

Обоснование оптимальной рецептуры колбас с применением обобщенного критерия

Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности, Москва, СССР
 Воякин М.П., Горбатов В.М., Горошко Г.П., Салаватулина Р.М.

Производство вареных колбасных изделий является сложной функцией отдельных технологических процессов и операций, базирующихся на биохимических, физических, микробиологических и других методах воздействия на исходное сырье и промежуточные продукты. Изменение любого из многочисленных технологических факторов обуславливает неоднозначное изменение свойств продукта, образующих понятие качества. Это ведет к необходимости установления такого критерия, который позволил бы осуществлять выбор уровней факторов, обеспечивающих эффективное использование функциональных свойств и получение продукта высокого качества. Для решения этой задачи предлагается использовать обобщенный критерий оптимизации, отражающий близость совокупности комплекса частных показателей к их желаемым значениям и рассчитываемый по следующей формуле:

$$Поб. = \sum_{j=1}^{e-1} \frac{\alpha_j}{y_j^{2e}} \sqrt{(y_j - y_j^{2e})^2} \quad (1)$$

где: y_j^{2e} и y_j - желаемые и экспериментальные значения j -ого показателя;
 α_j - коэффициент важности j -ого показателя, определяемый с применением экспертных методов;
 e - число частных показателей.

Данный подход был реализован на примере модельных образцов вареных колбас, выработанных из чистой говяжьей и свиной мышечной жировой и соединительной тканей по рецептурам, принятым в соответствии с насыщенным симплексно-суммируемым планом эксперимента (табл. № I). В качестве исходного сырья использовали охлажденные говядину и свинину на вторые сутки после убоя, полученные от туш животных различной категории убитости. Сырье подбирали со стабильным уровнем величины pH.

Таблица I
Table I

№ образцов Sample	Мышечная ткань Muscle tissue		Жировая ткань Fat tissue	Соединительная ткань Connective tissue	Количество добавленной влаги, % added water, %
	говядина beef	свинина pork	шпик back fat		
Рецептура (кг на 100 кг несоленого сырья) Formula (kg/100 kg of raw material)					
I	76,92	-	19,23	3,85	25,00
2	-	43,48	54,35	2,17	25,00
3	-	66,66	16,67	16,67	25,00
4	-	76,92	19,23	3,85	45,00
5	35,63	8,41	46,63	9,33	41,18
6	27,78	27,78	41,67	2,77	25,00
7	35,71	35,71	17,86	10,72	25,00
8	38,46	38,46	19,23	3,85	35,00
9	55,73	-	36,89	7,38	33,24
10	-	52,63	39,47	7,90	25,00
11	-	50,00	37,50	12,50	35,00
12	17,29	24,68	52,47	5,56	33,24
13	-	71,43	17,86	10,71	35,00
14	21,55	30,75	34,62	13,08	33,24
15	22,96	32,77	36,89	7,38	45,00
16	26,32	26,32	39,47	7,89	35,00

В процессе экспериментальных исследований определяли следующие показатели сырья, фарша и готового продукта:

- pH;
- содержание влаги;
- содержание жира;
- содержание общего белка;
- содержание растворимого белка;
- содержание соединительнотканного белка;
- содержание золы;
- влагосвязывающую способность;
- влагоудерживающую способность;
- количество прочносвязанного жира;
- эффективную вязкость;
- содержание соли;

- предельное напряжение сдвига;
- интенсивность окраски;
- выход готового продукта;
- величину потерь массы при термической обработке;
- органолептическую оценку;
- биологическую ценность.

При расчете обобщенного критерия оптимизации наиболее ответственным и важным является выбор частных показателей оптимизации и их желаемых значений. В качестве частных критериев необходимо использовать такие показатели, которые, являясь репрезентативными представителями различных групп, наиболее полно характеризуют физико-химические, структурно-механические, технико-экономические, биологические и другие свойства готового продукта. Выбор желаемых значений показателей производили согласно данным собственного эксперимента табл. № 2 и литературным источникам.

Одним из основных и традиционных показателей, несущих информацию об эффективности процесса производства вареных колбас, его рентабельности, рациональном использовании мясного сырья, является выход готовой продукции. Максимизация этого показателя является главной задачей многих исследований. В связи с этим в качестве желаемого значения нами выбран уровень, равный 133%. Возможность получения столь высокого выхода подтверждена проведенным экспериментом.

Общая органолептическая оценка готового продукта благодаря высокой корреляционной связи ($r = 0,74 \pm 0,97$) с показателями вкуса, сочности, аромата и др. позволяет судить в целом о качестве продукта. Нами принято значение y^* для общей органолептической оценки равное 4,7 балла по 5-ти балльной системе оценки продукта. Особую группу частных критериев оптимизации образуют показатели химического состава, так как именно химический состав обуславливает пищевую ценность продукта, его потребительские свойства, показатели качества и др. Содержание жира в готовом продукте коррелирует, например, с напряжением среза, цветом, консистенцией, выходом и потерями массы, а содержание белка с количеством прочносвязанной влаги, устойчивостью эмульсии и др. В связи с этим в качестве частных критериев оптимизации нами выбраны:

- содержание жира, при этом y^* - не менее 23%, так как меньшее содержание жира в готовом продукте ведет к нерациональному использованию сырья;
- содержание общего белка как наиболее ценного компонента мяса и мясопродуктов; y^* - не более 12%;
- содержание соединительнотканного белка, % к общему белку, как величину, лимитирующую соотношение полноценных и неполноценных белков; y^* - не более 12%;
- влагосодержание - количество единиц влаги, приходящееся на единицу сухого вещества, как величину имеющую "критическое" значение и отражающую практически соотношение всех основных компонентов, т.е. влагосодержание $\frac{W}{B+Ж}$; $y^* = 2 \text{ кг/кг}$.

С другой стороны, рассматривая вопросы, связанные с влажностными характеристиками продукта, нельзя не учитывать влагосвязывающую способность мяса. Этот показатель, зависящий от нативных свойств мяса и таких технологических факторов, как степень измельчения сырья, глубина автолиза, концентрация электролитов в системе, термическое состояние и др., характеризует функциональные свойства мяса и предопределяет целый ряд показателей готового продукта. В связи с этим нами выбрано в качестве частного критерия оптимизации количество прочносвязанной влаги (в %), определенное по методике *Кюри и сотр.*. На наш взгляд измеренный этим способом показатель количества прочносвязанной влаги, в отличие от общепринятого, традиционного метода Грау и Хаппа, содержит информацию именно о прочносвязанной влаге в готовом продукте при общей хорошей воспроизводимости обеих методик. Величина нами выбрана 70%, т.е. максимальное значение.

Структурно-механические свойства многих мясопродуктов можно оценить объективно путем измерения величины напряжения среза. Структурно-механические свойства готового продукта определяются его составом, степенью деструкции тканей, влажностным состоянием. В связи с тем, что эти свойства компактной коагуляционной системы, каковыми являются вареные колбасные изделия, содержание жир в диспергированном состоянии, изменяются в зависимости от доли дисперсионной среды в системе и наличия или отсутствия в ней стабилизирующего компонента, нами выбрано значение y^* равное $2,25 \text{ Па} \cdot 10^{-2}$, т.к. большие значения соответствуют резиноподобной консистенции и чрезмерной компактности фаршевой массы, а меньшие - свидетельствуют о нежелательной рыхлости и недостаточной степени агрегирования структурных элементов. В качестве еще одного объективного показателя готового продукта нами выбрана интенсивность окраски при длине волны $\lambda = 582 \text{ нм}$. Желаемое значение этого показателя принято равным 0,550, т.к. получение более интенсивной окраски свойственно колбасам с высоким содержанием товадлины.

Коэффициент эффективности белка (КЭБ), определяющий прибавку массы тела на 1 г потребленного белка и являющийся одним из показателей биологической ценности продукта, также выбран нами в качестве частного критерия оптимизации. Желаемое значение этого показателя принято равным 3,0.

Таким образом для расчета обобщенного критерия оптимизации в качестве частных показателей выбраны наиболее репрезентативные показатели, характеризующие различные группы свойств готового продукта: содержание жира, общего белка, соединительнотканного белка, влагосодержание, ПНС, интенсивность окраски, общая органолептическая оценка, коэффициент эффективности белка, количество прочносвязанной влаги, выход.

Следующим этапом является установление коэффициента важности d_j частных показателей. Значение d_j определяли с применением экспертных методов. Значения исследуемых факторов, при которых достигается минимальная величина обобщенного критерия Π считали оптимальными.

В эту группу^{об} входят образцы, для которых соблюдены условие: $\Pi_j \leq \Pi_{min} + C_{\Pi}$ (2)
 При наличии нескольких опытных точек расчет рекомендуемых уровней факторов (χ_e^{pec}) проводится по формуле:

$$\chi_e^{pec} = \sum_{j=1}^t K_j \cdot c_j \quad (3)$$

где: χ_e^{pec} - значение ρ -го фактора в j -м опыте, в котором $\Pi_j \leq \Pi_{min} + C_{\Pi}$;
 K_j - коэффициент весомости j -го опыта, рассчитываемый с учетом величины Π_j . Чем меньше Π_j , тем больше K_j , при условии $\sum_{j=1}^t K_j = 1$;
 t - число опытов, в которых $\Pi_j \leq \Pi_{min} + C_{\Pi}$

Результаты расчета обобщенного критерия оптимизации на ЭВМ "НАИРИ-К" приведены ниже.

№ образца	Поб	Распределение по величине Поб
I	0,210	7
2	0,289	15
3	0,236	9
4	0,139	1
5	0,248	11
6	0,179	5
7	0,169	4
8	0,148	2
9	0,185	6
10	0,239	10
11	0,279	14
12	0,270	12
13	0,166	3
14	0,319	16
15	0,223	8
16	0,276	13

$C_{\Pi} = 0,05489$

Таким образом, в группу лучших по комплексу частных показателей входят образцы колбас № 4, 8, 13, 7, 6, 9 (см. табл. 2), характеризующиеся следующими показателями:

содержание, %	
влаги	53,9+68,5
жира	15,8+32,8
жира	
прочносвязанного	63,1+74,7
общего белка	10,6+14,5
соединительно-	
тканого белка	1,2+ 2,2
соединительно-	
тканого белка,	
% к общему	
белку	9,4+15,2
соотношение жир/белок	1,2+ 3,1
общая органолептическая	
оценка, балл	3,8+ 4,7
выход, %	117+133
потери массы при термо-	
обработке, %	7,3+10,0

Анализ полученных данных свидетельствует о возможности выработки продукта высокого качества при диапазоне изменения соотношения жир/белок от 1 до 3 и соответствующих изменениях других показателей. Однако попытка максимального приближения любого из частных показателей к его идеальному значению, как правило, приводит к ухудшению каких-либо других свойств. Обобщенный показатель оптимизации позволяет найти такие значения исследуемых факторов, которые обеспечивают разумный компромисс между некоторыми противоречивыми показателями готового продукта.

В результате расчета рекомендуемых значений исследуемых факторов были получены оптимальные значения рецептуры модельных образцов колбас (кг на 100 кг несоленого сырья): мышечная ткань - 78,5, в том числе говяжья - 25,2, свиная 43,3; жировая ткань - 25,0; соединительная ткань - 6,5; добавляемая влага - 33,5.

Выработанные по указанной рецептуре образцы имели следующие значения физико-химических показателей: содержание, %, влаги - 63,50; жира - 22,12; общего белка - 12,17, полноценного белка - 10,94; соединительнотканого белка - 1,24; соотношение жир/белок - 1,82; влага-белок - 5,22; влаги/жир - 2,87; ПНС - 2,17 Па · 10⁻⁴; интенсивность окраски при $\lambda = 582$ - 0,51; общая органолептическая оценка - 4,26 балла; выход - 124,45%; потери массы при термообработке - 7,43%.

Использование обобщенного критерия оптимизации, отражающего совокупность частных показателей, которые характеризуют различные группы свойств готового продукта, позволяет объективно осуществлять выбор оптимального химического состава вареных колбасных изделий. Данная методика может быть использована для обработки рецептур новых видов колбас, определения оптимального химического состава традиционных видов изделий и выбора заданного химического состава колбас с использованием методов линейного программирования.

Таблица 2

Table 2

= 5

Физико-химические, биологические показатели, органолептическая оценка, выход и потери массы при термической обработке готовых образцов модельных колбас
Physico-chemical, biological parameters, organoleptical evaluation, yield and weight losses at thermal treatment of finished samples of model sausages

Показатели Parameters	Номера образцов Samples				
	1	2	3	4	5
Содержание, % Content					
влаги water	65,70	49,00	64,80	68,50	55,50
сухих веществ dry substances	34,30	51,00	35,20	31,50	44,50
общего белка total protein	14,90	9,40	14,80	12,80	9,30
общего белка, % к сухому веществу total protein, % to dry substance	43,40	18,40	42,00	40,60	20,90
соединительного белка connective tissue protein	1,20	1,00	2,80	1,20	1,80
соединительного белка, % к общему белку connective tissue protein, % to total protein	8,05	10,04	18,92	9,37	19,35
мышечного белка muscle tissue	13,70	8,40	12,00	11,60	7,50

Продолжение таблицы 2

Cont. table 2

Показатели Parameters	Номера образцов Samples				
	1	2	3	4	5
мышечного белка, % к общему белку muscle protein, % to total protein	91,95	89,36	81,08	90,63	80,65
жира fat	16,40	39,00	17,30	15,80	32,80
жира, % к сухому веществу fat, % to dry substance	47,80	76,50	49,10	50,20	73,70
соли salt	2,15	2,00	2,10	2,20	2,17
Соотношения ratio					
жир/белок fat/protein	1,10	4,15	1,17	1,23	3,56
влаги/белок water/protein	4,42	5,21	4,37	5,34	5,98
влаги/жир water/fat	4,01	1,26	3,74	4,33	1,69
Влагосодержание, кг/кг water content, kg/kg	1,91	0,96	1,84	2,18	1,25
Напряжение среза, $\text{Pa} \cdot 10^{-4}$ shear force value, $\text{Pa} \cdot 10^{-4}$	1,60	0,90	2,20	1,20	1,57
Интенсивность окраски, нм при = 545 colour intensity, nm at = 545	0,562	0,325	0,374	0,392	0,437
при = 582	0,600	0,333	0,387	0,408	0,450

Продолжение таблицы 2
Cont. table 2

Показатели Parameters	Номера образцов Samples				
	1	2	3	4	5
Органолептическая оценка, балл organoleptical evaluation, point					
цвет colour	4,72	2,88	3,74	3,97	4,13
сочность juiciness	3,78	4,20	3,89	4,65	3,95
консистенция consistency	4,02	3,62	3,96	4,19	3,63
вкус taste	4,18	3,62	3,83	4,67	4,11
общая оценка total evaluation	4,14	3,42	3,87	4,47	3,76
Общая микробная обсеменность в 1 г продукта total microbial load 1g of product	200	900	220	250	320
КЭБ (коэффициент эффективности белка, г/г) protein efficiency ratio g/g	2,26	5,24	2,83	3,32	4,57
Калорийность, ккал caloricity, kcal	213,6	401,2	221,6	199,4	347,6
Выход, % yield, %	115,2	119,8	116,0	133,0	132,2
Потери массы при термообработке, % weight losses at thermal treatment, %	8,00	6,20	8,20	10,00	7,40

Продолжение таблицы 2
Cont. table 2

Номера образцов samples										
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
53,90	63,70	67,10	57,40	54,60	55,30	51,50	65,90	51,50	60,60	58,40
46,10	36,30	32,90	42,60	43,40	44,70	48,50	34,10	48,50	39,40	41,60
10,60	14,50	13,90	13,50	12,80	13,20	12,30	12,50	11,60	10,10	10,70
23,00	39,90	42,20	31,70	28,60	29,50	25,40	36,60	23,90	25,60	25,70
1,20	2,20	1,30	1,60	1,70	1,90	1,40	1,50	1,80	1,20	1,40
11,30	15,17	9,35	11,85	13,28	14,39	11,38	12,00	15,52	9,53	8,70
9,40	12,30	12,60	11,90	11,1	11,30	10,90	11,00	9,80	8,90	9,30
88,70	84,83	90,65	88,15	86,72	85,61	88,62	88,00	84,48	90,47	91,30
32,80	19,00	16,20	26,20	29,70	28,80	32,90	18,80	35,30	25,90	28,50
71,10	52,30	49,20	61,50	68,40	64,40	67,80	55,10	72,80	65,70	68,50
2,00	2,00	2,15	2,12	2,00	2,10	2,15	2,10	2,15	2,20	2,10
3,10	1,31	1,17	1,94	2,32	2,18	2,67	1,50	3,04	2,56	2,66
5,10	4,38	4,84	4,25	4,27	4,19	4,19	5,27	4,44	6,00	5,46
1,64	3,35	4,15	2,19	1,86	1,93	1,57	3,50	1,46	2,34	2,05
1,17	1,91	2,04	1,35	1,20	1,24	1,06	1,83	1,06	1,54	1,40
1,39	1,70	1,75	1,23	1,79	1,60	1,55	1,46	0,83	0,90	1,17
0,400	0,455	0,487	0,525	0,352	0,387	0,525	0,412	0,430	0,437	0,460
0,412	0,475	0,512	0,533	0,377	0,390	0,533	0,425	0,450	0,455	0,477

Номера образцов samples										
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
4,08	4,49	4,71	4,53	3,58	3,46	3,61	3,84	3,53	3,74	3,96
4,40	3,85	4,17	4,20	3,04	3,76	3,73	3,98	3,55	3,95	4,00
4,19	4,24	4,47	4,25	3,87	3,29	3,49	3,83	2,87	3,21	3,80
4,14	4,17	4,46	4,20	3,89	3,45	3,59	3,79	3,12	3,49	3,80
4,24	4,24	4,47	4,34	3,90	3,35	3,44	3,89	2,94	3,33	3,75
I20	I20	I000	I60	I820	550	500	200	350	230	890
5,40	2,95	2,82	I,49	2,30	I,00	I,28	I,54	I,49	I,33	I,30
353,0	236,1	207,7	299,0	328,7	201,9	356,4	226,0	375,9	282,3	308,9
118,5	116,9	124,8	126,1	118,5	127,1	127,9	125,3	127,4	136,7	127,8
8,10	7,80	8,30	7,30	7,00	7,60	6,30	8,90	7,30	7,20	6,90