

Общий подход к ассортиментно-рецептурной оптимизации в производстве мясопродуктов.

В. ИВАШКИН, А. БОРОДИН, К. СЕРДАКЕИ

Московский технологический институт мясной и молочной промышленности,  
Москва, СССР

Значение мяса и мясопродуктов в обеспечении человеческого организма необходимыми для его нормальной жизнедеятельности белками и другими важными составными частями всё более возрастает. В связи с этим приобретают первостепенное значение вопросы, связанные с повышением эффективности работы предприятий мясной промышленности, которая в первую очередь определяется рациональным хозяйствованием сырьём и разных фондов. Для обеспечения актуальной деятельности предприятия как сложной системы с различными цехами в качестве отдельных подсистем необходимо совместное рассмотрение технологии и управления. Поскольку предприятие мясной промышленности осуществляет снабжение населения продуктами с коротким сроком хранения и при этом стоимость и удельный вес исходного сырья в конечной продукции значителен, уже при определении целей предприятия и в основном при их декомпозиции по уровням и иерархии является необходимым учет технологических соотношений.

Среди целей предприятия в силу его подсистемного характера можно выделить внешние цели, главная из которых состоит в удовлетворении населения мясом и мясопродуктами, и внутренние цели, так как предприятие одновременно является и сложной системой. Необходимым, но недостаточным условием достижения целей предприятия является наличие определенных материальных и умственных средств и ресурсов. Цели определяют не только количество и структуру необходимых средств, но и их качество. Достаточным условием достижения целей является достижение целесообразно упорядоченного состояния определенных средств. Поскольку предприятие, как система, имеет иерархическую структуру, то и цели отдельных цехов, заводов и отделов тоже образуют своеобразную иерархическую структуру. Эти отдельные цели взаимосвязаны между собой таким образом, что цели более низкого уровня иерархии являются средством достижения целей более высокого уровня.

Поскольку достижение основной внешней цели возможно различными способами, то необходим объективный критерий оценки эффективности её достижения. Таким критерием актуальности деятельности предприятия может быть его прибыльность. При этом необходимо выполнение плана по производительности труда и использованию фонда заработной платы.

Существует несколько путей повышения прибыли предприятия, так, например:

- повышение объема производства по выгодным продуктам;
- изменение в положительную сторону структуры выпускаемых товаров;
- снижение себестоимости продукции.

В большинстве случаев постоянное повышение объема производства приводит к ситуации, когда исходное сырье или производственные мощности, или возможности по реализации становятся узким местом, определяющим фактором. Положительное изменение в структуре выпускаемых товаров можно осуществить в результате решения ассортиментной задачи линейного программирования. При наличии нескольких целей у предприятия при применении линейного программирования оптимизация идет вначале по одной цели, имеющей определенный приоритет (прибыль), далее разрешается определенное отклонение от оптимума и оптимизация идет по второй цели (например, минимум используемого труда).

Снижение себестоимости происходит не вообще, а по отдельным продуктам. В технологической сфере разбора снижение себестоимости является однозначной задачей, в сфере же сбора (при колбасном производстве) задача эта неоднозначна, так как из-за наличия рецептурных вариантов на отдельные продукты себестоимость продукции по этим рецептурам может быть разной, а цена готовой продукции одной и той же. Исследование потребительской стоимости конкретных продуктов помогает в повышении эффективности ведения производства, однако, достаточным условием актуальности может являться тот случай, когда отдельные продукты и структура выпускаемых изделий одновременно и вместе соответствует оптимальным критериям. С целью актуального решения ассортиментно-рецептурной задачи необходимо рассмотреть математическое моделирование отдельных колбасных изделий и синтезировать отдельные модели продуктов и общую модель производства.

При моделировании после определения целей необходимо фиксировать те условия, которые должны быть удовлетворены. Эти условия, требования часто застандартизованы. Наиболее современной структурой стандартов колбасных изделий, обеспечивающей нужную степень свободы для мясной промышленности, следует считать такую, при которой свойства конечного продукта описываются многосторонне и точно, а на качество и количество исходного сырья стандарты содержат только общие положения с некоторым запретом. Стандартные свойства готового продукта можно разделить на две группы. В первой группе можно собрать объективные (в основном химические) параметры, а во второй — органолептические показатели, которые суммарно оцениваются по стообальной системе. Рассмотрим более подробно застандартизованные объективные параметры готового продукта. Для удовлетворения требования стандарта данной колбасы по минимально допустимому белковому содержанию  $B_{\text{мин}}$  используем из  $i$ -ого сорта говядины долю  $A_i$ , из  $j$ -ого сорта свинины долю  $B_j$ , а из  $k$ -ого прочего материала (плазма, кровь, бедковые концентраты и т.д.) долю  $C_k$ . Исходные компоненты содержат в  $i$ -ых — белок  $A_i$ ,  $B_j$ ,  $C_k$ . При термической обработке колбасный фарш имеет определенный выход  $\alpha \leq 1$ . Необходимо учесть то обстоятельство, что при потере веса данный химический компонент определенным образом уменьшается. Коэффициент  $\beta$  от-



$$\alpha \beta^{\delta} \left( \sum_{i=1}^n a_i A_i^{\delta} + \sum_{j=1}^m b_j B_j^{\delta} + \sum_{k=1}^p c_k C_k^{\delta} \right) \geq B_{\text{мин}}$$

Стандарты по влагосодержанию тоже содержат ограничение  $B_{\text{макс}}$ , но здесь требование "максимально допустимое". Аналогично уравнению (1) баланс по влаге:

$$\alpha \beta^b \left( \sum_{i=1}^n a_i A_i^b + \sum_{j=1}^m b_j B_j^b + \sum_{k=1}^p c_k C_k^b + 100 \gamma \right) \leq B_{\text{макс}}$$

где  $A_i^b$ ;  $B_j^b$ ;  $C_k^b$  - влагосодержание компонентов;  $\gamma$  - добавленная доля воды;  $\beta^b$  - коэффициент, учитывающий долю влаги в потере веса (конечно, основная часть потери - это потеря по влаге).

В некоторых случаях, например, у сырокопченых изделий, необходимо составить аналогичное балансное уравнение по жиру:

$$\alpha \beta^{\omega} \left( \sum_{i=1}^n a_i A_i^{\omega} + \sum_{j=1}^m b_j B_j^{\omega} + \sum_{k=1}^p c_k C_k^{\omega} \right) \leq \omega_{\text{макс}}$$

После этого можно записать общее уравнение материального баланса:

$$\sum_{i=1}^n a_i + \sum_{j=1}^m b_j + \sum_{k=1}^p c_k + \gamma + \delta = \alpha^{-1}$$

где:  $\delta$  - суммарная удельная доля специй и солей, которые еще не были учтены в группе прочих материалов.

Уравнения (1)-(4) могут являться ядром математической модели, даже уравнения (2) или (3) могут быть пропущены. Общее количество белка не определяет однозначно качество и ценность мясoproдукта. Для однозначности кроме застандартизованных показателей необходимо ввести еще одно уравнение, например, баланс по белкам мускульного происхождения, и белкам, которые по конкретному химическому анализу входят в эту же группу:

$$\alpha \beta^{\mu} \left( \sum_{i=1}^n a_i A_i^{\mu} + \sum_{j=1}^m b_j B_j^{\mu} + \sum_{k=1}^p c_k C_k^{\mu} \right) \geq B_{\text{мин}}^{\mu}$$

При добавлении воды возникает вопрос о водосвязывающей и водоудерживающей способности мяса. Хотя были разработаны приближенные методы для оценки этих показателей, но учитывая сложность данной проблемы лучше использовать уравнение

$$\gamma \leq a_i \varepsilon_i$$

где коэффициент  $\varepsilon_i$  - удельная водосвязывающая (удерживающая) способность мяса  $i$ -ого сорта, которая определяется опытным путем.

Кроме объективных химических показателей должны быть удовлетворены характерные органолептические свойства колбасного продукта. Если в стандарте нет жестких рецептур, необходимо определить тот интервал удельной доли всех компонентов рецептуры, при котором продукт еще не теряет свои характерные черты.

Это выполняется экспериментально, чтобы получить неравенства:

$$a_i^{\text{мин}} \geq a_i \geq a_i^{\text{макс}} \quad (7); \quad b_j^{\text{мин}} \geq b_j \geq b_j^{\text{макс}} \quad (8); \quad c_k^{\text{мин}} \geq c_k \geq c_k^{\text{макс}} \quad (9)$$

По чужим белкам тоже может быть ограничение:

$$\sum_{k=1}^p c_k C_k^{\delta} \leq B_{\text{макс}}^{\text{чуж}}$$

Предполагается, что набор специй, степень измельчения и использование кишок с формированием соответствует характеру продукта. В этом случае уравнения (1)-(10) определяют идеальную модель входа-выхода колбасных изделий. Из этого общего случая можно вывести все частные модели отдельных укрупненных групп.

Однако построенная идеальная модель для конкретного практического применения не годится в силу того, что все входные параметры и даже коэффициенты - случайные величины. Поэтому при использовании модели в реальных условиях необходим учет вероятностного характера процесса производства мясoproдуктов и это положение должно быть также зафиксировано в стандартах через математическое ожидание и дисперсию параметров готового продукта.

Зная все важные параметры колбасного производства, заранее можно рассчитать дисперсию параметров готового продукта и для их выборочного среднего.

После расчета половины доверительных интервалов можно перейти к реальной модели колбасных изделий. В этом случае меняются только формулы (1), (2), (3), (5)

$$\alpha \beta^{\delta} \left( \sum_{i=1}^n a_i A_i^{\delta} + \sum_{j=1}^m b_j B_j^{\delta} + \sum_{k=1}^p c_k C_k^{\delta} \right) \geq B_{\text{мин}} + k \Delta B \quad (1a)$$

$$\alpha \beta^b \left( \sum_{i=1}^n a_i A_i^b + \sum_{j=1}^m b_j B_j^b + \sum_{k=1}^p c_k C_k^b \right) \leq B_{\text{макс}} - k \Delta B \quad (2a)$$

$$\alpha \beta^{\omega} \left( \sum_{i=1}^n a_i A_i^{\omega} + \sum_{j=1}^m b_j B_j^{\omega} + \sum_{k=1}^p c_k C_k^{\omega} \right) \leq \omega_{\text{макс}} - k \Delta \omega \quad (3a)$$

$$\alpha \beta^{\mu} \left( \sum_{i=1}^n a_i A_i^{\mu} + \sum_{j=1}^m b_j B_j^{\mu} + \sum_{k=1}^p c_k C_k^{\mu} \right) \geq B_{\text{мин}}^{\mu} + k \Delta B^{\mu} \quad (5a)$$

где  $\Delta B$ ;  $\Delta B^b$ ;  $\Delta \omega$ ;  $\Delta B^{\mu}$  - среднеквадратические отклонения выборочного среднего,  $k$  - коэффициент степени точности.



Построенная реальная модель при конкретной числовой реализации определяет область допустимых решений. Указанная область определяет множество рецептур, которые удовлетворяют все химические и органолептические требования стандарта с учетом вероятностного характера материальных процессов. На основе этой модели можно рассчитать наиболее выгодный (самый дешевый) вариант. Это легко дается, применяя линейное программирование. Однако, стоит заметить, что это является односторонним применением, так как при этом не учитываются все ограничения

деятельности. Это возможно учесть при совместном конструировании отдельных продуктов и всего ассортимента. Это делается при синтезе двух групп математических моделей: по решению ассортиментной задачи по отдельным видам колбасных изделий.

Математические модели отдельных колбасных изделий, как это было уже замечено, обычно определяют область допустимых решений. Можно доказать, что если эти области существуют, то они представляют выпуклую фигуру.

При синтезе двух групп моделей ведущим является матричная модель всей деятельности как более высокий порядок интеграции. Для реализации поставленной задачи предлагаются следующие шаги.

1. Определить так называемые краевые рецептуры по отдельным моделям колбас.
2. Полученные краевые рецептуры использовать при построении матричной модели.
3. Ввести дополнительные равенства в матричную модель, учитывающие то обстоятельство, что продукты можно производить по нескольким рецептурам.
4. Производить цифровую реализацию матричной модели (например, решая ассортиментную задачу).
5. Полученные оптимальные значения использовать как весовые коэффициенты и рассчитать среднюю оптимальную рецептуру. В оперативном плане выдать оптимальную среднюю рецептуру и общее количество по всем рецептурам.

При реализации этих действий матричная модель меняется следующим образом:

1. Ограничения по торговым соображениям имеют вид

$$F_{ke}^M \geq \sum_{s=1}^t F_{kls} \geq F_{ke}^A$$

где:  $F_{ke}^M$ ;  $F_{ke}^A$  - верхние и нижние ограничения по торговым соображениям;  
 $F_{kls}$  - количество продукта, произведенного по рецептуре

2. Дополнительные равенства по отдельным продуктам

$$F_{ke} = \sum_{s=1}^t F_{kls}$$

где:  $F_{ke}$  - общее количество данного продукта.

3. Групповые ограничения перейдут в двойную сумму

4. Если конкретное значение рецептуры  $S$  будет  $P_s$  то весовая средняя рецептура тоже будет элементом множества допустимых значений

$$\frac{\sum_{s=1}^t F_{kls}^{opt} \cdot P_s}{\sum_{s=1}^t F_{kls}} \in MD3$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ивашкин Ю.А., Кошелев Л.Г., Автоматизированная информационная система предприятий мясной и молочной промышленности, Москва, Пищевая промышленность, 1978 г., 180 с.
2. Yu.A. Ivashkin, I.I. Protopopov and Yu.G. Kostenko, Modelling and Algorithmization of the Processes of meat quality control, 26th European Meeting of Meat Research Workers.
3. Körmendy L., Erdős Z., Zúkal E., Mathematical model for the manufacture of frankfurter type sausages., Acta Alimentozs, vol. 8 /4/, pp 343-355, Budapest, 1979.
4. Szerdahelyi Károly: A húsipari tevikenység átfogó modellezése. "Husipar" 3/1981, 4/1981, 1/1982 Budapest.