

О. Ю. Бороздина¹

канд. техн. наук, доцент кафедры статистики и эконометрики Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов

Н. В. Шкурко²

канд. экон. наук, старший преподаватель кафедры статистики и эконометрики Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов

А. В. Кабачек³

аспирант кафедры статистики и эконометрики Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов

ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРЕРАБОТКИ МЯСА ПТИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В начале 1990-х гг. отечественные производители не могли обеспечить население продуктами питания. В эпоху тотального дефицита недорогие американские окорочка (пресловутые «ножки Буша»), заполонившие российские прилавки, стали своего рода спасением. Но за последние 10 лет российское птицеводство превратилось в одну из самых быстрорастущих и успешно развивающихся отраслей АПК (для сравнения: в сегменте крупного рогатого скота Минсельхоз России ежегодно фиксирует убыль поголовья на 2—3%, тогда как доля мяса птицы в произведенных продуктах животноводства в России увеличилась с 12,98% в 1997 г. до 35,37% в 2008 г., табл. 1).

Производство мяса птицы в России более выгодно и рентабельно по сравнению с производством свинины и говядины. По оценкам экспертов, крупное предприятие окупается всего за 3—5 лет. В 2005—2007 гг. показатель рентабельности отечественных птицефабрик составлял 22,7%. Птица растет в среднем чуть более 38 дней, к тому же ее содержание обходится в несколько раз дешевле, чем содержание, например, крупного рогатого скота. По данным Росптицсоюза, ежегодно производство мяса птицы увеличивается на 12—13%.

В 1989 г. в СССР был достигнут значительный объем производства мяса птицы — отрасль была передовой и очень доходной. Когда Советский Союз распался, сложившаяся в стране экономическая ситуация привела к банкротству птицеводческих предприятий. За три года производство упало в семь раз, разорилось 70% фабрик. В начале 2000-х гг. было принято решение поддерживать село и развивать птицеводство на государственном уровне, была разработа-

¹ Эл. адрес: o_borozdina@rambler.ru

² Эл. адрес: hopech8@rambler.ru

³ Эл. адрес: kabalevic@yandex.ru

Таблица 1

Производство продуктов животноводства*

Показатель	1997 г.		2000 г.		2005 г.		2006 г.		2007 г.		2008 г.	
	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%
Скот и птица на убой (в убойном весе)	4854	100,00	4313	100,00	4990	100,00	5278	100,00	5790	100,00	6268	100,00
в том числе:												
крупный рогатый скот	2395	49,34	1868	42,76	1809	36,25	1722	32,63	1699	29,34	1769	28,22
свиньи	1546	31,85	1485	35,40	1569	31,44	1699	32,19	1930	33,33	2042	32,58
овцы и козы	199	4,10	144	3,16	154	3,09	156	2,96	168	2,90	174	2,78
птица	630	12,98	748	17,28	1388	27,82	1632	30,92	1925	33,25	2217	35,37

И с т о ч н и к: Статистический сборник, 2009.

на государственная программа развития АПК, в рамках которой птицеводческими предприятиями был реализован целый ряд инвестиционных проектов. Производители нового типа начали предлагать магазинам не только целые полностью потрошенные тушки, но и ножки, крылья, грудки, а также полуфабрикаты. Разделочные цеха стали размещаться прямо на птицефабриках, что было в новинку. Потребители быстро оценили отечественную продукцию. Если в прошлом все бегали за импортной замороженной потрошенной курицей, то в начале 2000-х гг. россияне почувствовали разницу между охлажденной и замороженной птицей, и уже с 2003 г. началось постепенное увеличение поголовья птиц в хозяйствах всех категорий (рис.1).

Наибольшую долю в птицеводстве занимает выращивание кур. Так, например, в 2008 г. на кур и петухов приходилось 98% поголовья взрослой птицы в сельскохозяйственных организациях России. Сегодня мясо птицы стало одним из самых дешевых источников животного белка, доступного всем слоям населения. В торговых центрах и магазинах килограмм охлажденной целой тушки стоит 80—120 руб.

Для организаций, занимающихся выращиванием птицы, важно сформировать оптимальный план производства для получения максимальной прибыли с учетом производственных и рыночных ограничений.

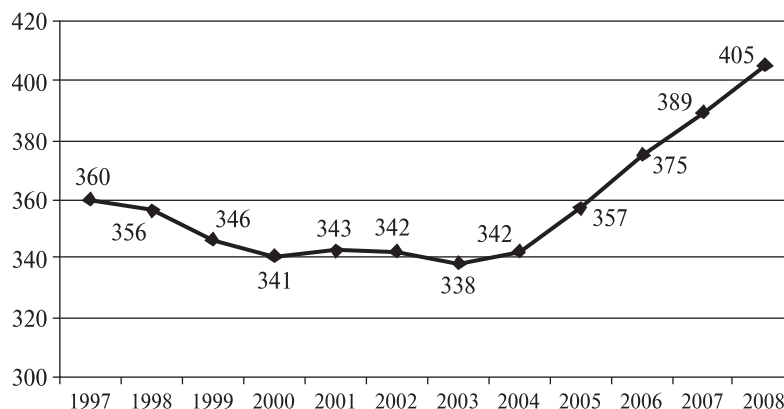


Рис. 1. Поголовье птицы в хозяйствах всех категорий 1997—2008 гг., млн голов

С одной стороны, имеются определенные предпочтения для различных способов переработки мяса птицы в зависимости от веса тушки птицы. Например, птицу с наименьшим весом, имеющую небольшой выход по мясу, более рационально отправлять на глубокую переработку; птица со средним весом пользуется спросом при продаже тушки целиком, а наиболее крупную птицу целесообразнее разделять на части. Кроме того, с разными видами переработки тушки птицы связаны различные производственные затраты.

С другой стороны, одним из существенных факторов производственного процесса является реальный спрос на различные виды продукции птицеводства (фарш, тушка целиком, разделка), который отличается в разные периоды реализации продукции (будни или выходные и праздничные дни).

Для формирования оптимального производственного плана важно своевременно принимать управленческие решения, состоящие в том, в какой период и какую именно весовую группу птицы следует направить на тот или иной вид переработки.

Для решения этой производственной задачи предлагаем использовать методы математического моделирования. К фундаментальным работам по исследованию операций следует отнести работы Вагнера (Вагнер, 1972) и Вентцель (Вентцель, 1972), в которых подробно изложены основные концепции исследования операций и рассмотрены методы оптимизации управляющих решений с помощью аппарата линейного программирования.

Нами разработана методика планирования производства переработки мяса птицы на основе метода линейного программирования, которая включает восемь этапов:

- группировка голов птицы по весовым категориям;
- расчет выхода продукции в убойном весе по каждой весовой категории птицы;
- определение количества готовой продукции по видам в зависимости от варианта переработки мяса птицы;
- определение себестоимости переработки мяса птицы;
- определение цены произведенной продукции;
- расчет прибыли от реализации всей продукции;
- определение коэффициентов α_{iq} в зависимости от спроса на различные виды продукции;
- составление оптимального плана производства переработки мяса птицы.

Введем необходимые обозначения и рассмотрим решение этой задачи как в общем виде, так и на примере данных конкретного предприятия.

1-й этап. Группировка голов птицы по весовым категориям.

На основе репрезентативной выборки птиц, их взвешивания и сравнения показателей с оптимальными показателями веса для данного возраста была проведена группировка голов птицы по весовым категориям, и вся совокупность была разделена на семь групп (табл. 2).

Таблица 2

Группировка по весовым категориям тушек птицы

Весовые категории тушек птицы	1	2	3	4	5	6	7
Средний живой вес тушки, кг	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
Доля тушек <i>i</i> -й весовой категории в совокупности, %	3,46	8,19	14,56	53,65	11,28	7,63	1,23

Распределение живого веса тушек птицы соответствует нормальному распределению. Наибольшее число птицы относится к четвертой весовой категории со средним живым весом тушки 2,2 кг. В течение месяца на птицеперерабатываю-

шем производстве N -й птицефабрики было забито 514 979 голов цыплят бройлера и в итоге было получено 800 т мяса птицы в убойном весе.

2-й этап. Расчет выхода продукции в убойном весе по каждой весовой категории птицы (табл. 3):

$$x_i = l_i \times f_i \times m_i = l_i \times z_i, \quad (1)$$

где x_i — выход продукции из птицы i -й категории, $i = 1, 2, \dots, n$; l_i — число голов i -й категории; m_i — средний живой вес тушки птицы i -й категории; f_i — процент выхода от живого веса тушки i -й категории; $z_i = f_i \times m_i$ — средний убойный вес тушки птицы i -й категории.

Таблица 3

Расчет выхода продукции в убойном весе по весовым категориям птицы

Весовые категории тушек птицы	Средний живой вес тушки, m_i , кг	Число голов птицы, l_i , шт.	Процент выхода от живого веса тушки, f_i , %	Средний убойный вес тушки, z_i , кг	Выход продукции в убойном весе, x_i , кг
	1	2	3	4 = 1 × 3	5 = 1 × 2 × 3 = 2 × 4
1	1,6	17 815	70,11	1,12	19 953
2	1,8	42 199	70,51	1,27	53 593
3	2,0	74 976	70,90	1,42	106 466
4	2,2	276 283	71,28	1,57	433 764
5	2,4	58 107	71,65	1,72	99 944
6	2,6	39 285	72,00	1,87	73 463
7	2,8	6314	72,34	2,03	12 817
Итого	—	514 979	—	—	800 000

3-й этап. Определение количества готовой продукции по видам в зависимости от варианта переработки мяса птицы.

В нашем примере тушки семи весовых категорий используются для трех вариантов производства переработки мяса птицы: 1) глубокая переработка; 2) тушка целиком; 3) разделка тушки. Пусть x_{ji} — количество продукции по j -му варианту переработки мяса птицы i -й категории, где $j = 1, 2, 3$.

В результате трех видов переработки мяса птицы получают следующие виды продукции: 1) условно готовая продукция; 2) тушка птицы целиком; 3) бедро; 4) голень; 5) филе; 6) крыло; 7) спинка. Бедро, голень, филе, крыло и спинка представляют отдельные части тушки, полученные при разделке тушки. Пусть y_v — количество v -го вида продукции, где $v = 1, 2, \dots, p$.

Тушки различных весовых категорий используются для производства разных видов продукции. Так, тушки первой и второй весовых категорий полностью направляются на глубокую переработку. Тушки шестой и седьмой весовых категорий используются только для разделки тушки. Тушки третьей, четвертой и пятой весовых категорий можно распределять на все три рассматриваемых варианта производства переработки мяса птицы в зависимости от рыночного спроса на соответствующие виды продукции.

Для третьей, четвертой и пятой весовых категорий тушки птицы введем коэффициенты, показывающие долю тушки птицы определенной весовой категории в производстве различных видов продукции. Эти коэффициенты могут быть представлены в виде следующей матрицы:

$$\begin{pmatrix} \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \\ \alpha_{41} & \alpha_{42} & \alpha_{43} \\ \alpha_{51} & \alpha_{52} & \alpha_{53} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $\alpha_{iq} \in [0; 1]$ — коэффициент, характеризующий долю тушки птицы i -й весовой категории в q -ом варианте производства; $i = 3, 4, 5$ — весовые категории тушки птицы; $q = 1, 2, 3$ отражает соответственно варианты производства переработки мяса птицы: глубокая переработка, тушка целиком и разделка тушки.

Для i -й весовой категории выполняется условие $\sum_{v=1}^3 \alpha_{iv} = 1$.

Условно готовая продукция в виде фарша для последующего производства колбас получается не только при глубокой переработке тушки птицы целиком, но и в результате разделки тушки. Так, например, гузка, коленный сустав, киль и другие части птицы, оставшиеся после отделения бедра, голени, филе, спинки и крыльев также идут на глубокую переработку. Примем долю выхода фарша при глубокой переработке тушки птицы целиком равной 0,7. Тогда количество произведенной условно готовой продукции (фарша) будет определяться следующим уравнением:

$$y_1 = 0,7(x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41}) + \sum_{i=3}^7 h_i x_{i3}, \quad (3)$$

где $x_{31} = \alpha_{31} x_3$; $x_{41} = \alpha_{41} x_4$; $x_{33} = \alpha_{33} x_3$; $x_{43} = \alpha_{43} x_4$; $x_{53} = \alpha_{53} x_5$; h_i — доля выхода технических отходов (киль, гузка, коленный сустав и др.) от тушки птицы i -й категории, направляемых на глубокую переработку, в убойном весе при разделке тушки.

Значения долей выхода технических отходов от тушки птицы четвертой—седьмой весовых категорий соответственно равны $h_4 = 2,24\%$, $h_5 = 2,06\%$, $h_6 = 1,91\%$ и $h_7 = 1,79\%$.

Производство тушек птицы целиком будет определяться следующим уравнением:

$$y_2 = x_{32} + x_{42} + x_{52}, \quad (4)$$

где $x_{32} = \alpha_{32} x_3$; $x_{42} = \alpha_{42} x_4$; $x_{52} = \alpha_{52} x_5$.

Количество готовой продукции, представляющей отдельные части тушки птицы (бедро, голень, филе, крыло, спинка), определяется следующим уравнением:

$$y_3 = \sum_{g=1}^5 \sum_{i=3}^7 \beta_{gi} x_{i3}, \quad (5)$$

где $x_{33} = \alpha_{33} x_3$; $x_{43} = \alpha_{43} x_4$; $x_{53} = \alpha_{53} x_5$; β_{gi} — доля g -й части тушки птицы i -й весовой категории в убойном весе тушки; $g = 1, 2, \dots, 5$ — номер части тушки, относящийся соответственно к бедру, голени, филе грудки, крыльям и спинке. В качестве коэффициентов β_{gi} были использованы соответствующие нормативы (Справочник по содержанию бройлерного стада ROSS 308, 2007).

4-й этап. Определение себестоимости переработки мяса птицы, которая зависит от объема и стоимости использованных ресурсов. Этот этап был ранее подробно рассмотрен в статье Бороздиной и Шкурко (Бороздина, Шкурко, 2010).

В качестве ресурсов в нашей модели будут учитываться сырье, труд и оборудование. Введем следующие обозначения: ресурс R_1 — объем первичного сырья в количестве b_1 , кг; R_2 — трудовые ресурсы в количестве b_2 , чел.; R_3 — оборудование в количестве b_3 , машин (табл. 4). Для производства продукции y_v по j -му варианту переработки мяса птицы необходимо a_{jk} единиц ресурса R_k , $k = 1, 2, 3$.

Стоимость единицы ресурса равна d_k руб. Тогда $\sum_{k=1}^3 d_k \sum_{j=1}^3 a_{jk} \sum_{v=1}^3 y_v$ — себестоимость всей продукции.

Таблица 4

Исходные данные для оптимизации плана производства

Количество продукции, кг	Ресурсы на единицу продукции		
	R_1 , сырье, кг	R_2 , трудовые ресурсы, чел.	R_3 , оборудование, машин
y_1	0,9700	0,0019357	0,0004164
y_2	1,0000	0,0007274	0,0002314
y_3	0,9902	0,0008061	0,0003615
Количество ресурса на месяц	800 т	23 чел.	8 машин
Стоимость единицы ресурса	60 руб.	1000 руб./день	2125 руб./день

5-й этап. Определение цены произведенной продукции.

Единица продукции w -го вида, $w = 1, 2, \dots, 7$ может быть реализована по средней цене c_w , руб. Отпускные цены реализации рассматриваемых в модели видов продукции представлены в табл. 5. Тогда выручка от реализации произведенной продукции будет определяться как $\sum_{w=1}^7 c_w y'_w$, где y'_w соответствует различным видам продукции, при этом $y'_1 = y_1$, $y'_2 = y_2$ и $y'_3 + y'_4 + y'_5 + y'_6 + y'_7 = y_3$.

Таблица 5

Отпускные цены на производимую продукцию

Номер вида продукции	Виды продукции	Количество реализованной продукции, кг	Цена, руб. за кг, c_w
1	Условно готовая продукция	y'_1	130
2	Тушка	y'_2	80
3	Бедро	y'_3	92
4	Голень	y'_4	102
5	Грудка	y'_5	108
6	Крыло	y'_6	99
7	Спинка	y'_7	45

6-й этап. Расчет прибыли Π от реализации всей продукции производится по формуле:

$$\Pi = \sum_{w=1}^7 c_w y'_w - \sum_{k=1}^3 d_k \sum_{j=1}^3 a_{jk} \sum_{v=1}^3 y_v. \quad (6)$$

Прибыль определяется как разность между выручкой от реализации произведенной продукции и ее себестоимостью. Выручка от реализации произведенной продукции равна $\sum_{w=1}^7 c_w y'_w$. Себестоимость с учетом расхода и стоимости использованных ресурсов по j -му варианту переработки мяса птицы определяется как: $\sum_{k=1}^3 d_k \sum_{j=1}^3 a_{jk} \sum_{v=1}^3 y_v$, где внутренние суммы определяют объем использованного ресурса R_k , $k = 1, 2, 3$.

7-й этап. Определение коэффициентов в зависимости от спроса на различные виды продукции (условно готовая продукция, тушка целиком, бедра, голени, грудка и т. д.) в разные периоды (табл. 6).

Таблица 6

Спрос на различные виды продукции в зависимости от периода, кг

Период	Виды продукции			Итого
	условно готовая продукция	тушка целиком	разделка по частям	
Будние дни (понедельник—пятница)	≤ 79 806	≤ 256 655	≤ 301 985	638 446
Выходные и праздничные дни	≤ 18 350	≤ 80 623	≤ 56 400	155 373

Коэффициенты α_{iq} находятся в результате решения линейной оптимизационной задачи, математическая модель которой имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi(\alpha_{iq}) = \sum_{w=1}^7 c_w y'_w - \sum_{k=1}^3 d_k \sum_{j=1}^3 a_{jk} \sum_{v=1}^3 y_v \rightarrow \max \\ y_v \leq S_v, v = 1, 2, \dots, p \\ \sum_{v=1}^p y_v \leq S \\ \sum_{j=1}^3 a_{jk} \sum_{v=1}^3 y_v \leq b_k, k = 1, 2, 3 \\ x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, 7; j = 1, 2, 3 \\ \sum_{q=1}^3 \alpha_{iq} = 1, i = 3, 4, 5 \end{array} \right. \quad (7)$$

8-й этап. Составление оптимального плана производства переработки мяса птицы.

При выполнении расчетов с использованием надстройки EXCEL *Поиск решения*, при помощи которой можно находить решение для оптимизационных задач, были получены следующие результаты (табл. 7).

Таблица 7

Определение оптимального плана производства

Период	Матрица коэффициентов α_{iq}			Виды продукции, кг			Прибыль*, руб.
				условно готовая продукция	тушка целиком	разделка по частям	
Будние дни (понедельник—пятница)	0,3213	0,6787	0	79 806	224 903	301 985	18 107 379
Выходные и праздничные дни	0	0,4708	0,5292	18 350	77 550	56 400	3 541 975
Итого	0	0	1	98 156	302 453	358 385	21 649 354

* При расчете прибыли учитывались только указанные затраты, так как остальные затраты не зависят от варианта разделки тушки и могут быть учтены предприятием после применения оптимизационной модели.

Таким образом, в результате применения разработанной модели определен оптимальный план производства переработки мяса птицы с учетом спроса в будни и выходные и праздничные дни. В будни 32,13% тушек птицы третьей весовой категории целесообразно направить на глубокую переработку и 67,87% — на производство тушки целиком. Тушки птицы четвертой весовой категории необходимо распределить в следующих пропорциях: 47,08% — на производство тушки целиком и 52,92% — на разделку тушки. Тушки птицы пятой весовой категории необходимо в полном объеме использовать для разделки тушки.

В соответствии с данными о спросе на продукцию конкретной организации птицеводческой отрасли в выходные и праздничные дни по сравнению с будними днями наблюдалось увеличение спроса на тушки целиком и снижение спроса на условно готовую продукцию и продукцию разделки тушки птицы по частям. В результате изменения структуры спроса в нашей модели произойдет изменение коэффициентов α_{iq} , т. е. будет иметь место иное перераспределение тушек птицы третьей, четвертой и пятой весовых категорий на различные виды переработки мяса птицы. Так, в выходные и праздничные дни 25,02% тушек птицы третьей весовой категории будут направлены на глубокую переработку и 74,98% — на производство тушки целиком. Оптимальной пропорцией для тушек птицы четвертой весовой категории будет следующей: 70% тушек птицы четвертой весовой категории — на производство тушки целиком и 30% — на разделку тушки. Тушки птицы пятой весовой категории, так же как и в будние дни, будут в полном объеме направляться на разделку тушки.

В заключение подчеркнем, что в результате применения математического моделирования, а именно линейного программирования, руководство предприятия имеет возможность быстро отреагировать на изменение спроса на реализуемую продукцию на рынке и принять научно обоснованные управленческие решения по планированию объемов производства для получения максимальной прибыли. Представленная в данной работе методика планирования производства переработки мяса птицы позволяет оптимизировать производственные процессы и рационально использовать ресурсы, что, так же как и получение максимальной прибыли, является приоритетными задачами для любого работающего и развивающегося предприятия птицеводческой отрасли.

Источники

Бороздина О. Ю., Шкурко Н. В. Оптимизация плана производства предприятия с учетом рациональности использования ресурсов // Финансы и бизнес. 2010. № 1.

Вагнер Г. Основы исследования операций. М., 1972.

Вентцель Е. С. Исследование операций. М., 1972.

Сельское хозяйство, охота и лесоводство в России. 2009: Стат. сб. / Росстат. М., 2009

Справочник по содержанию бройлерного стада ROSS 308. Aviagen, Newbridge, Midlothian, EH28 8SZ, Scotland, UK, 2007.