

из которых можно сформировать множества различной мощности. При необходимости в процесс формирования множества недоминируемых решений может включаться несколько экспертов.

Процедура метода учета неопределенности и субъективности оценок выделяет из этого множества одно решение, основываясь на индивидуальных предпочтениях ЛПР. Выбор среди нескольких альтернатив осуществляется, основываясь на значениях следующих параметров, заданных ЛПР: предпочтения альтернатив по каждому критерию  $f_{ni}$ ; весовых коэффициентов атрибутов  $w_i$  [4].

Проведенные исследования показывают, что увеличение мощности множества недоминируемых решений может вести к улучшению решения, однако с другой стороны, его увеличение нецелесообразно тогда, когда пользователь не в состоянии дать непротиворечивую оценку всем предоставленным ему альтернативам.

#### Библиографический список

1. Батищев, Д. И. Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений / Д. И. Батищев, Д. Е. Шапошников ; Ин-т прикл. физики Рос. акад. наук. Н. Новгород, 1994. 92 с.
2. Михалевич, В. С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В. С. Михалевич, В. Л. Волкович. М. : Наука, 1982. 286 с.
3. Антамошкин, О. А. Применение метода многоатрибутивного принятия решений для выбора состава бортовой системы обмена информацией / О. А. Антамошкин // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2005. Вып. 6. С. 96–99.
4. Shipley M. F. A Decision Making Model for Multi-Attribute Problems Incorporating Uncertainty and Bias Measures / M. F. Shipley, A. de Korvin, R. Obid. Houston : University of Houston-Downtown, 1990.

О. А. Antamoshkin

### DECISION SUPPORT SYSTEM ON THE BASIS OF MULTIATTRIBUTE METHODS

*In the paper the multiattribute methods of decision-making providing problem solving a choice of optimal structure of on-board system of a space crafts «Gonets-M» and «Glonas-M» at many criteria are presented. The algorithms realizing procedures of a multiattribute choice and the conceptual circuit of a decision support system on the basis of given methods are resulted.*

*Keywords: designing navigation companions and communication.*

© Антамошкин О. А., 2009

УДК 519.866

М. А. Горбунов, А. В. Медведев, П. Н. Победаш, Е. С. Семенкин

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ МИРОВОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КАК ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ\*

*Описан подход к моделированию стратегии глобального социально-экономического развития на основе экономико-математической модели оптимального управления, учитывающей взаимодействие основных экономических агентов мировой социально-экономической системы (МСЭС) – производственного, потребительского, финансового секторов, а также управляющего центра (мирового правительства). Формулируется оптимизационная задача управления глобальным социально-экономическим развитием, анализируются основные принципы анализа, ограничения и целевые критерии.*

*Ключевые слова: глобальный экономический кризис, устойчивое развитие, математические модели оптимального управления.*

В условиях глобального социально-экономического кризиса значительно возрос интерес к проблемам выживания человечества и сбалансированного развития мировой социально-экономической системы. Очевидно, что такое развитие требует согласования интересов

мирового производственного, потребительского и финансового секторов, а также участия единого управляющего центра (мирового правительства). В этой связи актуальной остается задача разработки математических моделей развития мировой экономики, учитывающих баланс ин-

\*Работа выполнена при финансовой поддержке АВИЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (НИР 2.1.1/2710) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (НИР НК-136П/3).

тересов указанных экономических агентов, на возможно более длительный срок. Ряд математических моделей, описывающих глобальное развитие, разработаны в 50-х гг. XX в. учеными Римского клуба [1] и др. В основе подхода к математическому анализу указанных моделей лежит решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Проведенный анализ таких моделей показал реальность кризисных явлений мирового развития, таких как парниковый эффект, перенаселенность, истощение природных ресурсов и других, а также необходимость и возможность борьбы с ними, что подтверждается подписанием на межгосударственном уровне в 1996 г. Киотского протокола об ограничении выбросов в атмосферу парниковых газов. Следует отметить, что указанные модели не решают задачу оптимального управления процессами глобального развития и требуют проведения большого количества численных экспериментов, не всегда приводящих к получению оптимальных или даже квазиоптимальных сценариев развития. В настоящее время интерес к изучению проблем глобального развития возрождается в связи с серией мировых финансовых кризисов последних лет, обусловленных несовершенством мировой финансовой системы, ориентированной на доллар как единственную мировую валюту и ставшей заложником геополитики одной страны. Среди современных публикаций по данному вопросу отметим работы [2–4]. В данной работе предлагается подход к решению задачи управления глобальным социально-экономическим развитием на основе решения многокритериальной многошаговой задачи линейного программирования (ММЗЛП).

Следует отметить, что для управления глобальным социально-экономическим развитием управляющему органу МСЭС необходимо решить ряд трудных и взаимосвязанных между собой задач: социально-производственных (обеспечение высоких объемов производства с учетом платежеспособного спроса, занятости и высокого уровня жизни населения); финансово-производственных (в первую очередь устранение дисбаланса финансовой системы и производственного сектора); экологических (сохранение пригодной для жизни окружающей среды).

Рассмотрим основные элементы предлагаемого подхода. Сформулируем следующую задачу, которую назовем основной задачей глобального социально-экономического развития. Пусть имеется ряд отраслей мирового производственного сектора, производящих продукты питания, одежду, жилье, предметы первой необходимости и т. п. Требуется определить количество основных производственных фондов и объемы производства указанных отраслей в заданные моменты времени, при которых суммарные чистые приведенные стоимостные денежные потоки (ДП) производственного, социального и финансового секторов мировой экономики будут наибольшими на заданном горизонте планирования. Сформулированную задачу, по нашему мнению, можно рассматривать как глобальный инвестиционный проект (ИП) по оптимальному управлению развитием МСЭС с учетом нижеследующих положений. Предположим, что в модели глобального развития (МГР) перечисленные выше экономические агенты являются одновременно и лицами,

принимающими решения (ЛПР), заинтересованными в сбалансированном глобальном социально-экономическом развитии. При этом управляющий центр (УЦ) определяет общие «правила игры» в МСЭС с учетом жизненно важных условий функционирования и интересов всех ЛПР, направленных на соблюдение экономических, экологических, социальных норм, способствующих основной цели УЦ и всей МСЭС в целом – выживанию на возможно долгий срок, включая предельный вариант, когда срок действия ИП не ограничен.

Рассмотрим возможные цели каждого ЛПР. Целью производственного сектора естественно считать максимизацию дисконтированной суммы собственных средств (в денежном или материальном эквиваленте). Потребительский сектор заинтересован в том, чтобы имея определенную минимальную сумму средств, обеспечить себя минимальной потребительской корзиной: жильем, одеждой, пищей, медицинским и социальным минимумом услуг. Имея сверх этого прожиточного минимума, обеспечиваемого УЦ или производственным сектором в виде дотаций или заработной платы, совокупный потребитель, к которому относятся работники производственной и финансовой сфер, может обеспечить себе долевое участие (национализацию, приватизацию) в реальных и финансовых активах МСЭС. Цель УЦ или критерий качества управления рассматриваемой МСЭС может заключаться в минимизации суммы штрафов за нарушение экологических, социальных и экономических квот (правил). При этом без значительной погрешности для содержательного смысла будем предполагать, что выполняются следующие предпосылки:

1. Каждая отрасль мирового производственного сектора производит продукцию одного вида.
2. Фонд оплаты труда (ФОТ) работников мирового производственного сектора есть некоторая доля суммарной выручки от реализации всей производимой продукции.
3. Объем производства по каждому виду продукции не превосходит прогнозного спроса на эту продукцию в любой момент времени на заданном временном интервале, причем спрос на ресурс определяется как произведение нормы душевого потребления этого ресурса на численность населения.
4. Денежные средства каждого ЛПР в текущий момент времени неотрицательны (т. е. данный экономический агент платежеспособен в течение всего срока действия ИП).
5. Финансовый сектор обеспечивает кредитами производственный на один, текущий, период функционирования, по завершении которого последний из них регулярно возвращает первому сумму кредита и проценты за кредит.

Предположения 1, 2, 5 введены для упрощения моделирования и не влияют значительно на точность решаемой задачи. Предположение 3 ограничивает сверху объем производимых товаров потенциальным спросом, исключая ситуацию перепроизводства, влекущую за собой убытки для производственного сектора МСЭС и, очевидно, способную привести к мировому кризису, подобному кризису перепроизводства в период экономической депрессии 30-х гг. XX в. Предпосылка 4 является обязательным условием реализуемости любого ИП, так как

ситуация, когда сумма средств какого-либо ЛПР близка к нулю, фактически является кризисной не только для этого ЛПР, но для всей МСЭС. Подчеркнем, что предпосылка 3 является существенной, поскольку увязывает интересы основных участников МСЭС и позволяет в первом приближении добиться приемлемого компромисса при реализации их целей, к основным из которых относятся следующие:

- удовлетворение спроса потребительского сектора;
- обеспечение прибыли производственного и финансового секторов (обусловленной высоким уровнем производства в сочетании с платежеспособным спросом и своевременно предоставляемыми и возвращаемыми кредитами);
- своевременные и в должном объеме налоговые поступления в бюджет МСЭС (за счет увеличения прибыли и доходов не только ее производственного и финансового, но и потребительского секторов);
- стабильность функционирования (исключение кризисных состояний) МСЭС в рамках выбранных «правил игры».

Отметим, что в настоящее время особую актуальность получает задача предотвращения финансовых кризисов, которую можно трактовать как задачу оптимального управления объемами фондов производственного и финансового секторов и их увязки с объемами фондов (материальных благ) всей мировой системы. С учетом всех приведенных выше предпосылок МСЭС можно рассматривать как саморегулирующуюся управляемую систему, автоматически реагирующую на изменения конъюнктуры спроса и предложения товаров, инвестиционной активности в различных сферах деятельности, объемов денежной массы, численности населения, уровня загрязнений или иных параметров. Под управлением МСЭС тогда можно понимать соответствующие законодательные акты, регулирующие налоговые ставки, суммы и ключевые направления дотаций, соотношение основных производственных и финансовых фондов, квоты на уровень загрязняющих веществ и другие параметры системы.

Комплексное исследование указанных проблем требует применения системного подхода, основанного на решении многокритериальных задач экономической динамики и получения значений и интервальных диапазонов параметров моделей, в границах которых МСЭС может сбалансированно развиваться максимально долгое время.

Для реализации этого подхода предлагается использовать ряд принципов анализа, сформулированных ниже в виде следующих составных частей экономико-математического ядра.

Экономическая часть:

1. В качестве критерия эффективности функционирования каждое ЛПР использует показатель чистой дисконтированной стоимости NPV.
2. Текущие денежные средства каждого участника ИП складываются из сальдо поступлений и платежей на предыдущий момент времени.
3. Используется общий принцип учета рисков (управления рисками) в соответствии с формулой  $r_i = r + i$ , где  $r_i$ ,  $r$  – соответственно ставки дисконтирования с учетом и без учета риска;  $i$  – уровень инфляции.

4. Целевые функции ЛПР имеют общую структуру (дисконтированное сальдо денежных потоков стратегических доходов и расходов).

Математическая часть:

1. Зависимость от времени переменных модели (соответствует реализации содержательного принципа временной стоимости денежных потоков).
2. Линейность модели (содержательно соответствует наличию линейного алгоритма расчета стратегических доходов и расходов экономических агентов при абстрагировании от ряда несущественных для предварительного анализа бухгалтерских и финансовых деталей).
3. Многокритериальность модели (содержательно учитывает взаимосвязь интересов всех ЛПР).

На основании приведенных составляющих экономико-математического ядра приходим к выводу, что для решения поставленной задачи оптимального управления глобальным социально-экономическим развитием целесообразно использовать класс многокритериальных многошаговых задач линейного программирования, что влечет за собой возможность применения эффективных методов анализа предлагаемых моделей, основанных на использовании принципов Беллмана, максимума, операционного исчисления (z-преобразования).

Общее уравнение баланса  $Ds_l(t)$  участвующих в любом глобальном ИП текущих денежных средств  $l$ -го ЛПР ( $l = 1, \dots, N$ ) в момент  $t$ , формально имеет вид

$$Ds_l(t+1) = Ds_l(t) + Ps_l(t+1) - Pl_l(t+1) \quad (1) \quad (t = 0, \dots, T-1),$$

где  $Ps_l(t+1)$ ,  $Pl_l(t+1)$  ( $t = 0, \dots, T-1$ ) – соответственно поступления и платежи  $l$ -го ЛПР, порождаемые при реализации данного проекта;  $T$  – срок действия (горизонт планирования) ИП;  $N$  – количество ЛПР. Отметим, что уравнения динамики собственных средств ЛПР содержат денежные потоки поступлений и платежей, обеспечивающих их текущее функционирование. В качестве потоков поступлений и платежей, в зависимости от ЛПР, могут рассматриваться прибыль, амортизационные отчисления, инвестиции в основные и оборотные средства, продажа активов, выпуск ценных бумаг, оплата труда, налоги, выплата дивидендов, дотации, социальные выплаты, суммы основного долга и процентов за кредиты и т. п. Например, для мирового производственного сектора к стратегическим поступлениям можно отнести выручку от реализации продукции, амортизацию, внутренние и внешние инвестиции, а к платежам – проценты по кредитам, налоги (на добавленную стоимость, на имущество, на прибыль, за пользование недрами и т. п.), штрафы за нарушение экологических и социальных ограничений. В качестве поступлений мирового финансового сектора (валютного рынка и рынка производных ценных бумаг) можно рассматривать валютную маржу и поступления в результате обращения на рынке вторичных ценных бумаг, а в качестве платежей – например, некоторый мировой налог на увеличение денежной массы. Заметим, что в начальный момент времени  $t = 0$  МСЭС имеет фиксированное начальное состояние  $Ds_l(0) = Ds_l^0$  ( $l = 1, \dots, N$ ), где  $Ds_l^0$  – начальная сумма денежных средств  $l$ -го ЛПР.

Для выполнения условия платежеспособности, согласно предпосылке 4, текущие денежные средства любого ЛПР считаются неотрицательными в течение всего периода действия ИП:

$$Ds_l(t) \geq 0 \quad (t = 1, \dots, T; \quad l = 1, \dots, N). \quad (2)$$

Нарушение условия (2) можно трактовать так, что в МСЭС у  $l$ -го ЛПР в некоторый момент  $t$  не хватит финансовых ресурсов для реализации ИП. Указанное условие, как было отмечено выше, является обязательным для реализуемости ИП для любого экономического агента. При этом если для какого-либо ЛПР в некоторый момент времени указанное неравенство не выполнено, т. е.  $\exists l \in \{1, \dots, N\}, t \in \{1, \dots, T\} : Ds_l(t) < 0$ , то процесс реализации ИП будем называть кризисным.

Будем считать, что выручка от реализации продукции  $R_k(t)$   $k$ -й производственной отрасли МСЭС удовлетворяет следующим ограничениям:

$$R_k(t) \leq \min(q_k(t), E_k(t)) \quad (k = 1, \dots, n), \quad (3)$$

где  $q_k(t)$  – спрос на продукцию  $k$ -го вида в стоимостном выражении в момент  $t$ ;  $E_k(t)$  – максимальный, определяемый техническими возможностями производственных отраслей (уровнем научно-технического прогресса) объем произведенной продукции  $k$ -го вида в стоимостном выражении в момент  $t$ .

В качестве целевого критерия ЛПР целесообразно выбрать чистую приведенную стоимость (NPV) денежных потоков, представляющую разность его стратегических доходов и затрат в виде

$$NPV_l = \sum_{t=0}^T \frac{ДП_l(t)}{(1+r)^t} \quad (l = 1, \dots, N),$$

где  $ДП_l(t)$  – денежные потоки  $l$ -го ЛПР в момент  $t$ ;  $r$  – ставка доходности ИП.

Отметим, что в отличие, например, от микро- или мезоуровня, в мировой МСЭС запасы большинства ресурсов существенно исчерпаемы (а значит, ограничены). Поэтому для  $k$ -й производственной отрасли должны выполняться условия:

$$\sum_{t=0}^{T-1} \sum_{j=1}^n \bar{a}_{kj} y_j(t) \leq \bar{A}_k \quad (k = 1, \dots, m), \quad (4)$$

где  $y_j(t)$  – объем выпуска продукции  $j$ -го вида в момент  $t$ ,  $\bar{a}_{kj}$  – норма расхода  $k$ -го продукта (ресурса) на производство продукта (ресурса)  $j$ -го вида (коэффициенты матрицы Леонтьева);  $\bar{A}_k$  – известные мировые запасы  $k$ -го ресурса;  $m$  – количество видов основных, рассматриваемых в модели, экономических (природных) ресурсов, к которым можно отнести землю, воду, полезные ископаемые и т. п. Условия (3) и (4) являются принципиальными ограничениями при функционировании МСЭС, и пренебрежение ими может значительно снизить ценность любой глобальной модели.

С учетом предпосылки 3 и условия (4) принципиальную значимость приобретает прогноз такой характеристики социального сектора, как численность населения  $N(t)$ . Предполагая, что она описывается линейным разностным уравнением 1-го порядка  $N(t+1) = (1+\nu)N(t)$ , ( $t = 0, \dots, T-1$ ), легко получить явную формулу  $N(t) = N_0(1+\nu)^t$  ( $t = 0, \dots, T-1$ ), где  $N_0$  – начальная

численность в момент  $t = 0$ ;  $\nu$  – коэффициент прироста населения за один период. Из последней формулы видно, что при  $\nu > 0$   $N(t)$  растет экспоненциально. Очевидно, для социального сектора имеет место неравенство, подобное (4):

$$\bar{b}_k \sum_{t=0}^{T-1} N(t) \leq \bar{A}_k \quad (k = 1, \dots, n), \quad (5)$$

где  $\bar{b}_k$  – норма среднедушевого расхода  $k$ -го продукта. Если рассматривать задачу оптимального функционирования (выживания) мировой социально-экономической системы на максимально долгий срок  $T \rightarrow \max$ , то в условиях ограниченности запасов мировых ресурсов и растущей численности населения, оптимальное значение  $T^*$  может оказаться сравнительно небольшим. По истечении срока  $T \leq T^*$  при выполнении приведенных выше положений исчерпание одного из ресурсов может повлечь за собой мировой кризис. Это заставляет всерьез задуматься над тем, насколько рационально расходуются ресурсы, и какие действия необходимо предпринимать для устойчивого развития мировой экономической системы и отсрочки кризиса.

Можно предложить следующие варианты управления глобальным развитием:

- регулирование численности населения (управление параметром  $\nu$ );
- рационирование расходов ресурсов на душу населения (управление параметрами  $\bar{b}_k$  в условиях (5));
- рациональное природопользование (управление параметрами  $\bar{a}_{kj}$  в условиях (4));
- регулирование баланса подсистем «производство–население», например в соответствии с условиями (3), «производство–финансовый сектор», «население–финансовый сектор» и т. п.

Описанный подход, основанный на приведенных выше концепции и экономико-математическом ядре, апробирован при решении следующих задач анализа крупных экономических систем:

- задачи управления развитием региональных социально-экономических комплексов в приложении к анализу региональной промышленной политики;
- задачи согласования контракта производителя, инвестора и поставщика оборудования (задачи развития фирмы);
- задачи реструктуризации крупного предприятия машиностроительной отрасли;
- задачи разработки автоматизированного рабочего места инвестиционного аналитика в индустрии жилищного строительства и ипотечного кредитования.

В настоящее время разработан пакет прикладных программ [5], облегчающий анализ многокритериальных динамических и статических линейных задач экономической динамики. Использование указанного пакета на основе изложенной выше концепции моделирования повышает обоснованность принятия решений при управлении глобальным социально-экономическим развитием с учетом интересов многих лиц для получения диапазонов параметров МСЭС и оптимальных значений управляющих переменных, обеспечивающих ее бескризисное развитие на максимально долгий горизонт планирования.

### Библиографический список

1. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М. : Наука, 1978.
2. Махов, С. А. Математическое моделирование мировой динамики и устойчивого развития на примере модели Форрестера : препринт Ин-та прикл. математики Рос. акад. наук им. Акад. М. В. Келдыша / С. А. Махов. М., 2005.
3. Solte, D. The world's finance system – Insights to the «Holy Grail» of globalization / D. Solte // Berlin : Terra Media Verlag, 2007.

4. Радермахер, Ф. Й. Баланс или разрушение. Эко-социальная рыночная экономика как ключ к устойчивому развитию мира / Ф. Й. Радермахер ; ForSIS. Некоммерческое партнерство «За устойчивое информационное общество в России». Новосибирск, 2008.

5. Конструктор и решатель дискретных задач оптимального управления («Карма») : программа для ЭВМ / правообладатели: А. В. Медведев, П. Н. Победаш, А. В. Смолянинов, М. А. Горбунов. Зарегистрировано Федер. службой по интелект. собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент) 11.09.2008, № 2008614387.

M. A. Gorbunov, A. V. Medvedev, P. N. Pobedash, E. S. Semenkin

## THE MODELLING OF THE WORLD SOCIO-ECONOMIC STRATEGY AS AN OPTIMAL CONTROL PROBLEM

*An optimization approach to the modeling of the world socio-economic strategy on the basis of economic-mathematical model of optimal control is described in this article. It is evident the model has to take into account the interaction of the main economic agents of the world socio-economic system, that is, producing, consuming, financial and control world sectors. The optimization task of global socio-economic development control is formulated and the basic principles of analysis, restrictions and criteria are analyzed.*

*Keywords: global economical crisis, sustainable development, mathematical models of optimal control.*

© Горбунов М. А., Медведев А. В., Победаш П. Н., Семенкин Е. С., 2009

УДК 330.142.211.4

М. А. Горбунов

## МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ\*

*Проводится классификация методов моделирования инвестиционных проектов, сравнительный анализ данных методов, выявляются преимущества, недостатки, направления применения. На основе разработанного алгоритма расчета чистой прибыли предприятия выявляются факторы эффективности инвестиционного проекта.*

*Ключевые слова: инвестиционный проект, оценка и анализ эффективности, моделирование проекта.*

В целях развития своей деятельности предприятиям любой сферы необходимо привлечение инвестиционных ресурсов, борьба за которые в условиях возрастающей конкуренции непрерывно усиливается. Как следствие, увеличивается потребность в точном обосновании проектов развития и наиболее эффективном использовании привлеченных инвестиций. Достижение данных целей невозможно без использования инструментария, позволяющего моделировать инвестиционный процесс, и детального представления механизма воздействия различных факторов, оказывающих прямое или косвенное влияние на эффективность инвестиционного проекта.

При выборе инструментария, с помощью которого будет производиться рассмотрение инвестиционного

проекта, реализуемого на предприятии, важным элементом являются классификации показателей, методов, подходов, используемых при этом.

Наиболее распространенными инструментами являются системы поддержки принятия решений в области инвестиционного финансирования. Любой программный продукт, используемый при рассмотрении инвестиционных проектов, основан на математической модели. В настоящее время считаем целесообразным выделить три метода моделирования инвестиционного процесса (инвестиционных проектов):

- имитационный;
- оптимизационный;
- оптимизационно-имитационный.

\*Работа выполнена при финансовой поддержке АБЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (НИР 2.1.1/2710) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (НИР НК-136П/3).