

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ АГРАРНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

И. Д. БЛАЖ

(Кишинев)

Сырье является важнейшим элементом затрат на производство сахара, удельный вес которых в его себестоимости значительно выше, чем в среднем по пищевой промышленности. Между тем выращивание и переработка сахарной свеклы на сахар представляют собой звенья одного производственного процесса. Двухстадийность производства сахара (выращивание и переработка свеклы), как и многих других пищевых продуктов, характерна для аграрно-промышленных систем. Поэтому сахарный завод и входящие в его сырьевую зону сельскохозяйственные предприятия необходимо рассматривать как аграрно-промышленную систему, причем подразделения такой системы могут оставаться самостоятельными.

Одним из резервов повышения эффективности свеклосахарного производства является оптимальное размещение посевов сахарной свеклы по отношению к заводам, повышение свеклоуплотненности в сельскохозяйственных предприятиях, расположенных в непосредственной близости к сахарным заводам, и установление рациональных аграрно-промышленных связей.

Вопросы организации оптимальной сырьевой зоны вокруг сахарного завода следует рассматривать в едином комплексе с проблемами развития и размещения всех отраслей сельского хозяйства. Для этого все отрасли сельского хозяйства должны включаться в единую модель, решение которой определит не только оптимальную сырьевую зону, т. е. ареалы возделывания сахарной свеклы, но и размещение всех остальных отраслей сельскохозяйственного производства и наиболее рациональные связи сахарного завода с сельскохозяйственными предприятиями [1]. Такая задача ставится и решается по единому критерию оптимальности — минимуму совокупных затрат колхозов, совхозов и заводов по производству намеченного объема сельскохозяйственной продукции, по ее доставке до перерабатывающих предприятий и переработке (имеется в виду доставка и переработка сахарной свеклы). Однако постановка задачи по этому критерию намного сужает степень свободы переменных, поскольку заранее задается объем производства. В связи с этим наиболее целесообразно решать эту задачу по критерию оптимальности «максимум прибылей», получаемых заводом и сельскохозяйственными предприятиями, задавая ограничения снизу по объему производства важнейших видов продукции. Такая постановка задачи расширяет границы свободы переменных и, следовательно, повышает эффективность оптимизации системы. Максимизацию прибыли не следует рассматривать как самоцель системы, так как обязательным условием модели является необходимость удовлетворения потребностей установленных объемов производства различных видов продукции в целом по аграрно-промышленной системе.

Для аграрно-промышленных систем свеклосахарного производства наряду с оптимизацией размещения производства сахарной свеклы по колхозам и совхозам большое значение имеет также оптимизация графика уборки, переработки и хранения сахарной свеклы.

В настоящее время предложен ряд математических методов для выбора сроков начала уборки и переработки сахарной свеклы с использованием различных критериев оптимальности. Так, в [2] в качестве критерия оптимальности принят минимум себестоимости единицы собранного сахара, в [3] — максимум выхода сахара.

Оптимальный график уборки, переработки и хранения сахарной свеклы должен определяться одновременно с оптимизацией сырьевой зоны каждого сахарного завода в единой экономико-математической задаче. В ней можно предусмотреть учет комплексного использования рабочей силы и сельскохозяйственной техники по уборке не только одной сахарной свеклы, но и всех остальных культур при критерии «максимум прибылей», получаемых сахарным заводом от переработки свеклы и

сельскохозяйственными предприятиями от всех отраслей, в том числе и от выращивания сахарной свеклы.

Такая постановка задачи позволяет, с одной стороны, учесть в критерии оптимальности надбавку, выплачиваемую за сданную хозяйствами свеклу до 15 сентября, рост урожайности корнеплодов по периодам уборки, а также оплату свеклы в зависимости от содержания в ней сахара. С другой стороны, этот критерий учитывает потери сахара в производстве при переработке свеклы по периодам, а также усушку, гниль и другую порчу свеклы по периодам ее хранения.

В приведенной ниже комплексной модели оптимизации аграрно-промышленной системы свеклосахарного производства одновременно с оптимизацией сырьевой зоны сахарного завода оптимизируется и график уборки, переработки и хранения сахарной свеклы.

Найти оптимальный план

$$\Pi = \{x_{jk}, \bar{x}'_{j'k}, z_{phs}, u^r, y^r, x_{ik}'\},$$

для которого

$$F = \max \left\{ \sum_{j=1(j \neq j')}^{n_k} \sum_{k=1}^K (c_{jk} - \bar{c}_{jk}) x_{jk} + \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^{R_1} (c'_{j'k} - \bar{c}'_{j'k}) e_{p'j'h}^r \bar{x}'_{j'h} - \right. \\ \left. - \sum_{k=1}^S \sum_{r=1}^K \sum_{p=1}^P a_{phs} z_{phs} + \sum_{r=1}^n (\omega - v^r) \gamma^r u^r - \sum_{r=1}^R \varphi^r \lambda^r y^r \right\}$$

при ограничениях по использованию сельскохозяйственных угодий в каждом хозяйстве

$$\sum_{j=1}^{n_k} a_{ijk} x_{jk} \leq b_{ik}, \quad i = 1, \dots, m_k', \quad k = 1, \dots, K; \quad (1)$$

при ограничениях по использованию трудовых и денежно-материальных ресурсов по периодам проведения сельскохозяйственных работ

$$\sum_{j=1}^{n_k} a_{ijk}^{(t)} x_{jk} \leq b_{ik}^{(t)}, \quad i = m_k' + 1, \dots, m_k'', \quad t = 1, \dots, T, \quad k = 1, \dots, K; \quad (2)$$

при соблюдении балансов по использованию минеральных и органических удобрений

$$\sum_{j=1}^l a_{ijk} x_{jk} - \sum_{j=l_k+1}^{n_k} \rho_{ijk} x_{jk} - x_{ik}' \leq 0, \quad (3) \\ i = m_k'' + 1, \dots, m_k, \quad k = 1, \dots, K;$$

при ограничениях по производству и использованию кормов

$$- \sum_{j=1}^{l_k} v_{hjk}^{(t')} x_{jk} + \sum_{j=l_k+1}^{n_k} q_{hjk}^{(t')} x_{jk} \leq D_{hk}, \quad (4) \\ t' = 1, \dots, T', \quad k = 1, \dots, K;$$

при ограничениях по выполнению основных требований полевых севооборотов

$$\sum_j a_{jk}' x_{jk} - \sum_j a_{jk}'' x_{jk} \leq 0, \quad j \in l_k, \quad (5a)$$

$$x_{jk} \leq \frac{E_{jk}}{100} b_{ik}, \quad k = 1, \dots, K, \quad j \in n_k; \quad (5б)$$

при условиях развития отдельных отраслей в установленных пределах

$$d_{jk} \leq x_{jk} \leq d_{jk}', \quad j \in n_k, \quad k \in K; \quad (6)$$

при условиях обеспечения отдельными продуктами внутренних потребностей каждого хозяйства

$$\sum_{j=1}^{n_k} \varepsilon_{pjk} x_{jk} \geq Q_{pk}, \quad p \in P, \quad k \in K; \quad (7)$$

при соблюдении в каждом хозяйстве баланса между объемами производства и заготовок по каждому продукту

$$\sum_{s=1}^s z_{pks} - \varepsilon_{pjk} x_{jk} \leq 0, \quad p \in P, \quad k \in K, \quad j \in J; \quad (8)$$

при условиях обеспечения сырьем заводов, находящихся в рассматриваемой сырьевой зоне

$$\sum_{h=1}^k z_{pks} \leq M_{ps}', \quad p \in P, \quad s \in S; \quad (9)$$

при соблюдении балансов суммы убираемых площадей сахарной свеклы по периодам и общей площади свеклосеяния

$$-x_{j'h} + \sum_{r=1}^{R_1} \bar{x}_{j'h}^r = 0, \quad k = 1, \dots, K; \quad (10)$$

при соблюдении баланса между количеством убираемой, перерабатываемой и хранимой свеклы в периодах свеклоуборки

$$\sum_{h=1}^k \varepsilon_{p'j'h}^r \bar{x}_{j'h}^r + (1 - \lambda^{r-1}) y^{r-1} - u^r - y^r = 0, \quad r = 1, \dots, R; \quad (11)$$

при соблюдении баланса между объемом хранимой свеклы на начало каждого периода, количеством переработанной за этот период и остатком свеклы на хранение в конце данного периода

$$(1 - \lambda^{r-1}) y^{r-1} - u^r - y^r = 0, \quad r = R_1 + 1, \dots, R; \quad (12)$$

при ограниченной мощности сахарного завода по переработке свеклы на каждый период

$$u^r \leq L^r, \quad r = 1, \dots, R; \quad (13)$$

при ограничении максимальной возможности уборки свеклы в каждый период (из-за ограниченного наличия свеклоуборочной техники, автотранспорта и других ресурсов)

$$\varepsilon_{p'j'h}^r x_{j'h}^r \leq B^r, \quad r = 1, \dots, R, \quad k = 1, \dots, K; \quad (14)$$

при условиях по обязательному производству важнейших продуктов в целом по всей сырьевой зоне в объеме, не менее установленных в них потребностей

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{n_k} \varepsilon_{pjk} x_{jk} \geq Q_p, \quad p \in P; \quad (15)$$

при ограничениях по распределению между хозяйствами имеющегося фонда минеральных удобрений

$$\sum_{h=1}^k x_{ih}' \leq A_i, \quad i = m_k'' + 1, \dots, m_k; \quad (16)$$

при условиях неотрицательности переменных

$$\begin{aligned} x_{jk} &\geq 0, & \bar{x}_{j'k} &\geq 0, & z_{pks} &\geq 0, \\ u^r &\geq 0, & y^r &\geq 0, & x_{ih'} &\geq 0, \end{aligned} \quad (17)$$

$$j = 1, \dots, n_k, \quad k = 1, \dots, K, \quad r = 1, \dots, R, \quad i = m_k + 1, \dots, m_k, \quad s = 1, \dots, S.$$

В модели приняты следующие обозначения: j — порядковый номер сельскохозяйственных отраслей, включаемых в задачу в число переменных; j' — индекс сахарной отрасли, $j' \in j$, $j = 1, 2, \dots, l_k, l_k + 1, l_k + 2, \dots, n_k$; k — номер сельскохозяйственного предприятия, входящего в сырьевую зону сахарного завода, $k = 1, 2, \dots, K$; K — количество сельскохозяйственных предприятий, входящих в сырьевую зону рассматриваемого сахарного завода; n_k — общее количество сельскохозяйственных отраслей, входящих в задачу по k -му предприятию; l_k — количество переменных по растениеводству в k -м предприятии; $(n_k - l_k)$ — количество переменных по животноводческому отраслям в k -м предприятии; i — номер производственных ресурсов, ограничивающих производство, $i = 1, 2, \dots, m_k', m_k' + 1, m_k'' + 2, \dots, m_k'' + 1, m_k'' + 2, \dots, m_k$; m_k' — количество различных видов земельных угодий, учитываемых в задаче по k -му предприятию; $(m_k' + 1) \leftrightarrow m_k''$ — количество прочих производственных ресурсов, ограничивающих производство по k -му предприятию; $(m_k'' + 1) \leftrightarrow m_k$ — количество различных видов питательных веществ, необходимых для сельскохозяйственных культур и учитываемых в задаче по k -му предприятию; s — номер завода, перерабатывающего сельскохозяйственное сырье, $s' — сахарный завод, $s' \in s$, $s = 1, 2, \dots, S$; S — количество заводов, перерабатывающих сельскохозяйственное сырье, получаемое с сельскохозяйственных предприятий рассматриваемой зоны; p — индекс различных видов продукции, $p' — индекс корнеплодов сахарной свеклы $p' \in p$, $p = 1, 2, \dots, P$; P — количество различных видов продукции; r — индекс периодов уборки и переработки сахарной свеклы, $r = 1, 2, \dots, R_1, R_1 + 1, \dots, R$; R_1 — количество периодов уборки сахарной свеклы; R — количество периодов переработки сахарной свеклы; h — индекс ограничений по кормовым ресурсам, $h = 1, 2, \dots, H_k$; H_k — количество различных групп кормов, вводимых в задачу по k -му предприятию; t — номер периода проведения сельскохозяйственных работ, $t = 1, 2, \dots, T_k$ (во время уборки свеклы t могут совпадать с r); T_k — количество периодов по k -му предприятию; t' — номер периода по использованию кормов, $t' = 1, 2, \dots, T_k'$; T_k' — количество периодов по использованию кормов в k -м предприятии; z_{pks} — искомый объем перевозок p -го продукта из k -го предприятия в s -й пункт; x_{jk} — искомый размер j -й отрасли в k -м предприятии; $x_{ih'}$ — искомое количество необходимых минеральных удобрений i -го вида в k -м предприятии; $\bar{x}_{j'k}^r$ — искомое количество гектаров плантаций сахарной свеклы, подлежащее уборке за r -й период; u^r — искомое количество перерабатываемой свеклы за r -й период; y^r — количество хранимой свеклы в конце r -го периода; c_{jk} — стоимость продукции, получаемой с единицы j -й отрасли в k -м предприятии; \bar{c}_{jk} — себестоимость продукции, получаемой с единицы j -й отрасли в k -м предприятии без учета транспортных расходов по доставке продукции на перерабатывающие заводы; $c_{j'k}^r$ — закупочная цена 1 ц свеклы, убираемой за r -й период в k -м предприятии; $\bar{c}_{j'k}^r$ — себестоимость 1 ц свеклы, убираемой за r -й период в k -м предприятии; ω — оптовая цена 1 ц сахара; v^r — себестоимость выработки 1 ц сахара за r -й период; γ^r — выход сахара с единицы перерабатываемой свеклы за r -й период; λ^r — доля потерь и порчи сахарной свеклы при ее хранении за r -й период; ϕ^r — стоимость единицы свеклы к r -му периоду ее хранения; α_{pks} — затраты на перевозку единицы продукции p -го вида из k -го предприятия в пункт s ; a_{ijk} — затраты ресурсов i -го вида на производство единицы, j -й отрасли в k -м предприятии, $a_{ijk}^{(t)}$ — то же в t -м периоде; b_{ih} — объем производственных ресурсов i -го вида в k -м предприятии, $b_{ih}^{(t)}$ — то же в t -м периоде; ρ_{ijk} — содержание i -го питательного вещества в навозе, получаемом от единицы j -го вида скота в k -м предприятии; $v_{hjk}^{(t)}$ — содержание h -го вида питательных веществ в продукции, выделяемой на корм скоту с единицы j -й отрасли в t -м периоде в k -м предприятии; $g_{hjk}^{(t)}$ — затраты h -го вида питательных веществ в расчете на единицу j -й животноводческой отрасли в t -м периоде в k -м предприятии; $D_{hk}^{(t)}$ — количество кормов h -го вида, поступающих с других источников, не включенных в задачу, в k -м предприятии в t -м периоде; $a_{jk'}$ — коэффициент связи для j -й культуры, по которой установлено ограничение, требующее определенных предшественников по k -му предприятию; $a_{jk''}$ — коэффициент связи для j -й культуры, являющейся в севообороте предшествующей для другой в k -м предприятии; E_{jk} — максимально допустимый процент включения j -й культуры в состав по-$$

севной площади в k -м предприятии; d_{jk}' и d_{jk} — максимальные и минимальные границы ареалов возделывания j -й отрасли в k -м предприятии; ε_{pjk} — получение p -го вида продукции с единицы j -й отрасли в k -м предприятии, $\varepsilon_{p'ik}$ — урожайность с 1 га корнеплодов сахарной свеклы, убираемой за r -й период в k -м предприятии; M_{ps} — потребность s -го пункта (завода) в p -й продукции; Q_{pk} — объем гарантированного производства p -го вида продукции в k -м предприятии; L^r — максимальная мощность сахарного завода по переработке сахарной свеклы за r -й период; B^r — максимальная возможность по уборке сахарной свеклы за r -й период из-за ограниченности техники или других ресурсов; Q_p — объем гарантированного производства p -го вида продукции во всей рассматриваемой зоне.

В результате решения задачи определяется: 1) размещение всех сельскохозяйственных отраслей по хозяйственным зонам; 2) специализация и сочетание отраслей в каждом хозяйстве; 3) структура посевных площадей и животноводческих отраслей в каждом хозяйстве; 4) границы размещения сахарной свеклы и на этой основе радиус оптимальной сырьевой зоны вокруг завода; 5) объемы перевозок сахарной свеклы к заводу и его приемным пунктам, а также объемы перевозок других продуктов к пунктам реализации; 6) потребности каждого хозяйства в минеральных удобрениях; 7) график уборки сахарной свеклы по периодам (дням, пятидневкам или десятидневкам) для каждого хозяйства; 8) график переработки и хранения свеклы на сахарном заводе; 9) объем прибылей, получаемый сахарным заводом от переработки свеклы и хозяйствами зоны от возделывания всех отраслей и культур.

Предлагаемая математическая модель задачи использовалась нами для оптимизации производства сахарного завода мощностью 15,5 тыс. ц переработки свеклы в сутки. В сырьевую зону данного завода в настоящее время входят 32 колхоза. Среднее расстояние по доставке свеклы к заводу составляет 31 км; 8 колхозов находятся на расстоянии от 41 до 50 км и поставляют заводу 21,7% сырья. Комплексная экономико-математическая задача по оптимизации аграрно-промышленной системы свекло-сахарного производства формулируется на основе общей задачи линейного программирования и является задачей блочного типа. Следовательно, условия производства каждого хозяйства записываются в отдельный блок. По зоне рассматриваемого завода следовало бы иметь 32 блока, кроме общих условий, которые составляют связующий блок.

Решение задачи в такой форме на ЭВМ составляет определенные трудности из-за ее больших размеров. Поэтому все 32 колхоза сырьевой зоны распределены по шести группам, причем в одну группу объединяются хозяйства, из которых свекла доставляется на один и тот же приемный пункт. Это дало возможность определить в результате решения задачи и целесообразность содержания заводом глубинных приемных пунктов, а также количество свеклы, доставляемой из отдельных хозяйств на призаводской пункт и в другие пункты отдельно.

Система неравенств и уравнений, характеризующих нормы производственных затрат и наличие производственных ресурсов, представляется по каждой группе колхозов в виде отдельного матричного блока, содержащего необходимую информацию по данной группе колхозов: перечень переменных, систему условий и ограничений производства с их технико-экономическими коэффициентами. Все шесть блоков объединяются в одну задачу присоединением к ним дополнительных ограничений, которые образуют связующий блок.

Цель задачи не только в определении оптимального развития и размещения сельскохозяйственного производства в хозяйствах сырьевой зоны, но и в установлении наиболее рациональных аграрно-промышленных связей колхозов и сахарного завода по выращиванию, заготовке, переработке и хранению фабричной сахарной свеклы, обеспечивающих колхозам и заводу получение максимальной прибыли. Предполагалось, что производство имеет место при тех же производственных условиях и ресурсах, которые имелись в среднем за 1964—1966 гг. Естественно, что и все нормативы затрат труда, денежно-материальных затрат и др. на единицу продукции, а также урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность животноводства принимаются такими, какими они фактически были в среднем за 1964—1966 гг.

При постановке задачи учитывались следующие условия:

1. Продажа государству всех видов сельскохозяйственных продуктов в объеме, не ниже фактической их продажи в среднем за 1964—1966 гг., который позволил бы полностью обеспечить колхозников важнейшими продуктами питания (по фактически сложившимся нормам в этих же хозяйствах в среднем за 1964—1966 гг.).

2. Полное обеспечение животноводства кормами собственного производства (предусмотрена возможность покупки только свекловичного жома и подсолнечного жмыха).

3. Полное обеспечение семенами собственного производства или же производство достаточного количества дополнительного зерна для обмена его на семена более высоких кондиций.

4. Площади многолетних насаждений фиксируются по каждой группе колхозов в среднем уровне на 1964—1966 гг.

5. Обеспечение выполнения всех работ собственными трудовыми ресурсами.

6. Соответствие площадей посева различных сельскохозяйственных культур основным требованиям агротехники и принятых севооборотов.

7. Обеспечение производства сахара из поставляемой хозяйствами зоны свеклы в объеме, не ниже фактически достигнутого в среднем за 1964—1966 гг.

Задача состоит из 272 переменных и 225 ограничений. График уборки сахарной свеклы определялся по декадам, начиная с 1 сентября по 30 октября; график переработки и хранения свеклы на заводе — также по декадам, начиная с 1 сентября. Решение задачи на ЭВМ внесло в размещение и специализацию сельскохозяйственного производства по группам колхозов большие изменения, показывающие, что колхозы сырьевой зоны только за счет более эффективного использования земли и других производственных ресурсов могли бы значительно увеличить производство продуктов сельского хозяйства, в том числе и сахарной свеклы. По расчетам при незначительном сокращении производства только зерновых культур увеличивается производство многих видов продукции. В целом по всем хозяйствам сырьевой зоны производство сахарной свеклы увеличивается на 167,1 тыс. ц, подсолнечника на 17%, картофеля на 90%, овощей на 10% и табака на 10% по сравнению с фактическим производством (в среднем за 1964—1966 гг.). Одновременно с увеличением объема производства этих продуктов происходит и концентрация его по отдельным группам колхозов, связанная с различными уровнями экономической эффективности их производства.

Полученное размещение сельскохозяйственного производства по группам колхозов данной сырьевой зоны сахарного завода создает условия для более эффективного использования земли, увеличения производства валовой продукции, чистого дохода и увеличения рентабельности производства. Вместе с тем оно позволит колхозам увеличить выпуск валовой продукции на 14,8% по сравнению с фактическим производством, а объем чистого дохода — на 32%. Заметно возрастает размер производства валовой продукции и чистого дохода на 100 га сельхозугодий и на один рубль производственных затрат. В целом по зоне производство валовой продукции на 100 га сельхозугодий увеличивается на 4,31 тыс. руб., а размер чистого дохода — на 2,44 тыс. руб. по сравнению с фактическим производством в среднем за 1964—1966 гг. Уровень рентабельности возрастает с 34 до 41,8%.

Решение задачи определило не только границы возделывания сахарной свеклы, но и размещение всего сельскохозяйственного производства по хозяйствам сырьевой зоны. Если в настоящее время в сырьевую зону входят 32 колхоза, то по результатам решения задачи все посевы сахарной свеклы размещаются в 27 колхозах и ее производство увеличивается на 181,2 тыс. ц по сравнению с фактическим объемом. Кроме того, выявилась нецелесообразность содержания двух приемных пунктов. Вся сахарная свекла должна перевозиться непосредственно к призаводскому приемному пункту только автотранспортом. Если в среднем за 1964—1966 гг. перевозка 1 т сахарной свеклы к заводу обходилась заводу в 1 руб. 67 коп., то теперь — в 1 руб. 49 коп.

Следовательно, при рассчитанном размещении производства сахарной свеклы завод мог бы ежегодно получать дополнительно 44,9 тыс. руб. прибыли только за счет уменьшения транспортных затрат по перевозке сырья к заводу.

Решение задачи на ЭВМ определило также и оптимальный график уборки сахарной свеклы по каждой группе колхозов, а также оптимальный график переработки и хранения сахарной свеклы. Общая прибыль завода при рассчитанном варианте размещения сахарной свеклы, графика уборки, переработки и ее хранения могла бы увеличиться на 12,9% по сравнению со средним уровнем за 1964—1966 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Д. Блаж, Г. Н. Сингур. Методы оптимизации сырьевых зон сахарных заводов. Кишинев, «Карта Молдовеняскэ», 1971.
2. Л. Г. Артеменко. Математический метод решения задачи о сроках начала уборки свеклы. Сахарная пром-сть, 1964, № 9.
3. Ю. П. Чернов, И. Д. Степаненко. Экономико-математическая модель оптимального графика выкопки сахарной свеклы. Экономика и матем. методы, 1966, т. II, вып. 6.

Поступила в редакцию
5 II 1971