

## ОСОБЕННОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

В.В. Лукша, П.В. Шведовский, А.А. Волчек

*Брестский государственный экономический университет*

Современные природно-хозяйственные комплексы (ПХК), как и все эколого-экономические системы (ЭЭС) функционируют в условиях постоянно действующих и усложняющихся возмущений (как внутренних, так и внешних). Поэтому оптимизация управления может базироваться только на понятийно-логическом уровне с разработкой проблемно-ориентированных региональных моделей, включающих в себя элементы экономики, природных ресурсов и населения.

Природно-хозяйственный комплекс, расположенный на фиксированной территории с естественными границами и динамичными природно-экономическими компонентами, рассматривается с точки зрения системного анализа как относительно замкнутая система. Используя системный подход, определяющий общий вид понятийно-логических моделей –  $S=(Z, W, E, F, \Lambda)$ , где  $S$  – упорядоченный набор множеств состояний и изменений,  $Z$  – множество целей преобразований (управлений),  $W$  – генетическая структура,  $E$  и  $F$  – соответственно функционирование в физическом и эволюционном времени,  $\Lambda$  – эмерджентность. Нами в структуру региональной модели включены следующие доминирующие блок-модели: землепользования – в которой дается динамика трансформации земельного фонда; экономики – определяющая динамику производства регионального валового продукта ( $\bar{P}(t)$ ) и объема капложений в сельскохозяйственное производство; производства сельскохозяйственной продукции – описывающая динамику валовой региональной сельскохозяйственной продукции ( $\bar{A}(t)$ ); населения; воспроизводства природных ресурсов; изменений природной среды и мониторинга; спроса и ограничений – определяющей внешние и внутренние связи и возможности.

Рассмотрим, каким образом можно описать эти блок-модели. Их структурные схемы представлены, с учетом большинства существующих сегодня систем оптимального управления природно-экономическими системами, на рис. 1. В модель землепользования (а) в качестве основных элементов общего земельного фонда региона ( $L\alpha(t)$ ) включены:  $L_1$  – обрабатываемые сельскохозяйственные земли;  $L_2$  – пастбищно-луговые земли;  $L_3$  – необрабатываемые земли, но потенциально пригодные для сельскохозяйствен-

ного производства;  $L_4$  - земли, потенциально пригодные для пастбищ;  $L_5$  - лесные угодья;  $L_6$  - земли под водными ресурсами;  $L_7$  - земли урбанизированных территорий;  $L_8$  - деградированные земли;  $L_9$  - заповедники и охраняемые территории.

Выходными параметрами модели являются изменения во времени составляющих земельного фонда региона, т.е.  $\alpha_i(t), t \in [t_0, T]$  и соотношений между ними.

Математическое описание модели, при условии постоянства общего земельного фонда  $-\left(\sum_{i=1}^9 L_i = \text{const}\right)$ , возможно следующей системой дифференциальных уравнений:

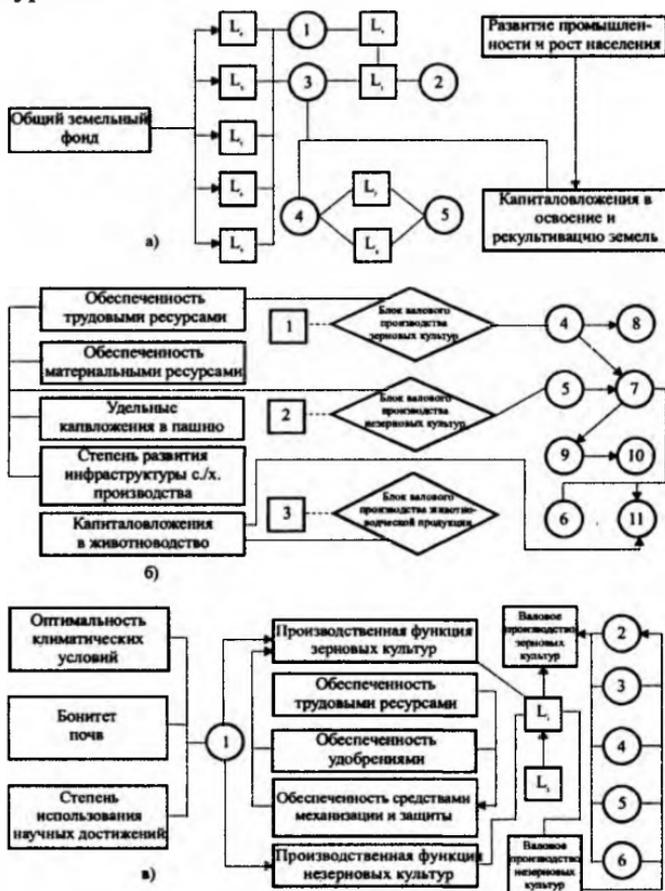


Рис. 1 Составные блок-модели проблемно-ориентированной модели "Регион": а - землепользования; б - сельскохозяйственного производства; в - земледелия.

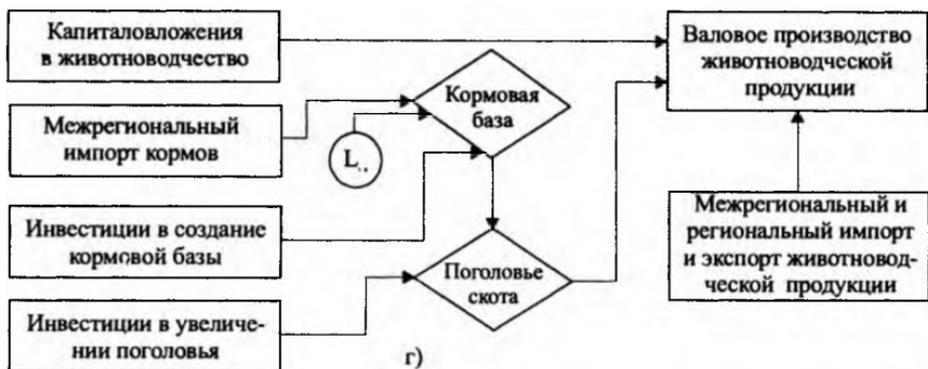


Рис. 1 (продолжение) Составные блок-модели проблемно-ориентированной модели "Регион": з – животноводства; д – населения; е – экономика

$$\sum_{i=1}^9 \frac{dL_i}{dt} = 0;$$

$$\frac{dL_2}{dt} = \frac{J_{pn}}{W_n} - \eta_2 \cdot \frac{dL_7}{dt} - \zeta_2 \cdot \frac{J_n(t)}{W} - \chi_2 \cdot \frac{dL_6}{dt}, 0 \leq \eta_i, \zeta_i, \chi_i \leq 1;$$

$$\frac{dL_3}{dt} = -\frac{J_{p3}}{W_A} + \alpha_3 \cdot \left( \frac{Q_8}{Q} + n \right) - \zeta_3 \cdot \frac{J_n(t)}{W} - \chi_3 \cdot \frac{dL_6}{dt};$$

$$\frac{dL_4}{dt} = -\frac{J_{pn}}{W_n} + \alpha_4 \cdot \left( \frac{Q_8}{Q} + n \right) - \zeta_4 \cdot \frac{J_n(t)}{W} - \chi_4 \cdot \frac{dL_6}{dt};$$

$$\frac{dL_5}{dt} = -\frac{J_n(t-\tau)}{W} - \left( \frac{Q_8}{Q} - 6 \cdot n \right);$$

$$\frac{dL_6}{dt} = F(J, \gamma_B, E); \quad \sum_{i=2}^4 \chi_i \leq 1;$$

$$\frac{dL_7}{dt} = \max \left\{ 0, \frac{P \cdot L_y - L_7}{T_y} \right\};$$

$$\frac{dL_8}{dt} = \frac{L_1}{T_3 \cdot M_y} - \frac{J_7}{C_3};$$

$$\frac{dL_9}{dt} = 0; \quad \sum_{i=2}^4 \zeta_i \leq 1,$$

где  $J_{pn}$  – инвестиции в земли животноводческого сектора;  $W_n$  – удельная стоимость освоения пастбищ;  $J_n(t)$  – текущие инвестиции в лесные угодья;  $W_n$  – стоимость восстановления 1 га лесных угодий;  $J_{p3}$  – инвестиции на освоение новых земель;  $W_A$  – удельная стоимость освоения новых земель;  $Q_8$  и  $Q\sigma$  – соответственно, объем добываемой древесины и объем древесины на 1 га лесных угодий;  $\Pi$  – потери площадей лесных угодий (затопление, пожары, экологические бедствия);  $J_n(t-\tau)$  – инвестиции в лесопосадки;  $\sigma$  – коэффициент потерь «делового» леса;  $\eta, \zeta, \chi$  – коэффициенты зональной коррекции;  $F$  – кусочно-постоянная табличная функция;  $M_y$  – нелинейная табличная функция;  $J$  – индустриальный региональный продукт;  $\gamma_B$  – региональный с.-х. продукт;  $E$  – энергосамообеспечиваемость региона;  $P$  – население региона;  $L_y$  – нормативная площадь (урбанизированная, сельскохозяйственная и заповедно-охраняемая) на 1 человека;  $T_y$  – временной экологический параметр (время регенерации почвы);  $T_3$  – среднее время жизни почвы;  $J_7$  и  $J_C$  – соответственно, инвестиции в охрану почв и удельная стоимость почвозащитных мероприятий.

Модель сельскохозяйственного производства (б) обеспечивает знание динамики изменения во времени производства региональной сельскохозяйственной продукции, фактически формирует модель землепользования (а) и определяет функционирование моделей земледелия (в) и животноводства (г).

В качестве базисных параметров модели взяты обеспеченность трудовыми и материальными ресурсами, удельные капиталовложения в пашню и животноводство, и степень развития инфраструктуры. В целевой функции оперирование осуществляется по валовому производству зерновых, незерновых культур и животноводческой продукции. Выходными параметрами являются: производство продукции по категориям (4 – зерновые, 5 – незерновые культуры и 6 – продукция животноводства), общее предложение региональной сельхозпродукции (7), объемы семенных фондов и кормов (8 и 11), валовое предложение сельхозпродукции населению региона (9) и, соответственно, товарное предложение (10).

Модель земледелия (в) базируется на производстве продукции двух агрегированных типов – зерновых и незерновых культур. При этом *входные параметры* – это максимальная урожайность (1) и факторы, влияющие на нее (климатические и почвенные условия, обеспеченность рабочей силой, удобрениями, средствами механизации и защиты растений и почв, степень использования научных достижений, последствия антропогенных воздействий), *промежуточные* – производственные функции культур, а *выходные* – валовое производство и производство по целевому назначению (2 – общие потери продукции, 3 – продукты питания, 4 – семенной фонд, 5 – сырье для промышленности и 6 – корм для животных).

Модель животноводства (г) базируется на состоянии поголовья, кормовой базы, инвестиций в ее создание и описывается следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_2}{dt} &= \frac{J_{ra}^1}{G_T} - \frac{3}{B}; & N_1 &= \frac{K_0}{H}; \\ 3 &= X \cdot N_1 \cdot B; \\ N &= \min\{N_1, N_2\}; \\ J_{ж} &= J_k + J_{ж}^1 + J_p + J_{ж}^2 \end{aligned} \right\}$$

где  $N_2$  – возможное поголовье при использовании всех средств на его рост; вложения в рост поголовья;  $G_T$  – стоимость увеличения стада на 1 голову; 3 – производство мяса;  $B$  – средний вес животного;  $N_1$  – действительное поголовье;  $X$  – корректирующий коэффициент;  $K_0$  – количество имеющихся в регионе кормов;  $H$  – потребное количество корма на 1 голову;  $J_k$  – инвестиции на

создание кормовой базы; затраты на содержание имеющегося поголовья;  $J_p$  – затраты на создание кормовой базы для имеющегося поголовья.

Модель «Население» (д) базируется на общей численности населения, его миграции с учетом рождаемости и смертности, медико-социальных и материально-экологических условий жизни и может быть описана следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} T_i &= q' \cdot A_i \cdot V_i + q' \cdot B_i \cdot \bar{V}_i + q' \cdot W_i + q' \cdot P_i; \\ \Delta T_i(t) &= \bar{T}_i(t) - T_i^0(t); \\ n_{ij} &= \max \left\{ \beta (\Delta T_j(t) - \Delta T_i(t), \bar{q} (\Phi_j - \Phi_i)) \right\}; \\ \alpha_i^S(t) &= \sum_{k \wedge j} \sum_{j \wedge k} \lambda^S(J, k) \cdot v_j^k(t); \\ \frac{dG_i}{dt} &= (R_{G_i} - M_{G_i}) \cdot G_i, \quad i = \overline{1, m}, \end{aligned} \right\}$$

где  $T_i$  – оптимальное количество трудовых ресурсов в регионе  $i$ ;  $q'$  – вектор удельных затрат труда по отраслям;  $\Delta T_i(t)$  – дефицит трудовых ресурсов;  $\Phi_i, \Phi_j$  – векторы благосостояния; неотрицательная функция, характеризующая влияние разности благосостояния на интенсивность миграции;  $n_{ij}$  – суммарная миграция из региона в регион; вектор взаимных объемов перевозок; – вектор ограничений по взаимным перевозкам;  $G_i$  – общая численность населения;  $R_{G_i}$  и  $M_{G_i}$  – соответственно, рождаемость и смертность в регионе.

Рождаемость и смертность зависят от обеспеченности людей качественной пищей, загрязненности Среды, газового состава атмосферы, материального уровня жизни, вообще, энергообеспеченности и плотности населения; описываются следующими соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} R_{G_{ii}} &= (1 - h_{G_i}) \cdot k_{G_i} \cdot G_i \cdot H_{G_{vi}} \cdot H_{G_{Gi}} \cdot H_{G_{MSi}} \cdot H_{G_{Gi}} \cdot H_{G_{Zi}}; \\ M_{G_i} &= \mu_{G_i} \cdot H_{M_{Si}} \cdot H_{G_i} \cdot H_{F_{Gi}} \cdot H_{Z_i} \cdot H_{O_i} \cdot H_{C_i} \cdot G_i + \tau_{G_{O_i}} \cdot \tau_{G_{C_i}} \cdot G_i \cdot W_{G_i} \end{aligned} \right\}$$

где  $h_{G_i}$  – коэффициент, отражающий качество потребляемой населением пищи; при идеальном уровне качества  $h_{G_i} = 0$ ;  $k_{G_i}$  и  $\mu_{G_i}$  – соответственно, постоянные составляющие процессов рождаемости и смертности;  $\tau_{G_{O_i}}$  и  $\tau_{G_{C_i}}$  – показатели зависимости смертности от качества окружающей Среды (концентрация  $O_2$  и  $CO_2$ );  $W_{G_i}$  – показатель степени влияния на смертность физиологических особенностей Среды обитания с учетом плотности населения;  $H_{G_{vi}} (H_{F_{ri}})$ ,  $H_{G_{O_i}} (H_{O_i})$ ,  $H_{G_{C_i}} (H_{C_i})$ ,  $H_{G_{MSi}} (H_{MSi})$ ,  $H_{G_{Gi}} (H_{Gi})$ , и  $H_{G_{Zi}} (H_{Zi})$  – функции влияния на рождаемость (смертность) факторов окружающей Среды, соответственно, – обеспеченности пищей, концентраций в атмосфере  $O_2$  и  $CO_2$ , материального уровня, плотности населения и загрязненности Среды.

Рождаемость и смертность можно описать законом Ивлева, т.е.

$$\left. \begin{aligned} N_{GVi} &= 1 - \exp(-V_{Gi}), \\ N_{FRi} &= \rho'_{Gi} + \frac{\rho''_{Gi}}{F_{RGi}}, \end{aligned} \right\}$$

где  $V_{Gi}$  – оптимальное количество пищи, определяемое как сумма составляющих пищевого спектра (животного и растительного происхождения);  $F_{RGi}$  – нормированная обеспеченность пищей; и – соответственно, постоянная уровня и скорости возрастания смертности.

Аналогично описывается зависимость рождаемости и смертности от материального уровня (закон Форрестера) и от плотности населения (закон Ивлева). Однако, если количество пищи определяет для  $N_{GVi}$  и  $N_{FRi}$  функцию насыщения, то материальный уровень и плотность населения - возрастающую и убывающую функции.

Модель «Экономика» (е) базируется на валовом производстве зерновых культур (1), базовых инвестициях в сельское хозяйство (9), инвестициях в развитие основных фондов промышленности и сельскохозяйственного производства, общем объеме инвестиций (5), валовом региональном продукте, спросе на промышленную продукцию со стороны сельского хозяйства (14), объемах регионального продукта на душу населения (2), объеме затрат на интенсификацию сельскохозяйственного производства (4). Кроме того, учтены амортизация основных фондов (11), дополнительные инвестиции в сельское хозяйство (16), полный объем инвестиций в производство (8), инвестиции на интенсификацию сельскохозяйственного производства (12), рекультивация и освоение земель (13) и региональное промышленное производство (15). Модель может быть описана следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} V(t) &= A \cdot u(t) + B \cdot \bar{V}(t) + p(t) + W(t); \\ 0 \leq u(t) &< V(t); \quad p_0(t) \leq p(t) \\ \bar{W}(t) &= \varpi(t) + \theta^n(t) - \theta^e(t) \\ W(t) &\geq 0; \quad \theta^n(t) \geq 0; \quad \theta^e(t) \geq 0 \\ M \cdot \bar{W}(t) &= M \cdot (\varpi(t) + \theta^n(t) - \theta^e(t)) = 0 \end{aligned} \right\}$$

где  $u$  – вектор выпуска продукции по основным отраслям;  $V$  – вектор мощности отраслей;  $A$  – матрица удельных фондообразующих затрат;  $B$  – вектор конечного непроедственного потребления;  $p$  – вектор расхода продукции экономики в единицу времени на создание резервов;  $\varpi$  – вектор объема резервных запасов;  $M$  – нулевая матрица.

Следует отметить, что модель «Воспроизводство природных ресурсов»

является одной из достаточно сложных моделей, т.к. динамика ресурсов определяется большой совокупностью нелинейных процессов – естественным восстановлением, взаимовлиянием, диффузией и миграцией, спонтанно-плановым использованием ресурсов в экономике и др.

Отсюда следует, что модель должна определяться функцией начального состояния ресурсов  $R(t_0)$  и ее можно описать уравнением:

$$\bar{R}(t) = Q(R(t) - \bar{R}) - [C \cdot V(t) + D \cdot \bar{V}(t) + G \cdot p(t)] + r^u(t) - r^e(t),$$

где  $C, D, G$  – соответственно матрицы удельных ресурсных затрат на единицу выпуска + прироста мощностей и потребления;  $r^u(t); r^e(t)$  – функции перераспределения ресурсов;  $\bar{R}$  – состояние ресурсов на расчетный период  $t$ ;  $Q$  – квадратная матрица, диагональные элементы которой определяют пропорциональность естественного восстановления, а недиагональные – степень взаимного влияния ресурсов.

Основные ограничения по модели –  $R(t) \geq 0$ ;  $r^e(t) \geq 0$ ;  $r^u(t) \geq 0$ .

Модель позволяет выявить оптимальные решения по управлению ПХК и ЭЭС как по вариантам с наивысшей приемлемой полезностью, так и вариантам с многоцелевыми компромиссами. Одна из оптимизационных задач с использованием данной модели реализована нами для оптимизации капитальных вложений в различные отрасли АПК.

### Литература

1. Оптимальное управление природно-экономическими системами. Под общ. ред. В.И.Гурмана. – М.: Наука, 1980, 293с.
2. Шведовский П.В. Эколого-социальные проблемы мелиоративно-ландшафтных преобразований. Тр. X Межд. конф. по проблемам строит. и экономику-социальных преобразований. – Б-Б-Н, 1998, с 44-49.