УДК 338.43:631. 173.2

ЖИЛДИКБАЕВА А.Н.
Казахский национальный аграрный университет
(Казахстан, Алматы)

Агрардык өндүрүш комплексиндеги айыл чарба машиналарынын паркынын структураларын оптимизациялоо

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПАРКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Optimization of agricultural machinery fleet structure in agroindustrial complex

Аннотация: *макалада айыл чарба машиналарын токтотуучу жайдын түзүлүшүнүн агрардык өдүрүш комплексинде оптималдаштыруу жана өзүнчө чарбаларда колдонуу ыкманы чыгаруу каралган.*

Аннотация: *в статье рассматривается оптимизация структуры парка сельскохозяйственных машин в агропромышленном комплексе и методика решения для использования в отдельных хозяйствах.*

Annotation: *this article discusses the optimization of structure of agricultural machines in agricultural complex and the methodology of Finding solution to the usage in agriculturalindustry.*

Негизги сөздөр: *агрардык өндүрүш комплекси; айыл чарба машиналары; экономика-математикалык модельдештирүү.*

Ключевые слова: *агропромышленный комплекс; сельскохозяйственные машины; экономико-математическое моделирование.*

Keywords: *agro-industrial complex; agricultural machinery; economic and mathematical modeling.*

Динамическое развитие всех звеньев парка сельскохозяйственных машин агропромышленного комплекса требует постоянного его совершенствования. Улучшение качества парка сельскохозяйственных машин становится важнейшей задачей, решение которой позволит получить реальный народнохозяйственный эффект. Эта задача включает в себя как вопросы совершенствования деятельности самого парка сельскохо-зяйственных машин, так и усиления его взаимодействия с обслуживаемыми отраслями.

Говоря об улучшении использования парка сельскохозяйственных машин, нельзя не коснуться такого важного вопроса, как оптимальное его сочетание. К сожалению, до настоящего времени совхозы и колхозы не имеют научно обоснованной методики определения потребности транспортных средств и оптимального состава парка сельскохозяйственных машин применительно к конкретным условиям каждого хозяйства.

В дальнейшем агропромышленный комплекс немыслим без оснащения его новыми универсальными тракторами, комбайнами (в том числе микротракторами и микрокомбайнами для фермерских хозяйств), комбинированными сеялками, автоматизированными зерноочистительными и зерносушильными комплексами. Применение новых машин и навесных орудий позволит значительно повысить производительность труда и снизить трудоемкость возделывания зерновых культур.

Основные направления совершенствования эффективности работы парка сельскохозяйственных машин в агропромышленном комплексе предусматривают:

-организацию работы парка сельскохозяйственных машин с целью наиболее эффективного использования транспортных средств, трудовых, материальных и других ресурсов в интересах наиболее полного удовлетворения потребностей рассматриваемых в агропромышленном комплексе и сокращения при этом потерь продукции;

-распределение и использование ресурсов внутри отрасли таким образом, чтобы обеспечивалось выполнение сельскохозяйственных работ с минимальными народнохозяйственными затратами;

-улучшение парка сельскохозяйственных машин путем рационализации его структуры с учетом специфики зерновых продукций.

В связи с планируемым вхождением Казахстана в число 50-ти наиболее конкурентоспособных стран мира была разработана Стратегия достижения качественно нового уровня конкурентоспособности и экспортных возможностей экономики РК до 2015 г. корректируются в сторону повышения технико-экономические показатели, заложенные в Стратегию индустриально-
инновационного развития Республики Казахстан к 2015 г. [1]

В свете реализации Стратегии индустриально-инновационного
развития Казахстана до 2015 года программой первоочередных мер по реализации Концепции устойчивого развития агропромышленного комплекса (АПК) республики предусматривалось формирование и развитие инфраструктуры машиноиспытательных станций (МИС).

Поскольку материально-техническая база и кадры бывших МИС безвозвратно утеряны, то целесообразно новые зональные МИС формировать на базе некоторых ведущих опытных хозяйств аграрной науки, 19 из 31 хозяйства сегодня действуют в основных сельскохозяйственных регионах страны.

В связи с организацией новых МИС особую значимость приобретает задача выбора оптимальной структуры парка сельскохозяйственных машин и оборудования. На наш взгляд, основные методические положения по выбору оптимальной структуры парка сельскохозяйственной техники сводятся к следующему:

1. Выбор машин для выполнения различных работ в сельском хозяйстве – сложная экономическая задача. Объясняется это тем, что производственный процесс в этой отрасли характеризуется большим разнообразием видов работ, средств механизации и условий возделывания различных культур.

На наш взгляд, при построении экономико-математической модели оптимальной структуры парка сельскохозяйственных машин желательно оперировать обобщенными экономическими показателями. Несмотря на некоторую огрубленность, предлагаемые модели позволяют дать достаточно простые методы оценки парка, т.е. потребности хозяйства зоны, региона в машинах различных типов при минимуме затрат на производственный процесс. Особенно они удобны для оценки структуры парка специализированных машин по определенным зонам или стране в целом, а также и для обоснования прикрепления таких машин к энергетическим объектам в различных условиях.

2. Предположим, что все разнообразие условий производства удалось разбить на некоторое число типов, $j=1, 2, ..., m$, и для каждого типа определить его долю в общем объеме производства, $V_j = Vp_j$. Известны средняя производительность каждого i-того типа машин в $j=x$ условиях G_{ij}, удельные затраты Z_{ij} и агротехнический
срок T_j. В связи с ориентацией на специализированные машины эффект наложения сроков выполнения различных работ (и необхо-димость анализа графиков использования машин) можно не учитывать. Удельные затраты, вообще говоря, зависят от агротехнических сроков T_jи от общего количества используемых машин.

Одновременный выбор оптимальных T_j может быть осуществлен некоторым итерационным процессом, но для простоты изложения считаем Z_{ij} постоянными. Тогда задача сводится к отысканию числа машин i-го типа, применяемых в j-х условиях, X_{ij}, удовлетворяющих условиям

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} G_{ij} T_j \geq V_j , \qquad j = 1,2,...,m, \quad X_{ij} \geq 0, \qquad (1)$$

и минимизирующих функцию затрат

$$F=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}Z_{ij}G_{ij}T_jX_{ij}\to\min. \qquad (2)$$

Если условия производства характеризуются некоторым измеряемым параметром, то типы условий определяются интервалами его изменения.

Легко отметить, что (1)-(2) разбивается на m независимых задач с одним ограничением (типа «задачи о ранце» [2]) для каждого j

$$\sum_{i=1}^{n}X_{ij}G_{ij}T_j\ge V_j, \qquad X_{ij}\ge 0, \qquad (1')$$

$$F_j=\sum_{i-1}^{n}Z_{ij}G_{ij}T_jX_{ij}\to\min,\ F=\sum_{j=1}^{m}F_j. \qquad (2')$$

Поэтому в дальнейшем ограничимся изучением задачи (1′)- (2′) (все рассуждения и выкладки должны быть построены для каждого типа условий j; полученный набор машин затем суммируется). Пусть

$$\alpha_{ij}=Vp_j/T_jG_{ij}, \qquad G_{ij}=Z_{ij}V_j, \qquad (3)$$

тогда, переходя к безразмерным переменным

$$Y_{ij}=X_{ij}/\alpha_{ij}=X_{ij}\frac{G_{ij}T_j}{V_j} \qquad (4)$$

(что отвечает переходу к машино-дням и отнесению их ко всему объему работы), получим

$$\sum_{i=1}^{n}Y_{ij}\ge 1, \qquad Y_{ij}\ge 0,$$

$$F_j=\sum_{i-1}^{n}Y_{ij}C_{ij}\to\min$$

или, опуская индекс j,

$$\sum_i Y_i\ge 1, \qquad Y_i\ge 0, \qquad (5)$$

$$\varphi=\sum_i Y_iC_i\to\min. \qquad (6)$$

Если пренебречь условием целочисленности для X_{ij} (для больших V_j это практически несущественно, а для малых необходимо применять метод динамического программирования [3]), то задача (5)-(6) решается просто

$$\min C_i=C_{i0}, \quad Y_{i0}=1,$$

$$Y_i=\delta_{ii0}=\begin{cases}0, & i\ne i_0,\\ 1, & i=i_0,\end{cases} \qquad (7)$$

т.е. для работы в этих условиях отбираются лишь те машины, для которых коэффициент предпочтения $C_i(C_{ij})$ минимален.

Возвращаясь к двухиндексным обозначениям, получим

$$C(j)=\min C_{ij}=C_{i_jj},\ Y_{ij}=\delta_{i_jj}, \qquad (8)$$

$$X_{ij}=\begin{cases}0, & i\ne i_j,\\ \alpha_{ij}, & i=i_j.\end{cases}$$

3. В рассматриваемой модели все параметры предполагались фиксированными, неизменными, однозначно определенными для каждой зоны, каждого j. В действительности они являются случайными величинами, варьирующими с изменением погодных и других условий. Для уточнения моделей будем считать Z_{ij} и G_{ij} случайными

величинами с известными законами распределения. Решая задачу для каждого j в отдельности и опуская индекс j, имеем

$$\sum_i X_i / \alpha_i \geq 1, \quad \alpha_i = V_p / TG_i, \, C_i = Z_i Vp, \qquad (9)$$

$$\varphi = \sum_i C_i X_i / \alpha_i \to \min. \qquad (10)$$

Как обычно, при учете случайности параметров в оптимиза-ционных задачах прежде всего возникает вопрос о смысле ограничений (9) и целевой функции (10), о характере плана X_i. Выбор той или иной постановки задачи определяется, в первую очередь, спецификой экономической проблемы, поэтому приведем несколько возможных подходов к этой задаче. Если считать план $\{X_i\}$ также случайным, то для каждой реализации параметров $\{\alpha_i, C_i\}$ определяется свой план $\{X_i\}$ (по формулам и методам пункта 2), а затем для этих случайных величин находятся их средние значения, доверительные верхние границы и т.д. Предполагая, что $X_i / \alpha_i = Y_i$, приходим к задаче (5)-(6) и, таким образом, разделяем влияние случайных величин C_i и α_i. Величина Y_i зависит только от C_i (т.е. Z_{ij}), а при последующем переходе с X_i учитываются α_i (т.е. G_{ij}). В противоположность пункту 2, неравенство $C_0 \leq C_i$ может иметь место для одних реализаций и не иметь при других, поэтому нужно определить вероятность ρ_i (для каждого i) того, что Y_i=1. В детерминированном случае эта вероятность равна единице для i_0 и нулю для остальных i.

Пусть C_i независимы и принимают дискретные значения C_i^k с вероятностями p_{ik}. Тогда $\rho_i = P\{C_i \leq C_l, l \neq i\} = \sum_k p_{ik} P\left(C_i^k \leq C_l, l \neq i\right) = = \sum_k p_{ik} \times \prod_{l \neq i} P\left(C_i^k \leq C_l\right)$. Но последняя вероятность равна сумме тех p_{lr}, для которых $C_l^r \geq C_i^k$. Окончательно получаем

$$\rho_i = \sum_k p_{ik} \prod_{l \neq i} \left(\sum_{c_l^r \geq c_j^k} p_{lr} \right) = \sum_k p_{ik} \rho_{ik}. \qquad (11)$$

По этой формуле для каждого возможного значения C_i складываются вероятности больших значений C_l для разных l, переумножаются между собой и суммируются по всем возможным значениям C_i. Опираясь на представленные выше математические зависимости, рассмотрим конкретный пример применительно к условиям одного из крестьянских хозяйств Алматинской области. Имеются три типа машин, $i = 1,2,3,$ и для зоны V=20000 га, T=10 дней Ч10 час/дн; значения G_i га/час, Z_i тыс. тенге/га и их вероятности сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Исходные данные для выполнения расчетов

i	G_i^k / g_{ik}					Z_i^k / p_{ik}					ρ_i
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	
1	1,52/0,05 1,54/0,1 1,56/0,05	1,54/0,2 1,57/0,2 1,60/0,15	1,56/0,5 1,60/0,4 1,64/0,6	1,58/0,2 1,63/0,2 1,68/0,15	1,60/0,05 1,66/0,1 1,72/0,05	10,9/0,1 11,80/0,05 12,64/0,1	11,20/0,2 12,95/0,2 13,04/0,2	11,60/0,4 12,15/0,5 13,44/0,4	12,00/0,2 12,35/0,2 13,84/0,2	12,30/0,1 12,50/0,05 14,24/0,1	0,8750,125
Примечание – расчетная таблица, составленная авторами											

Поскольку $P\left(C_i^k \le C_l\right) = P\left(Z_i^k \le Z_l\right)$, при расчете ρ_i нет необходимости переходить к $C_i\left(C_i = Z_i / 20000, \alpha_i = 200\, p_j / G_i\right)$. Величины ρ_i также занесены в таблицу 1. Поясним их подсчет:

$$\rho_i = \sum_{k=1}^{5} p_{1k}\rho_{ik},\ \rho_{11} = p_{12}p_{13}, \quad p_{12} = 1, \quad p_{13} = 1, \quad \rho_{11} = 1,$$

$$\rho_{12} = 1, \quad \rho_{13} = 1, \quad \rho_{14} = 0{,}75 \times 1 = 0{,}75, \quad \rho_{15} = 0{,}25,$$

$$\rho_1 = 0{,}1 + 0{,}2 + 0{,}4 + 0{,}2 \times 0{,}75 + 0{,}1 \times 0{,}25 = 0{,}875,$$

$$\rho_2 = \sum_{л=1}^{5} p_{2k}\rho_{2k}, \quad \rho_{21} = p_1^1 p_1^2, \quad p_1^1 = 0{,}2 + 0{,}1 = 0{,}3,$$

$$\rho_1^2 = 1, \quad \rho_{21} = 0{,}3, \quad \rho_{22} = 0{,}3 \times 1 = 0{,}3, \quad \rho_{23} = 0{,}1 \times 1 = 0{,}1,$$

$$\rho_{24} = 0, \quad \rho_{25} = 0, \quad p_4^1 = p_5^1 = 0,$$

$$\rho_2 = 0{,}05 \times 0{,}3 + 0{,}2 \times 0{,}3 + 0{,}5 \times 0{,}1 = 0{,}125.$$

Значение $\rho_3 = 0$, так как при любых реализациях Z_i^k, $Z_3 > Z_1$ и $Z_3 > Z_2$.

В детерминированном случае при замене Z_i средним значением всегда $Y_1 = 1$, т.е. $\rho_1 = 1, \quad \rho_2 = \rho_3 = 0$, за счет же случайных отклонений Z_i при одной из каждых восьми реализаций $Y_2 = 1$.

Возвращаясь к исходным переменным X_i, получаем, что если α_i принимает значения α_{ik}, то

$$X_i = \alpha_{ik} \text{ с } \xi_{ik} = \rho_i q_{ik}. \qquad (12)$$

Имея вероятностные характеристики решения, можно получить различные прикладные оценки, например, математическое ожидание числа машин каждого типа (при оптимальном выборе их по каждой реализации)

$$\overline{X}_i = \sum_k \alpha_{ik}\rho_i q_{ik} = \frac{Vp}{T}\rho_i \sum \frac{q_{ik}}{G_{ik}} \qquad (13)$$

или наибольшее число машин $(X_i)_\gamma$ каждого типа, требующееся (при оптимальном выборе) с заданной доверительной вероятностью *1-γ* (если выбирается *i*-я машина). Для подсчета $(X_i)_\gamma$ достаточно найти такое наибольшее $(G_i)_\gamma$, что

$$P\left(G_i \ge G_{i\gamma}\right) \ge 1 - \gamma, \qquad (14)$$

тогда $(X_i)_\gamma = Vp / TG_{i\gamma}$.

В рассмотренном примере

$$\overline{X}_1 = 0{,}875 \times 200 p_j \left\{ \frac{0{,}05}{1{,}52} + \frac{0{,}2}{1{,}54} + \frac{0{,}5}{1{,}56} + \frac{0{,}2}{1{,}58} + \frac{0{,}05}{1{,}60} \right\} = 11{,}23 \times 0{,}0260 = 2{,}92.$$

$$\overline{X}_1 = 0{,}125 \times 200 p_j \left\{ \frac{0{,}1}{1{,}54} + \frac{0{,}2}{1{,}57} + \frac{0{,}4}{1{,}60} + \frac{0{,}2}{1{,}63} + \frac{0{,}1}{1{,}66} \right\} = 1{,}563 \times 0{,}0260 = 0{,}47.$$

$$\overline{X}_3 = 0,$$

в детерминированном случае $X_1^0 = \dfrac{200 \times 0{,}0260}{1{,}56} = 3{,}34,\ X_2^0 = X_3^0 = 0.$ При $\gamma = 0{,}1,\ (G_1)_\gamma = 1{,}54,\ (X_1)_\gamma = \dfrac{200 \times 0{,}0260}{1{,}54} = 3{,}37,$

$$(G_2)_\gamma = 0{,}57, \quad (X_2)_\gamma = \frac{200 \times 0{,}0260}{1{,}57} = 3{,}31.$$

Когда случайные параметры меняются непрерывно и известны их плотности распределения $p_i(Z_i)$ и $G_i(G_i)$, то приведенные выше формулы легко обобщаются

$$P(Y_i = 1) = \rho_i = \int_{-\infty}^{+\infty} p_i(x)\left[\prod_{l \neq i}\left(\int_x^{+\infty} p_l(u)du\right)\right]dx, \qquad (11')$$

$$p(X_i = \alpha_i = Vp/TG_i) = \rho_i q_i(G_i), \qquad (12')$$

$$\overline{X}_i = \rho_i Vp/T\int_{-\infty}^{\pm\infty}(q_i(G_i)/G_i)dG_i, \qquad (13')$$

$$(X_i)_\gamma = Vp/T(G_i)_\gamma,\ P(G_i \geq (G_i)_\gamma) = \int_{(G_i)_\gamma}^{+\infty} q_i(u)du = 1-\gamma. \quad (14')$$

При затруднении с вычислением интегралов можно непрерывное распределение приближенно заменить дискретным и воспользоваться формулами (11-14).

4. Если считать план в задаче (10) детерминированным, а параметры – случайными, то ограничения $\sum_i X_i/\alpha_i \geq 1$ могут не выполняться при некоторых реализациях величин, поэтому возможны следующие постановки задачи:

а) Допустимыми являются лишь такие (X_i), при которых ограничения выполняются с заданной вероятностью, а минимизируется математическое ожидание затрат

$$P\left(\sum X_i/\alpha_i \geq 1\right) \geq 1-\gamma,\ X_i \geq 0, \qquad (15)$$

$$\varphi(X) = M\left(\sum \frac{X_i C_i}{\alpha_i}\right) = \sum_i X_i \overline{(C_i/\alpha_i)} \to \min.$$

При $\gamma = 0$ получаем так называемую жесткую постановку задачи.

б) Ограничения могут не выполняться, но в целевую функцию входят «штрафы» за нарушение условий (потери при частном невыполнении работ в заданные сроки)

$$\sum_i X_i/\alpha_i + U \geq 1, \quad X_i \geq 0, \quad U \geq 0, \qquad (16)$$

$$\varphi(X) = M\left(\sum_i \frac{X_i C_i}{\alpha_i} + \min \beta_0 U\right).$$

Рассмотрим сначала случай «жестких» ограничений, т.е. отыскание детерминированного плана, удовлетворяющего ограничениям при всех возможных значениях параметров. Если они независимы, то область допустимых значений определяется неравенством

$$\sum_{i=1}^{n} X_i/\alpha_i \geq 1, \qquad (17)$$

где $\alpha_i = \max \alpha_i$. После вычисления математических ожиданий $d_i = \overline{(C_i/\alpha_i)}$ получаем простейшую и уже описанную задачу о ранце, решение которой очевидно: при

$$\min_i \overline{(C_i/\alpha_i)}\alpha_i = k_{i0},\ X_{i0} = \alpha_i, \quad X_i = 0,\ i \neq i_0. \qquad (18)$$

Полезно учесть, что

$$d_i = \overline{TG_i Z_i} = T\sum_k \sum_l Z_i^k p_{ik} G_i^l q_{il} = T\sum_k Z_i^k \overline{G}_i p_{ik} = T\overline{G}_i \overline{Z}_i. \quad (19)$$

(То же имеет место и в непрерывном случае; индекс j опущен для простоты записи).

Если вектор $\beta = (\beta_1,...,\beta_n), \beta_i = 1/\alpha_i$, принимает дискретные значения β^k (из которых удалены те векторы, координаты которых превышают координаты некоторого другого возможного вектора β), то задача принимает вид

$$\sum_i X_i \beta_i^k \geq 1, \quad X_i = 0, \quad \sum X_i d_i - \min, \quad k = 1,...,K. \qquad (20)$$

Специфика этой задачи линейного программирования (положительность векторов β^k) позволяет указать простой способ ее решения. Нормируя векторы β^k и добавляя к ним координатные орты e^i, $i = 1,...,n$, вычисляем $\gamma_k = d\beta^k$, $k = 1,..., K$. $\gamma_{k+i} = de^i = d_i$ и отбираем n наименьших величин из них. Если в их число входят некоторые d, то соответствующее $X_i = 0$, остальные неизвестные определяются уравнениями $\sum_i X_i \beta_i^k = 1$ для отобранных номеров k.

Легко видеть, что при $K = 1$ получаем описанный выше метод решения задачи о ранце. Если $\gamma>0$, то задача сводится к ряду рассмотренных выше: нужно всеми возможными способами удалять большие значения α_i, так чтобы их вероятность не превышала γ, и решать соответствующие задачи, отбирая наилучшее решение.

5. Задача (16) легко приводится к задаче безусловной минимизации функции

$$\varphi(X) = \sum_i X_i d_i + \beta_0 M(1 - \sum_i X_i \beta_i) - \min, \qquad (21)$$

$1 - \sum X_i \beta_i > 0$,

так как $U = 0$ при $\sum X_i / \beta_i > 1$ и $U = 1 - \sum X_i \beta_i$ в противном случае.

Функция (21) является кусочно-линейной, выпуклой вниз, однако ее минимизация «вручную» при $n>1$ затруднительна (в противоположность предыдущим моделям, приведенная методика решения которых вполне приемлема для использования в отдельных хозяйствах).

Для решения подобных (и более общих задач) стохастического программирования [4] на современных персональных компьютерах может быть составлена специальная программа. Кроме того, могут быть предложены сравнительно простые оценки минимального значения $\varphi(X)$.

Следовательно, характерной чертой задач использования сельскохозяйственных машин в агропромышленном комплексе, является множественность решений при ограниченности области их выбора, из которой необходимо выбрать одно наиболее соответствующее поставленным целям. При решении подобных задач широкое распространение получили методы теории оптимальных решений, экономико-математическое моделирование и средства вычислительной техники.

Литература

1. Назарбаев Н.А. Стратегия индустриально-инновационного развития Республики Казахстан к 2015 г.
2. Методы предварительной обработки информации для моделирования производственных систем / Под ред. А.К. Торговца и А.Д. Сапарбаева. Алма-Ата: Изд. РУМК, 1990.
3. Ермольев Ю. М., Ляшко И.И., Михалевич В.С., Тюптя В.И. Математические методы исследования операций: Учебное пособие / Ю. М Ермольев., И.И Ляшко., В.С.Михалевич, В.И Тюптя. Киев: Вища школа. Головное издательство, 1979. 312 с.
4. Юдин Д. Б., Юдин А. Д. Экстремальные модели в экономике / Д. Б Юдин., А. Д. Юдин. М.: Экономика, 1979. 288 с