

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И
ОБОРУДОВАНИЯ МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.М.ГОРБАТОВ

Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности, Москва, СССР

Н.Н.МИЗЕРЕЦКИЙ

Московский технологический институт мясной и молочной промышленности, Москва, СССР

В условиях всемерной экономии пищевых и энергетических ресурсов разработка новой и совершенствования существующей технологии производства продукции мясной промышленности, основанной на фундаментальных исследованиях в области биохимии, микробиологии, физики и математического моделирования является одной из важнейших проблем научно-технического прогресса отрасли.

Исследования, начатые А.С.Большаковым, В.Ю.Вольферцем, Н.А.Головкиным, А.В.Горбатовым, Э.И.Гуйго, Э.И.Каучешвили, А.А.Лапшиным, А.Н.Лепилкиным, Д.В.Павловым, В.В.Пальминым, А.И.Пелеевым, И.А.Роговым, И.А.Смородинцевым, А.А.Сколовым, Н.Е.Федоровым, Д.А.Христуло, Г.Б.Чижовым, А.П.Шеффером, Н.П.Янушкиным, а также зарубежными учеными в области создания научных основ технологии производства мясных продуктов и изучения их пищевой ценности продолжают интенсивно развиваться.

Ассортимент, количество и качество продукции, выпускаемой мясной промышленностью, определяются степенью совершенства ее производственных процессов, представляющих собой органическое сочетание технологии, техники и управления. Четко наметившаяся в последние годы тенденция к совместному рассмотрению технологии и техники в виде единого комплекса дает основание определить собственно производственные (технологические) процессы и соответствующее им оборудование как подсистемы мясной промышленности.

При дальнейшем рассмотрении совокупности вопросов, относящихся к сырью, технологии, оборудованию и продукции, будем пользоваться классификацией технологических подсистем мясной промышленности, представленной в табл. I. В свою очередь каждый из этих классов может быть подразделен на подсистемы более низкого уровня (например, сушка и сушилки, центрифугирование и центрифуги, экстракция и экстракторы и т.п.). Во всех выделенных подсистемах, независимо от их иерархического уровня, для интенсификации технологии производства мясопродуктов и повышения ее эффективности могут быть широко использованы гидродинамиче-

Таблица I

К л а с с	Наименование
I	С ы р ь е
II	Транспортировка, содержание, разделка сырья
III	Обработка субпродуктов
IV	Холодильная обработка и хранение продукции
V	Производство соленых и копченых изделий
VI	Производство колбасных изделий и полуфабрикатов
VII	Производство консервов и концентратов
VIII	Производство пищевых жиров
IX	Производство технических жиров и кормов
X	Переработка крови
XI	Обработка кишок
XII	Обработка шкур, волоса и щетины
XIII	Производство клея и желатина
XIV	Переработка птицы и яйца
XV	Продукция

ские, теплообменные, диффузионные, биохимические и механические процессы и оборудование.

Затронутые выше вопросы классификации имеют непосредственное отношение к выносимой на обсуждение конгресса проблеме построения основ общей теории технологических процессов и оборудования мясной промышленности. Анализ насыщенности отдельных классов технологических подсистем отрасли (за исключением класса ХУ как относящегося к области товароведения) в период 1971-1975 г.г. теоретическими, экспериментальными, проектными и внедренческими работами (в % к общему числу научно-технических разработок), а также анализ их тематики (табл.2) показывает, что в настоящий момент такая теория отсутствует и проблема ее построения является актуальной.

Полагая, что логическим ядром рассматриваемой теории служит ее аналитическая часть, в первую очередь, обсудим проблемы построения основ теории математического моделирования технологических подсистем как аналитического ядра общей теории технологических процессов и оборудования мясной промышленности, математическая модель которой может быть представлена в виде:

$$T = \langle \sigma, \omega, \eta, \xi \rangle, \quad (1)$$

где $T, \sigma, \omega, \eta, \xi$ - соответственно теория, ее символика, аксиоматика, система правил вывода и интерпретация.

Если считать, что глобальная цель всего мясоперерабатывающего производства - осуществить консервирование потенциальной энергии естественного органического вещества животного происхождения с последующим преобразованием его в органическое вещество мясопродуктов промышленного вида, то можно утверждать, что эта цель будет достигнута только при условии оптимального функционирования мясной промышленности на основе рационального применения математического моделирования.

Анализ состояния проблемы математического моделирования, сложившегося в отрасли за период 1930-1980 гг., со всей очевидностью показывает, что в этой области исследования все еще наблюдается заметное отставание от подробных исследований в других отраслях промышленности.

При формализации содержательного описания слабо используется современный математический аппарат; в подавляющем большинстве случаев построение и рассмотрение математических схем осуществляется вне связи их с процессами функционирования конкретных технологических подсистем мясокомбината; отсутствует рациональная классификация построенных математических моделей, не выделены типовые математические модели; не предложено общих теоретических

Таблица 2

Класс	Теория	Эксперимент	Проектирование и внедрение	Итого
I	2,5/0,4	9,25/7,8	2,45/0	14,2/8,2
II	0,98/5,8	3,85/1,0	4,57/5,3	9,4/12,1
III	1,2/1,0	4,13/9,2	1,57/0,5	6,9/10,7
IV	2,58/11,0	5,28/15,2	2,24/8,8	10,1/35
V	0,9/0	3,54/0	1,76/0	6,2/0
VI	4,84/1,0	7,95/6,8	10,81/0	23,6/7,8
VII	1,67/3,9	4,1/8,7	3,13/2,4	8,9/15
VIII	0,5/0	0,3/0	0,9/0	1,7/0
IX	0,95/0	0,75/0	4,7/0	6,4/0
X	0,1/0	0,1/0	0,2/0	0,4/0
XI	0,1/0	0,86/0	1,94/0	2,9/0
XII	0,5/0	1,53/0	0,42/0	2,45/0
XIII	0,2/2,9	1,86/7,8	1,89/0	3,95/10,7
Итого	18,32/26	44,56/57	37,12/17	100%

Примечание: Числитель - разработки в области мясоперерабатывающего производства; знаменатель - в области холодильной техники и технологии.

принципов построения и реализации нетиповых математических моделей в ранее неисследованных классах технологических подсистем мясной промышленности; построение и реализация математических моделей ограничивается, в лучшем случае, предложением абстрактных решений; отсутствует систематическая проверка таких решений; теоретические рекомендации редко доводятся до практической реализации; не исследованы вопросы методологии математического моделирования объектов мясной промышленности.

В связи с вышеизложенным могут быть сформулированы следующие основные задачи, подлежащие разрешению в рамках основ общей теории математического моделирования технологических подсистем мясной промышленности:

предложить общие теоретические принципы построения и реализации математических моделей с целью оптимизации технологических процессов и оборудования мясной промышленности; выделить типовые математические модели наиболее характерные для различных технологических подсистем мясной промышленности и предложить пути их совершенствования; предложить общие принципы классификации математических моделей технологических процессов и оборудования мясной промышленности и пути их реализации; разработать алгоритм построения и реализации нетиповых математических моделей технологических процессов и оборудования мясной промышленности; показать на примерах построения конкретных математических моделей малоисследованных технологических процессов и оборудования возможности реализации в мясной промышленности непрерывной цепи: дескриптивное описание — эффективность.

Для осуществления этой программы мясная промышленность должна быть представлена как большая экономическая система и отнесена к группе тех вероятностных систем, математическое моделирование которых возможно осуществить только по отдельным подсистемам. Поэтому математическое моделирование мясной промышленности рассматривается как процесс построения и изучения системы автономных математических моделей, т.е. таких моделей, которые в определенных границах обладают некоторой обособленностью и относительной самостоятельностью.

В первом приближении теория математического моделирования технологических подсистем представляется как непротиворечивая система общих принципов построения и реализации математических моделей реальных объектов мясной промышленности, развивающаяся на основе классификации этих объектов и классификации их математических моделей с примерами построения и реализации конкретных моделей в различных областях мясоперерабатывающего производства. Характерный вид модели одного из показателей ($\lambda = f(t)$) технологических подсистем класса I или класса XY (см. табл. I) приведен в табл. 3. Математическая модель мяса высшего качества приведена в табл. 4.

Теория математического моделирования технологических подсистем мясной промышленности должна строиться, с одной стороны, как теория выдвижения возможно более точных гипотез при минимальном числе упрощающих предпосылок, с другой стороны, как теория наиболее простого и полного описания совокупности экспериментальных данных с целью поиска наиболее устойчивых структур и связей в моделируемых системах. В качестве регулятивных принципов этой теории выделены и сформулированы принципы системности ($\forall s = z$), принцип связности ($\exists n f = \exists m g$) и принцип целенаправленности ($\Delta z = 0$).

Общая теория математического моделирования технологических подсистем отрасли как частный случай общей теории систем характеризуется следующими особенностями: ее объектом изучения являются технологические процессы и оборудование мясной промышленности; ее предметом изучения являются структура и генетика этих систем; ее целью изучения является построение, изучение и реализация оптимальных математических моделей технологических процессов и оборудования отрасли с целью их оптимизации; ее методом исследования является логико-математическое исчисление.

Характерными особенностями технологических подсистем мясной промышленности как объектов математического моделирования являются: ограниченность траекторий их движения в пространстве и времени; расположение этих траекторий в собственном пространстве и времени самих объектов моделирования; наличие у этих объектов свойств структурной, геометрической и динамической симметрии, имеющей единую теоретико-групповую природу.

В соответствии с общепринятой схемой построения теории как научной системы в качестве общетеоретической концепции основ общей теории математического моделирования технологических подсистем мясной промышленности выдвигается теория неравновесных колебательных процессов. В свете этой концепции технологические процессы и оборудование мясокомбинатов можно рассматривать как необратимые термодинамические системы, а сам процесс математического моделирования — как неравновесный колебательный процесс, причем конечной целью изменения математических моделей является оптимизация инженерных решений, принимаемых в мясной промышленности на основе опыта или интуиции.

В пределах развиваемой теории относительно технологических подсистем мясной промышленности можно выделить и сформулировать семь аксиом (существования, достаточности, множественности, связности, общности, выделенности и целенаправленности), предложить алгоритм построения абстрактной математической модели и сформулировать основные законы теории, являющиеся следствиями ее аксиом: законы определения числа способов системобразования, подзаконы, закон соответствия, закон развития.

Таблица 3

Вид мяса	$\lambda, \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{г} \cdot \text{с}} \text{ при } t, \text{ } ^\circ\text{C}$									
	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70
Говядина высшего сорта	0,42	0,40	0,38	0,38	0,37	0,38	0,39	0,40	0,42	0,44
Говядина I сорта	0,49	0,44	0,41	0,39	0,39	0,39	0,41	0,43	0,45	0,48
Говядина II сорта	0,49	0,42	0,38	0,38	0,33	0,31	0,30	0,30	0,32	0,35
Свинина полужирная	0,42	0,35	0,31	0,29	0,27	0,26	0,25	0,26	0,26	0,27

Таблица 4

Показатели мяса	Область оптимальных значений
Содержание триптофана, мг на I г белкового азота	89-98
Содержание оксипролина, мг на I г белкового азота	14-17
$\psi = \frac{\text{Триптофан}}{\text{Оксипролин}}$	5-7
Содержание соединительнотканых белков, % к общему белку	1-3
Содержание внутримышечного жира, % к общей массе мяса	1-3
Водосвязывающая способность, г связанной воды на I г белка	2-3
Интенсивность окраски, оптическая плотность при длине волны 545 мм	1-2

Для внесения определенности в многозначное соответствие между физическими и математическими системами установлен элементарный порядок в самом множестве математических моделей, которому на основе закона симметрии сопоставлена система индексирования, представленная в табл. 5. Такая группировка математических моделей технологических процессов и оборудования мясной промышленности отвечает как требованию минимума внутригрупповой, так и требованию максимума межгрупповой дисперсии меры.

Для обнаружения в феноменологическом описании неисследованных ранее технологических подсистем мясной промышленности внутреннего механизма взаимодействий и статистического обоснования значений различных интегральных параметров, характеризующих эти системы, рекомендуется использовать закон распределения вероятностей:

$$p(i_1, \dots, i_m) = \frac{\prod_{\alpha=1}^m [a_\alpha + (a_\alpha - 1)\alpha] \prod_{\beta=1}^{n-m} [b_\beta + (b_\beta - 1)\beta]}{\prod_{k=1}^m \left\{ \prod_{j=i_{k-1}+1}^{i_k} [a_\alpha + b_\beta + (k-1)\alpha + (j-k)\beta] \right\}}, \quad (2)$$

$$\sum_{i_0 < i_1 < \dots < i_m} p(i_1, \dots, i_m) = p_{n,m}, \quad (3)$$

где i_1, \dots, i_m — последовательность шаговых индексов, характеризуются моменты времени появления заданных значений изучаемой величины.





Как известно, зависимость (2) является частным случаем (при $c_0 = \beta = \gamma = \tau = 0$) более одного общего закона распределения вероятностей:

$$F = F(a_0, b_0, c_0; \alpha, \beta, \gamma; n, m, n-m-\tau, \tau), \quad (4)$$

который описывает поведение урновой схемы с переключением.

Зависимость (4) позволяет анализировать задачи, не поддающиеся решению с помощью модели идеального газа и, в частности, задачи о критических явлениях, возникающие при исследо-

Таблица 5

Квадрант	Наклон трендовой диагонали	Группа местоположения			
		I	2	3	4
I (II)	180  90	I-I	I-2	I-3	I-4
II (I)	90  0	II-I	II-2	II-3	II-4
III (IV)	360  270	III-I	III-2	III-3	III-4
IV (III)	180  270	IV-I	IV-2	IV-3	IV-4

вании реологических свойств мяса и мясopодуктов и наблюдающихся в них фазовых переходов. Трудность этих задач заключается в том, что вблизи критических состояний упорядоченная фаза мало отличается от неупорядоченной, вследствие чего наблюдается лавинный рост и взаимодействие флуктуаций со скачкообразным изменением симметрии вещества (например, плотности при изменении температуры или давления) и выделением или поглощением тепла.

Для всех классов технологических процессов и оборудования мясной промышленности, представленных в табл. I, существуют критические значения параметров, характеризующих эти подсистемы. К этим параметрам относятся: W_1, W_2 - исходные скорости критических явлений в системе, E - энергия активности, T - температура системы, T_0 - температура окружающей среды, T_1, d - соответственно температура и длина туннелирования по В.И. Гольданскому, Q - энергия превращения, λ - дебройлевская длина волны, α - коэффициент энергоотдачи, V, F - соответственно объем и поверхность системы, k, ϵ - соответственно постоянные Больцмана и Стефана.

С учетом основных положений теории физико-химических превращений Н.Н. Семенова и теории молекулярного туннелирования В.И. Гольданского для нахождения критических значений указанных выше параметров предлагаются зависимости:

$$E_1 = W_1 V \left[Q_1 e^{-\frac{E}{k(T-T_1)}} + \frac{W_2}{W_1} Q_2 e^{-\frac{Td}{T_1 \lambda}} \right], \quad (5)$$

$$T \geq T_1, \quad (6)$$

$$E_2 = F \left\{ \alpha (T - T_0) + \epsilon \left[\left(\frac{T}{T_0} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{T_0} \right)^4 \right] \right\} \quad (7)$$

$$T \geq T_0, \quad (8)$$

$$E_1 \geq E_2, \quad (9)$$

где E_1, E_2 - соответственно приход и расход энергии в системе, вследствие протекающих в ней физико-химических превращений.

Совокупность сформулированных и всесторонне обоснованных в докладе научных положений выносятся на обсуждение конгресса как новое перспективное направление в теории и практике анализа и синтеза технологических процессов и оборудования мясной промышленности.

В табл.6 на основании опубликованных данных (Г.Я. Мякишев, 1973) приведена классификация типовых уравнений связи теории микро- и макросистем, а в табл. 7 дано представление мясной промышленности (как открытой системы) в пространстве ее характеристик.

Таблица 6

КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВЫХ УРАВНЕНИЙ СВЯЗИ		ИЕРАРХИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ СИСТЕМЫ					
		УРАВНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ	УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ	УРАВНЕНИЯ СЛАБЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ	УРАВНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ	УРАВНЕНИЯ СЛАБЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ	УРАВНЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ИЕРАРХИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ	УРАВНЕНИЯ ТЕОРИИ МАКРОКОМПОНЕНТСКИХ СИСТЕМ	УРАВНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ УРАВНЕНИЯ МЕХАНИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА УРАВНЕНИЯ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ	УРАВНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ УРАВНЕНИЯ РАСНОУРОВНОВЕШЕННОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕШНОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ		УРАВНЕНИЯ МАКРОКОМПОНЕНТСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ И КЛАССИЧЕСКОЙ ОПТИКИ		УРАВНЕНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ТЯГОТЕНИЯ
	УРАВНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ	УРАВНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ УРАВНЕНИЯ ДЕФОРМИРУЕМОЙ СРЕДЫ УРАВНЕНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ	УРАВНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕШНОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ УРАВНЕНИЯ НЕРАВНОВЕШНОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ УРАВНЕНИЯ КВАНТОВОЙ СТАТИСТИКИ		УРАВНЕНИЯ МИКРОКОМПОНЕНТСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ УРАВНЕНИЯ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ УРАВНЕНИЯ ТЕОРИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА УРАВНЕНИЯ ТЕОРИИ ПАВЗМЫ УРАВНЕНИЯ КВАНТОВОЙ СТАТИСТИКИ		
ИЕРАРХИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ	УРАВНЕНИЯ ТЕОРИИ МАКРОКОМПОНЕНТСКИХ СИСТЕМ	УРАВНЕНИЯ МЕХАНИКИ МАТЕРИАЛЬНЫХ ТОЧЕК УРАВНЕНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ УРАВНЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ			УРАВНЕНИЯ ТЕОРИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ		
	УРАВНЕНИЯ КЛАССИЧЕСКИХ МИКРОСИСТЕМ	УРАВНЕНИЯ НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ					
	УРАВНЕНИЯ КВАНТОВЫХ МИКРОСИСТЕМ			УРАВНЕНИЯ ТЕОРИИ СИЛНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ	УРАВНЕНИЯ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ	УРАВНЕНИЯ ТЕОРИИ СЛАБЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ	УРАВНЕНИЯ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ

Таблица 7

Алгоритм	A			(4)	Распределение	φ^a				z	Форма	n				Крутость	ζ_n				ζ_s			
	f			(5)		φ^b				β		φ	φ						ζ_j		γ_n			
	(6)		ξ			φ^c		\sim	τ			φ												
	(8)	F				φ^d	\equiv	\equiv				φ					ζ_0	γ_0						
\sum_1	(10)	(7)	(2)	(1)	Уравнение	φ^e	\dots	φ^f	\dots	φ^m	\sum_3	A	Π	Π	K	Структура	α_0	\dots	α_i	\dots	α_n	\sum_4	Косость	
Организация	M				Подсистема	XV				a	Процесс O!	\dots				\dots	Энергетика	ПАГВ				Z		
	З			Л		\dots				\dots			c			ПЭС				ПАГВ				
	Ц			Cc	VIII			o			\dots						АОПР			5				
	От			Op	\dots						n			ВМД			АРПЗ	п						
	Уч			Уп	I	a					\dots													
	P	Эк			\sum_6	M	Г	Т	Д	Б	\sum_7	\dots	д	\dots	р	\dots	\sum_8	КО	МО	ГКА		Оптимизация		
\sum_5	C	П	Об	Эн	Пр	Технология				\sum_6	Оборудование				\sum_7	Процесс IO				\sum_8	Оптимизация			