. Поэтому коэффициенты теплоотдачи могут быть оценены по уравнениям подобия для конвективного теплообмена.

Если принять значения средней скорости течения рабочей смеси в зоне обработки продукта $U=0,3$ м/с, то число Рейнольдса $Re=Ul/\nu$ при длине батона $l=40$ см составит $\sim 8,0 \cdot 10^3$, что свидетельствует о ламинарном режиме течения рабочей смеси. При ламинарном режиме течения локальный α и средний $\bar{\alpha}$ коэффициенты теплоотдачи определяются известными соотношениями [8]

$$Nu = \alpha x / \lambda = 0,33 Re_x^{0,5} Pr^{0,33}; \quad \bar{Nu} = \bar{\alpha} l / \lambda = 0,66 Re^{0,5} Pr^{0,33},$$

где Nu и \bar{Nu} — соответствующие числа Нуссельта продольно обтекаемого батона; x — текущая длина батона от передней критической точки, по которой определено число Рейнольдса $Re_x = Ux/\nu$; λ — коэффициент теплопроводности воздуха.

Таблица 1

Ряд бато- нов по высоте рамы	Навеска батонов	Номера датчиков					
		1	2	3	4	5	6
Верхний	K(162)	0,30	0,38	0,39	0,24	0,38	0,34
Нижний	K(162)	0,30	0,38	0,39	0,25	0,39	0,37

Таблица 2

Ряд бато- нов по высоте рамы	Навеска батонов и степень загрузки	Номера датчиков					
		7	8	9	10	11	12
Верхний	K(162)	0,49	0,29	0,30	0,16	0,32	0,37
	Ш(162)	0,45	0,30	0,35	0,21	0,36	0,36
Нижний	Ш(198)	0,35	0,24	0,29	0,20	0,24	0,27
	K(162)	0,46	0,31	0,37	0,18	0,40	0,34
	Ш(198)	0,52	0,26	0,32	0,17	0,41	0,41

Примечание. К — коридорное расположение батонов в раме; Ш — шахматное; цифры в скобках 162 и 198 означают количество батонов, расположенных в раме

Расчеты показывают, что средние коэффициенты теплоотдачи при различных скоростях, шаге навески колбас и степени загрузки рамы изменяются в пределах 2,8—4,0 Вт/(м²·К).

При расчетах локального теплообмена на сферических торцах батона коэффициенты теплопередачи определялись по соответствующим уравнениям подобия и распределениям, приведенным в работе [9]. Для передней точки сферы использовалась зависимость $Nu_0 = 1,08 Re^{0,5} d$, в которой число Рейнольдса $Re_d = Ud/\nu$ определено по диаметру батона $d=40$ мм.

Коэффициенты теплоотдачи на торцах значительно более высокие, чем на цилиндрической части батона. Это, однако, практически не влияет на интенсивность среднего теплообмена, поскольку поверхность торцов не превышает 2% общей поверхности батона.

Анализ табл. 1 и 2 позволяет выделить два режима обтекания батона в пучке: симметричный и несимметричный. В первом режиме батон обтекается практически с постоянной скоростью, и распределение локальных коэффициентов теплоотдачи по периметру симметрично (рис. 3, а). Во втором режиме, который чаще реализуется на торцах навески, батон обтекается неравномерным потоком (скорость изменяется в среднем от 0,2 до 0,45 м/с), и распределение локальных коэффициентов по периметру несимметрично (рис. 3, б). В этом случае воз-

можно снижение качества изделия, несмотря на благоприятное воздействие пульсационной подачи рабочей смеси.

Коэффициент сопротивления рабочей смеси определялся как сумма потерь входа в каналы между колбасными батонами, трения в этих каналах и внезапного расширения при выходе из них. Для $U=0,3$ м/с коэффициент сопротивления при использовании рекомендаций работы [10] $\xi \approx 3$. Потери давления $\Delta P = \xi \rho U^2 / 2$ для двухярусной навески колбас на раме составили $\Delta P \approx 0,324$ Па.

Полученные данные использованы при составлении документов: «Рекомендации по проектированию аппаратов камерного типа дискретного действия для тепловой обработки сырокопченых колбасных изделий», которые утверждены Госагропромом СССР, и «Технологическая инструкция по тепловой обработке и сушке сырокопченых колбас в камере с пульсационной подачей дымовоздушной и воздушной смеси», которая утверждена ПО Мосмясопром.

SUMMARY. Velocity field and temperature patterns in the thermal chamber for treatment of sausage products are experimentally studied with results presented. Advantages of the local approach are substantiated.

1. Рогов И. А., Хорольский В. В., Цветкова Н. Н. Особенности технологии производства сыровяленых колбас. Обзор информ.— М.: Изд. ЦНИИТЭИ мясомолпром, 1981.— 50 с.
2. Техника и технология производства сырокопченых и сыровяленых колбас. Обзор информ./В. В. Хорольский, И. А. Рогов, В. А. Алексахина и др.— М.: Изд. ЦНИИТЭИ мясомолпром, 1985.— 52 с.
3. Термообработка сырокопченых колбас в камере с пульсационной подачей рабочей смеси/И. Г. Бабанов, С. И. Суханова, А. А. Белоусова и др.— Мясная индустрия СССР.— 1987.— № 7.— С. 40—42.
4. Исследования температурно-влажностных полей в камерах для тепловой обработки сырокопченых колбасных изделий/А. Ф. Савченко, С. И. Суханова, И. Г. Бабанов и др.//XXXI конгресс науч. работников мясной пром-сти (май 1985 г., София).— София, 1985.— С. 686—687.
5. Дыбан Е. П., Эпик Э. Я. К вопросу об оценке погрешностей и возможностей электрометрического метода измерения характеристик турбулентности//Изв. СО АН СССР, Сер. техн. наук.— 1970.— № 8. Вып. 2.— С. 24—26.
6. Дыбан Е. П., Эпик Э. Я. Тепло массообмен и гидродинамика турбулизированных потоков.— Киев: Наук. думка, 1985.— 296 с.
7. Исследование воздушного распределения в камерах термообработки сырокопченых колбас/А. М. Бражников, С. Н. Каменский, Н. Д. Малова и др.— Мясная индустрия СССР.— 1985.— № 4.— С. 39—45.
8. Споддинг Д. В., Конвективный массоперенос.— М.; Л.: Энергия, 1985.— 385 с.
9. Newmann L. B., Sparrow E. M., Eckert E. R. G. Free-stream turbulence effects on local heat transfer from a sphere//J. Heat Transfer.— 1972.— C94, N 1.— P. 7—16.
10. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям.— М.: Машиностроение, 1975.— 480 с.