

9. МЕНЕДЖМЕНТ И МАРКЕТИНГ

9.1. ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СТРУКТУРАМИ

Акопов А.С., д.т.н., профессор

Государственный университет –
Высшая школа экономики

В работе представлена разработанная модель адаптивного управления вертикально-интегрированными компаниями на основе системного подхода, поддерживающего механизм оперативного управления в едином цикле стратегического планирования в рамках более быстрого времени. При этом для нахождения оптимальных значений управляющих параметров используются специальные алгоритмы класса генетических алгоритмов, нейронных сетей и т.д. Представлен пример разработанной системы адаптивного управления для вертикально-интегрированной нефтяной компании.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается существенное повышение требований к системам управления сложными организационными структурами. В частности, одним из наиболее критичных требований является необходимость интеграции процессов стратегического и оперативного управления в единой системе поддержки принятия решений. Отметим, что рассогласование стратегического и оперативного контуров управления, как правило, приводит к существенному снижению эффективности принимаемых решений. Интегрированный подход, нацеленный на поддержку механизма стратегического и оперативного управления в едином цикле, позволяет преодолеть недостатки раздельных систем управления.

При этом возникает несколько принципиальных проблем. Первое – проблема сверхбольшой размерности такой интегрированной системы (как правило, возникает потребность в одновременном управлении тысячами оперативных и стратегических параметров). Второе – поддержка механизма эффективного оперативного управления в едином цикле процесса стратегического планирования требует разработки специальных алгоритмов, класса генетических алгоритмов, «жадных» алгоритмов, нейронных сетей и т.д. Третье – интегрированный подход требует организации системы сбора и обработки фактической информации (информационного Хранилища). При этом выбор рационального состояния системы в каждый момент оперативного (быстрого) времени должен осуществляться на основе предыдущего состояния и накопленного опыта. Таким образом возникает потребность в системе адаптивного управления, позволяющей принимать более обоснованные стратегические и оперативные решения.

Отметим, что проблемам управления сложными организационными системами посвящены теоретические разработки отечественных и зарубежных исследователей: В.Н. Бурков, Д.А. Новиков, Ю.М. Иванов, В.В. Токарев, А.П. Уздемир, В.В. Цыганов, Ж. Тироль, П. Милгром, Дж. Робертс и др. [5-10, 14, 16, 17, 19, 20].

Вместе с тем наибольший интерес представляют вопросы компьютерной реализации современных систем управления сложными организационными структурами, в частности, осуществляемых с использованием методов имитационного моделирования. Теоретические основы численной реализации сложных моделей были заложены в работах Дж. Форрестера, Д. Медоуса и др. [13, 21], получивших название методы системной динамики. Реализация методов системной динамики в применении к сложным системам требует наличия эффективных оптимизационных и нейросетевых алгоритмов. Важными в этой области являются работы Дж. Холланда, Д.Е. Гольдберга, Ф. Розенблатта, М. Минского, В.В. Курейчика, Т. Кормена, Ч. Лейзерсона и др. [11, 12, 13, 18, 22, 23].

Итак, цель данной работы – представить новую модель адаптивного управления сложными организационными структурами разработанную с использованием методов системной динамики, генетических и нейросетевых алгоритмов и др. Такая модель может использоваться в качестве интеллектуальной основы системы поддержки принятия стратегических и оперативных решений. Рассмотрен пример практической реализации адаптивной модели для вертикально-интегрированной нефтяной компании.

1. ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СТРУКТУРАМИ

Итак, рассматривается задача стратегического управления сложными организационными структурами, в частности, вертикально-интегрированными компаниями (ВИК). Напомним, что такая задача относится к классу задач сверхбольшой размерности и характеризуется наличием проблемы неопределенности в выборе эффективных управляющих параметров. В свою очередь это приводит к необходимости выделения наиболее приоритетных звеньев системы и их элементов с целью первичной укрупненной оценки результатов деятельности организации и агрегированного управления системой. К примеру, в работе [4] была разработана укрупненная модель оценки акционерной стоимости вертикально-интегрированной нефтяной компании с выделением блока нефтедобычи. Данная модель позволила с использованием метода Монте-Карло и реальных данных нефтяной компании из предварительного перечня факторов (сформированных с учетом исключения проблем мультиколлинеарности и гетероскедастичности) выявить доминантные факторы, существенно влияющие на результаты деятельности, и уменьшить таким образом исходную размерность задачи. Тем не менее, даже для идентифицированных направлений при дальнейшей декомпозиции системы сохраняется большая размерность задачи. Например, для оптимизации портфеля проектов только звена нефтедобычи по N – месторождениям требуется осуществить полный перебор N^N вариантов формирования инвестиционного портфеля (как правило, значения N лежат в диапазоне от 300 до 3 000). Дополнительные сложности возникают вследствие необходимости учета взаимовлияния проектов. При этом для системы, состоящий из звеньев, можно выделить группу важнейших управляющих переменных.

Элементы матрицы отключений инвестиционных проектов:

$$Y_{i_{jk}, j_{k,k}}^i \in \{1; 0\},$$

где

t – время (по годам), $t = 1, 2, \dots, T$;

k – индекс звена вертикально-интегрированной компании, $k = 1, 2, \dots, K$;

j_k – индекс предприятия, входящего в структуру k -го звена вертикально-интегрированной компании, $j_k = 1, 2, \dots, J_k$;

i_{jk} – индекс инвестиционного проекта j_k -го предприятия, $i_{jk} = 1, 2, \dots, N_{j_k}$.

Таким образом, общее количество проектов в портфеле равно:

$$\hat{g} = \sum_{k=1}^K \sum_{j_k=1}^{J_k} N_{j_k} .$$

Рассмотрим важнейшую задачу ВИК по максимизации ее акционерной стоимости, подробно описанную в [1].

Задача 1

Требуется сформировать группу управляющих параметров $\{Y_{i_{jk}^{jk,k}}^t\}$, при которой обеспечивается максимальное значение акционерной стоимости ВИК:

$$DCF \rightarrow \max Y_{i_{jk}^{jk,k}}^t \quad (1)$$

при выполнении системы ограничений уровня ВИК.

Здесь *DCF* – акционерная стоимость ВИК.

Решение задачи 1 заключается в поиске таких вариантов построения инвестиционного портфеля, при котором значение акционерной стоимости ВИК будет максимальным.

Можно показать, что рассматриваемая задача относиться к классу *NP*-полных задач комбинаторной оптимизации. Для этого достаточно доказать, что к ней за полиномиальное время сводится задача, для которой *NP*-полнота уже доказана, в частности, можно утверждать, что задача максимизации акционерной стоимости ВИК близка к хорошо известной *NP*-трудной задаче об одномерной оптимальной упаковке, или задаче о рюкзаке.

Такая задача формулируется следующим образом. Пусть имеется рюкзак заданной грузоподъемности и имеется некоторое множество предметов различного веса и различной стоимости (ценности). Требуется упаковать рюкзак так, чтобы он закрывался, и сумма стоимостей упакованных предметов была бы максимальной. Доказано, что в такой задаче решение надо искать перебором среди множества 2^n двоичных векторов длины *n* (где *n* – число предметов). Очевидно, что переборный алгоритм имеет экспоненциальную сложность и может хорошо работать только для небольших размеров задачи. С ростом размера задачи число вариантов быстро растет, и задача становится практически неразрешимой методом перебора.

Задача 1 также относится к классу *NP*-трудных задач дискретной оптимизации большой размерности, поэтому применение точных методов поиска решений не представляется возможным. Для таких задач следует применять приближенные методы решения, в частности, генетические алгоритмы, алгоритм муравьиной колонии, жадные алгоритмы и др. Особенностью рассматриваемой задачи управления, является то, что имеется система конкурентных ограничений, подробно описанных в [1, 4] (например, минимальный план по добыче нефти, лимит инвестиционных расходов и т.д.), действующих как на уровне системы в целом, так и на уровне звеньев, а также имеются нелинейные обратные связи между характеристиками звеньев системы. Это приводит к тому, что рассматриваемую задачу оптимизации значений управляющих параметров $\{Y_{i_{jk}^{jk,k}}^t\}$ невозможно разбить на подзадачи, так, чтобы последовательность локально оптимальных выборов давала бы глобально оптимальное решение. В результате для приближенного решения данной задачи оказываются неэффективными оптимизационные алгоритмы класса жадных алгоритмов [11] (например, алгоритм Хаффмена), динамического программирования, метод ветвей и границ (из-за нелинейной взаимозависимости проектов,

относящихся к различным звеньям ВИК и сверхбольшой размерности задачи) и др. Нейронные сети также неприменимы, так как в реальных условиях недостатка статистической базы по ранее реализованным проектам невозможно обеспечить процедуру эффективного обучения сети. Поэтому наиболее эффективным решением является использование генетических алгоритмов. Такие алгоритмы предназначены для поиска решений в очень больших, сложных пространствах поиска. Отличительной особенностью генетического алгоритма (ГА) является акцент на использование оператора скрещивания, который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе. В работах [2, 3] показано, что в условиях сверхбольшой размерности задачи необходима модификация классического ГА, применение специальных правил угасающей селекции, а также распараллеливание вычислений для повышения эффективности поиска.

2. МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СТРУКТУРАМИ

Итак, важнейшая задача ВИК – задача максимизации ее акционерной стоимости. При этом можно выделить следующие группы управляющих параметров:

- группа стратегических управляющих параметров (например, ежегодные инвестиции, структура активов, годовая структура поставок продукции и т.д.). Такие параметры реализуют механизм управления верхнего (стратегического) уровня, в частности, могут максимизировать акционерную стоимость ВИК. При этом стратегическая модель управления имеет наиболее инерционную временную грануляцию (как правило, по годам);
- группа оперативных управляющих параметров (например, технологические режимы установок добычи и переработки сырья, ежедневные цены на продукцию и др.). Такие параметры реализуют механизм управления верхнего (стратегического) уровня, в частности, могут максимизировать акционерную стоимость ВИК. При этом оперативная модель управления реализуется в рамках внутреннего более быстрого времени (как правило, по неделям, дням и т.д.).

Отметим, что в таких системах, как правило, реализуется алгоритм многоступенчатой (циклической) оптимизации, в частности, вначале (на первой итерации цикла) при некоторых predetermined значениях характеристик звеньев ВИК максимизируется акционерная стоимость компании и определяются оптимальные значения группы стратегических управляющих параметров, которые становятся ограничениями (экзогенными параметрами) в оперативном управлении. Далее, на следующей итерации цикла, реализуемой в рамках внутреннего более быстрого времени, и при фиксированных значениях ограничений верхнего (стратегического) уровня осуществляется поиск оптимальных значений группы оперативных управляющих параметров. В результате решения таких внутренних оптимизационных задач уровня элементов звеньев ВИК изменяются прогнозные значения переменных, являющихся экзогенными для модели стратегического управления, что приводит к необходимости пересчета акционерной стоимости ВИК и всех значений стратегических управляющих параметров, т.е. осуществляется возврат к первой итерации рассматриваемого алгоритма (рис. 1).



Рис. 1. Многоступенчатая оптимизация в системе управления ВИК

Существенное влияние на рассматриваемую систему оказывают так называемые внешние (макроэкономические) факторы, большая часть из которых, как правило, нестационарна. К примеру, резкое снижение цен нефть способно привести к дефициту инвестиционного капитала для ВИК, и, как следствие, требуется перераспределение материальных и финансовых потоков на уровне звеньев системы.

Итак, проектируемая система управления ВИК (рис. 2) состоит из двух взаимодействующих подсистем:

- подсистема стратегического управления, обеспечивающая решение задачи стратегического управления;
- подсистема оперативного управления, обеспечивающая решение задачи оперативного управления.

На выходе подсистемы стратегического управления – оптимальные значения инвестиционного портфеля $\{\tilde{Y}_{ijk,jk,k}^t\}$, являющиеся входными для подсистемы оперативного управления.

Здесь:

t – медленное время (по годам), $t = 1, 2, \dots, T$;

k – индекс звена вертикально-интегрированной компании, $k = 1, 2, \dots, K$;

j_k – индекс предприятия, входящего в структуру k -го звена вертикально-интегрированной компании, $j_k = 1, 2, \dots, J_k$;

i_{jk} – индекс инвестиционного проекта j_k -го предприятия, $i_{jk} = 1, 2, \dots, N_{jk}$.

На выходе подсистемы оперативного управления – оптимальные значения трех групп оперативных управляющих параметров являющиеся входными для подсистемы стратегического управления:

$$\{\tilde{\lambda}_{z_{jk},g_{jk,k,c}}^t\}, \{\tilde{l}_{i_{jk},k}^t\}, \{\tilde{p}_{g_{jk,k}}^t\},$$

где

z_{j_k} – перечень параметров оперативного управления j -х предприятий k -х звеньев ВИК;

τ – быстрое (внутреннее) время, $\tau = 1, 2, \dots, t$;

$c = 1, 2, 3$ – категории оперативных управляющих параметров;

$g_{j_k} = 1, 2, \dots, G_{j_k}$ – индексы продуктов j -х предприятий k -х звеньев ВИК.

Здесь:

- $\{\lambda_{z_{jk},g_{jk,k,1}}^t\}$ – ежедневные технологические оперативные управляющие параметры (технологические режимы производства, конфигурация заводов и т.п.);
- $\{\lambda_{z_{jk},g_{jk,k,2}}^t\}$ – ежедневные стоимостные оперативные управляющие параметры (стоимость сырья и промежуточных продуктов, производственных и трудовых ресурсов и т.п.);
- $\{\lambda_{z_{jk},g_{jk,k,3}}^t\}$ – ежедневные ресурсные оперативные управляющие параметры (численность персонала, основные фонды и т.п.);
- $\{I_{i_{jk},k}^t\}$ – ежедневные инвестиции в i -е проекты j -х предприятий k -х звеньев.
- $\{P_{g_{jk,k}}^t\}$ – ежедневная стоимость конечных продуктов на выходе j -х предприятий k -х звеньев ВИК.

Отметим, что предложенный подход к управлению ВИК:

- требует учета характеристик всех ключевых звеньев ВИК;
- позволяет управлять сверхбольшим пулом инвестиционных проектов, влияющих на целевую функцию, в частности, акционерную стоимость;
- учитывает систему конкурентных ограничений и предпочтений, охватывающих все звенья ВИК;
- учитывает влияние факторов внешней среды в режиме быстрого времени и поддерживает механизм адаптации системы к внешним условиям;
- решается с использованием специальных алгоритмов класса генетических (ГА) и использованием технологии распараллеливания вычислений.

Введем следующие обозначения:

π_k^t – годовая прибыль k -го звена ВИК (до уплаты налогов и процентов по кредитам), зависящая в свою очередь от стратегических и оперативных управляющих параметров соответственно, т.е.:

$$\pi_k^t(Y_{ijk,jk,k}^t, \{\lambda_{z_{jk},g_{jk,k,c}}^t\}, \{I_{i_{jk},k}^t\}, \{P_{g_{jk,k}}^t\});$$

DCF_k – дисконтированная финансовая (акционерная) стоимость k -го звена ВИК;

$I_k^t, C_k^t, O_k^t, P_k^t, V_k^t$ – ключевые (расчетные) характеристики k -х звеньев ВИК: инвестиции, операционные затраты, операционный поток, прибыль, объем производства условного продукта;

$\bar{I}^t, \bar{C}^t, \bar{O}^t, \underline{DCF}, \underline{P}^t, \underline{V}^t$ – параметры корпоративных ограничений (максимально допустимые значения инвестиций, операционных затрат и минимально допустимые значения операционного потока, дисконтированной финансовой стоимости, прибыли и объема производства условного продукта) – экзоген;

$h_{i_{jk},j_k,k}^t$ – инвестиции в i_{jk} -е проекты j_k -х предприятий k -х звеньев ВИК – экзоген;

r^* – ставка дисконтирования – экзоген.

Задача стратегического управления ВИК

Задача стратегического управления ВИК состоит в выборе такой структуры инвестиционного портфеля, при которой достигается максимальное значение акционерной стоимости ВИК.

Задача 2

Требуется сформировать группу стратегических управляющих параметров $\{Y_{ijk,jk,k}^t\}$, при которой обеспечивается максимальное значение акционерной стоимости ВИК:

$$\sum_{k=1}^K DCF_k \rightarrow \max, \quad (2)$$

где
 $DCF_k =$

$$= \frac{\left[\pi_k^t (Y_{ijk,jk,k}^t, \pi_k^{t*}) * (Y_{ijk,jk,k}^t, \{\tilde{\lambda}_{z_{jk},g_{jk},k,c}^t\}, \{\tilde{I}_{ijk,k}^t\}, \{\tilde{p}_{g_{jk},k}^t\}) - \sum_{j=1}^{J_k} \sum_{i=1}^{N_{jk}} Y_{ijk,jk,k}^t h_{ijk,jk,k}^t \right]}{(1+r^*)^t}, \quad (3)$$

$t = 1, 2, \dots, T, \tau = 1, 2, \dots, t$, при выполнении корпоративных ограничений в каждый момент времени $t \in \{1, 2, \dots, T\}$:

- лимит инвестиционных расходов:

$$\sum_{k=1}^K I_k^t = \sum_{k=1}^K \left[\sum_{j=1}^{J_k} \sum_{i=1}^{N_{jk}} Y_{ijk,jk,k}^t h_{ijk,jk,k}^t \right] \leq \bar{I}^t; \quad (4)$$

- лимит операционных затрат:

$$\sum_{k=1}^K C_k^t \leq \bar{C}^t; \quad (5)$$

- минимально необходимый уровень операционного потока

$$\sum_{k=1}^K O_k^t \geq \underline{O}^t; \quad (6)$$

- минимальный уровень чистого дисконтированного финансового потока:

$$\sum_{k=1}^K DCF_k^t \geq DCF; \quad (7)$$

- минимальный уровень прибыли (до уплаты налогов):

$$\sum_{k=1}^K \pi_k^t \geq \underline{P}^t; \quad (8)$$

- минимальный объем производства условного продукта:

$$\sum_{k=1}^K V_k^t \geq \underline{V}^t; \quad (9)$$

и всех ограничений соответствующих звеньев ВИК, определяемых в задаче оперативного управления.

Здесь параметры корпоративных ограничений $\bar{I}^t, \bar{C}^t, \underline{O}^t, DCF, \underline{P}^t, \underline{V}^t$ являются экзогенными, а остальные характеристики вычисляются в соответствующих моделях звеньев ВИК для k -х звеньев.

Еще раз отметим, что в (3) $\{\tilde{\lambda}_{z_{jk},g_{jk},k,c}^t\}, \{\tilde{I}_{ijk,k}^t\}, \{\tilde{p}_{g_{jk},k}^t\}$ – оптимальные значения трех групп оперативных управляющих параметров, определяемые посредством решения задачи 2, которая будет рассмотрена далее.

Особенностью рассматриваемой задачи является то, что на каждом шаге модельного времени $t \in \{1, 2, \dots, T\}$ одновременно вычисляются характеристики всех звеньев ВИК, влияющие на акционерную стоимость. В частности, примером таких характеристик в нефтяной компании являются: объем добычи, совокупные транспортные издержки и структура поставок, объемы производства нефтепродуктов по видам, спрос и цены на нефтепродукты и др. Большинство вычисляемых характеристик и управляющих параметров являются многомерными, т.е. имеют региональное, продуктивное и прочие измерения в зависимости от звена ВИК, к которому они относятся.

Задача оперативного управления ВИК

Задача оперативного управления ВИК состоит в выборе таких параметров оперативного управления (в рамках внутреннего, более быстрого времени) при которых обеспечивается максимальная годовая прибыль ВИК.

Задача 3

Требуется сформировать три группы оперативных управляющих параметров $\{\lambda_{z_{jk},g_{jk},k,c}^t\}, \{I_{ijk,k}^t\}, \{p_{g_{jk},k}^t\}$ при которых обеспечивается максимальное значение годовой прибыли ВИК:

$$\sum_{\tau=1}^t \sum_{k=1}^K \pi_k^\tau \rightarrow \max_{\lambda_{z_{jk},g_{jk},k,c}^\tau, I_{ijk,k}^\tau, p_{g_{jk},k}^\tau}, \quad (10)$$

где

- дневная прибыль:

$$\pi_k^\tau = \sum_{j=1}^{J_k} \sum_{g_{jk}=1}^{G_{jk}} v_{k,g_{jk}}^\tau (\tilde{Y}_{ijk,jk,k}^\tau, \lambda_{k,z_{jk},1}^\tau, I_{ijk}^\tau) p_{k,g_{jk}}^\tau - \sum_{j_k} c_{j_k}^\tau (\lambda_{k,z_{jk},2}^\tau, \lambda_{k,z_{jk},3}^\tau); \quad (11)$$

- годовая прибыль:

$$\pi_k^t = \sum_{\tau=1}^t \pi_k^\tau. \quad (12)$$

При выполнении ограничений уровня звеньев ВИК в каждый момент времени $\tau \in \{1, 2, \dots, t\}$:

- спрос на конечную продукцию:

$$v_{k,g_{jk}}^\tau (\tilde{Y}_{ijk,jk,k}^\tau, \lambda_{k,z_{jk},1}^\tau, I_{ijk}^\tau) \leq x_{k,g_{jk}}^\tau (p_{k,g_{jk}}^{\tau-1}); \quad (13)$$

- лимит инвестиционных расходов:

$$\sum_{\tau=1}^t \sum_{j_k} \sum_{i_{jk}=1}^{N_{jk}} I_{ijk}^\tau \leq I_k^t; \quad (14)$$

- минимальный объем производства условного продукта:

$$\sum_{\tau=1}^t \sum_{g_{jk}} v_{k,g_{jk}}^\tau \geq V_k^t; \quad (15)$$

- лимит операционных затрат:

$$\sum_{\tau=1}^t \sum_{j_k} c_{j_k}^\tau (\lambda_{k,z_{jk},2}^\tau, \lambda_{k,z_{jk},3}^\tau) \leq C_k^t \quad (16)$$

для всех $k = 1, 2, \dots, K, t = 1, 2, \dots, T, \tau = 1, 2, \dots, t$ и других ограничениях уровня звеньев ВИК, имеющих понятный физический смысл и определяемых в соответствующих компонентах проектируемой системы.

Здесь:

$v_{k,g_{jk}}^\tau$ – ежедневный объем производства g -х продуктов на j -х предприятиях k -х звеньев;

$x_{k,g_{jk}}^\tau (p_{k,g_{jk}}^{\tau-1})$ – спрос на конечную продукцию g -х продуктов j -х предприятиях k -х звеньев, зависящий от предыдущих цен $p_{k,g_{jk}}^{\tau-1}$;

$\tilde{Y}_{ijk,jk,k}^\tau$ – оптимальные значения инвестиционного портфеля (решение задачи 1);

Tax_{jk}^τ – налоги, выплачиваемые j -ми предприятиями k -х звеньев.

Из постановки задач 2-3 следует, что имеется явная циклическая зависимость между подсистемами стратегического и оперативного управления. При этом, согласно постановке задачи 3, решения, получаемые при оперативном управлении, должны быть согласованы с ра-

нее сформированными стратегическими решениями, точнее, они должны быть не хуже. Если в результате оперативного управления получают лучшие агрегированные значения показателей деятельности ВИК, то задача стратегического управления решается заново с целью более адекватной оценки акционерной стоимости.

Отметим, что задача 3 относится к классу **NP**-трудных задач сверхбольшой размерности. Только за счет временной грануляции возникает необходимость одновременного рассмотрения совокупности решений на горизонте 360 шагов быстрого внутреннего времени. Поэтому для решения задач такого класса предлагается использование специальных алгоритмов, поддерживающих механизм адаптивного управления на основе нейронной сети.

Задача 2 также относится к классу **NP**-трудных задач сверхбольшой размерности и решается с использованием специальных алгоритмов класса генетических алгоритмов.

Стратегическое управление ВИК с использованием генетического алгоритма

Циклическое интегрированное управление ВИК состоит в таком последовательном выборе стратегических и одновременно оперативных управляющих параметров (в рамках внутреннего более быстрого времени), при которых акционерная стоимость ВИК будет максимальной. Такой подход реализуем, в частности, при использовании для поддержки механизма управления специальных алгоритмов класса ГА.

Важной проблемой при этом является определение необходимого количества итераций цикла, при которых достигается наибольшее значение акционерной стоимости ВИК при заданных ограничениях. Одним из подходов к определению количества необходимых итераций цикла является критерий стабилизации значения целевого функционала (в частности, акционерной стоимости) на нескольких итерациях цикла, т.е.

$$\sum_{\xi=\sigma-X}^{\sigma} \left| \sum_{k=1}^K DCF_k^{\sigma} - \sum_{k=1}^K DCF_k^{\sigma-\xi} \right| \leq \varepsilon_1, \quad (17)$$

при выполнении всех ограничений (3-14) и условии, что количество итераций σ достаточно велико (как правило, $\sigma > 1000$) и отсутствует редукция алгоритма поиска решений, т.е. выполняется условие теоремы шим (18).

Здесь

ξ – индекс итерации цикла, с которой начинается оценка стабилизации целевого функционала ($0 < \xi < \sigma$);

ε_1 – достаточно малое число.

Впервые ГА был предложен Холландом в 1975 г. [23]. Идея алгоритма базируется на принципах естественного отбора посредством мутаций (случайных изменений отобранных вариантов) и кроссинговера (целенаправленных скрещиваний наилучших вариантов). Как было отмечено ранее, литература по ГА весьма обширна [11, 12, 22, 23], однако практическое применение этого подхода в сфере портфельной оптимизации малоизученно и требует определенных пояснений (в настоящее время ГА применяют в основном в нейросетевом программном обеспечении для бирж и фондового рынка).

Отметим, что существует теорема, объясняющая возможность ГА локализовать области с высокой приспособленностью, известная как теорема шим (сформулирована Гольдбергом, 1975, [23]). Она показывает, каким образом простой ГА экспоненциально увеличивает число примеров полезных шим или строящих блоков, что приводит к нахождению решения исходной задачи.

Шима – это строка длины L (что и длина любой строки популяции), состоящая из знаков алфавита $\{0; 1; *\}$, где $\{*\}$ – неопределенный символ. Каждая шима определяет множество всех бинарных строк длины L , имеющих в соответствующих позициях либо нуль, либо единицу в зависимости от того, какой бит находится в соответствующей позиции самой шимы. Например, шима, $10^{**}1$ определяет собой множество из четырех пятибитовых строк $\{10001; 10011; 10101; 10111\}$.

Можно сказать, что смысл работы ГА заключается в поиске двоичной строки определенного вида из всего множества бинарных строк. Пространство поиска составляет 2^L строк, а его мерность равна L (L -мерное пространство), где L – длина хромосомы. Шаблон (шима) соответствует некоторой гиперплоскости в этом пространстве.

Введем следующие обозначения:

H – шаблон (шима);

L – длина двоичных строк в популяции;

p_c – вероятность проведения оператора одноточечного кроссовера;

$\delta(H)$ – длина шимы H ;

$f(H)$ – приспособленность шимы (фитнес-функция);

$\bar{f}(\sigma)$ – средняя приспособленность шим для текущего поколения;

$m(H,t)$, $m(H,t + 1)$ – доля строк, соответствующих шаблону H в текущем t и следующем поколении $t + 1$ соответственно.

Вероятность того, что оператор кроссовера разрушит шаблон:

$$p_c * \delta(H) / (L - 1).$$

Вероятность того, кроссовер не разрушит шаблон:

$$1 - p_c * \delta(H) / (L - 1).$$

Вероятность того, что строка, соответствующая шаблону H , будет участвовать в скрещивании:

$$m(H,\sigma) * f(H,t) / f_{cp}(t).$$

Теорема шим (Холланд, 1975). Для доли строк, соответствующих шаблону H , в каждом следующем поколении выполняется следующее ограничение:

$$m(H,t + 1) \geq m(H,t) \frac{f(H,\sigma)}{\bar{f}(\sigma)} \left[1 - p_c * \frac{\delta(H)}{L - 1} \right]. \quad (18)$$

Теорема шим показывает, что строящие блоки растут по экспоненте, в то время шимы с приспособленностью ниже средней распадаются с той же скоростью.

Одним из недостатков данной теоремы является то, что в ней отсутствует влияние мутации на создание и разрушение шаблонов.

Обозначим:

p_m – вероятность мутации одного разряда шимы;

$o(H)$ – порядок шаблона H .

Вероятность того, что мутация не разрушит шаблон, равна $(1 - p_m)^{o(H)}$.

С учетом этого исправленная теорема шим имеет следующий вид (Холланд, 1992):

$$m(H, \sigma + 1) \geq m(H, \sigma) \frac{f(H, \sigma)}{\bar{f}(t)} * \left[1 - p_c * \frac{\delta(H)}{L-1} \right] (1 - p_m)^{\sigma(H)}. \quad (19)$$

Итак, ГА с течением итераций формирует, так называемую приспособленную (устойчивую) популяцию решений. Можно сказать, что ГА постепенно выводит из популяции все плохие варианты решений, оставляя наилучшие, которые с дальнейшим течением итераций стабилизируют значение целевого функционала (при условии что параметры ГА выбраны таким образом, что алгоритм не разрушает финальную популяцию).

Применительно к задаче стратегического управления (задача 2) фитнес-функция имеет следующий вид:

$$f^t(H, \sigma) = \Omega_H^{t;\sigma} + \beta * DCF_H^\sigma, \quad (20)$$

где

t – время ($t = 1, 2, \dots, T$);

DCF_H^σ – целевая функция (акционерная стоимость)

для H -й шимы;

$\Omega_H^{t;\sigma}$ – оценка расстояния H -й шимы от области допустимых значений;

β – весовой коэффициент, $0 \leq \beta \leq 1$ – экзоген.

Более подробно механизм реализации ГА описан в [1-3].

Оперативное адаптивное управление ВИК с использованием нейронной сети

В современных условиях одной из ключевых проблем управления сложными организационными системами является существенное влияние динамики внешней среды (изменение рыночных цен, обменных курсов, спроса и т.д.). Зачастую резкое изменение значений отдельных макропараметров может к дестабилизации всей системы и необходимости постоянного пересмотра как стратегических, так и оперативных решений. Для преодоления этих трудностей необходимо использовать алгоритмы, поддерживающие механизм адаптивного управления, т.е. такого управления, когда желательное состояние системы осуществляется на основе предшествующего процесса управления, т.е. на основе накопления опыта и постоянного обучения системы.

Применительно к задаче 3, адаптивное управление реализуется с помощью сравнения прогнозной величины дневной прибыли ВИК и фактической для всех звеньев ВИК и последующей корректировке ранее сформированных оптимальных значений параметров оперативного управления (с помощью алгоритма нейронной сети):

$$\Delta \pi_k^\tau = \left| \frac{\tilde{\pi}_k^{\tau+1} - \hat{\pi}_k^{\tau+1}}{\hat{\pi}_k^{\tau+1}} \right| \leq \varepsilon_1, \quad (21)$$

для всех $k = 1, 2, \dots, K$, $\tau = 1, 2, \dots, t$.

Здесь

$\tilde{\pi}_k^{\tau+1}$ – решение задачи оптимизации (10-16), представляющее собой прогноз прибыли на момент времени ($\tau + 1$);

$\hat{\pi}_k^{\tau+1}$ – фактическая прибыль на момент времени ($\tau + 1$), полученная в условиях внедрения в операци-

онное управление ВИК ранее сформированных на шаге τ оптимальных значений трех групп оперативных управляющих параметров $\{\tilde{\lambda}_{z_{jk}^* g_{jk}^* k, c}^\tau\}$, $\{\tilde{l}_{i_{jk}^* k}^\tau\}$, $\{\tilde{p}_{g_{jk}^* k}^\tau\}$ ($\tau = 1, 2, \dots, t$);

ε_1 – достаточно малое число (погрешность).

В случае невыполнения неравенства (21) с помощью нейронной сети выявляются причины (влияющие показатели) отклонения прогнозной прибыли от фактической для дальнейшей автоматической корректировки соответствующих параметров оперативного управления.

Отметим, что при оперативном управлении существует принципиальная проблема распознавания факторов, влияющих на отклонение фактических значений прибыли от прогнозных. Как правило, имеется немонотонная зависимость между наблюдаемым план-факт отклонением (21) и значительной частью входных параметров системы (например, налоговыми ставками, оценкой удовлетворенности клиентов, заработной платой и бонусами персонала и т.д.). В этом случае традиционные методы корреляционного анализа оказываются неэффективными и непригодными для выделения доминантных факторов. Методы вероятностного моделирования также трудно применимы из-за недостатка информационной базы. Поэтому для поддержки механизма оперативного управления, выявления и управления доминантными факторами предлагается использовать нейронные сети, в частности, многослойный перцептрон.

Напомним, что перцептрон, или персептрон (англ. perceptron от лат. perceptio – «восприятие»; нем. Perzeptron) – математическая и компьютерная модель восприятия информации мозгом, предложенная Ф. Розенблаттом в 1957 г. [18] и реализованная в виде электронной машины «Марк-1» в 1960 г. Несмотря на свою простоту, перцептрон способен обучаться и решать довольно сложные задачи.

Перцептрон состоит из трех типов элементов, а именно: поступающие от сенсоров сигналы передаются ассоциативным элементам, а затем реагирующим элементам. Таким образом, перцептроны позволяют создать набор «ассоциаций» между входными стимулами и необходимой реакцией на выходе. В биологическом плане это соответствует преобразованию, например, зрительной информации в физиологический ответ от двигательных нейронов. Согласно современной терминологии, перцептроны могут быть классифицированы как искусственные нейронные сети:

- с одним скрытым слоем;
- с пороговой передаточной функцией;
- с прямым распространением сигнала.

Простым **S**-элементом (сенсорным) является чувствительный элемент, который от воздействия какого-либо из видов энергии (например, света, звука, давления, тепла и т.п.) вырабатывает сигнал. Если входной сигнал превышает некоторый порог θ , на выходе элемента получаем +1, в противном случае – 0.

Простым **A**-элементом (ассоциативным) называется логический решающий элемент, который дает выходной сигнал +1, когда алгебраическая сумма его входных сигналов равна или превышает некоторую пороговую величину θ (говорят, что элемент активный), в противном случае выход равен нулю.

Простым **R**-элементом (реагирующим, т.е. действующим) называется элемент, который выдает сигнал

+1, если сумма его входных сигналов является строго положительной, и сигнал -1, если сумма его входных сигналов является строго отрицательной. Если сумма входных сигналов равна нулю, выход считается либо равным нулю, либо неопределенным.

Если на выходе любого элемента мы получаем единицу, то говорят, что элемент активен или возбужден.

Применительно к рассматриваемой задаче оперативного управления ВИК для идентификации и последующего выбора эффективных управляющих параметров предлагается использовать классический многослойный перцептрон. Это обусловлено тем, что на вход системы оперативного планирования могут быть поданы разные (разнонаправленные) сигналы, приводящие в совокупности к возникновению план-факт отклонений по прибыли (21).

Назначение перцептрона в задаче оперативного управления заключается в выделении из множества влияющих на прибыль факторов подмножества тех, которые привели к возникновению план-факт отклонений по прибыли. Соответственно перцептрон по результатам обучения позволяет разделить множество всех входных параметров системы оперативного управления ВИК на две группы:

- факторы, обуславливающие наблюдаемое план-факт отклонение прибыли;
- прочие факторы, влияющие на прибыль.

Схема многослойного перцептрона представлена на рис. 2.

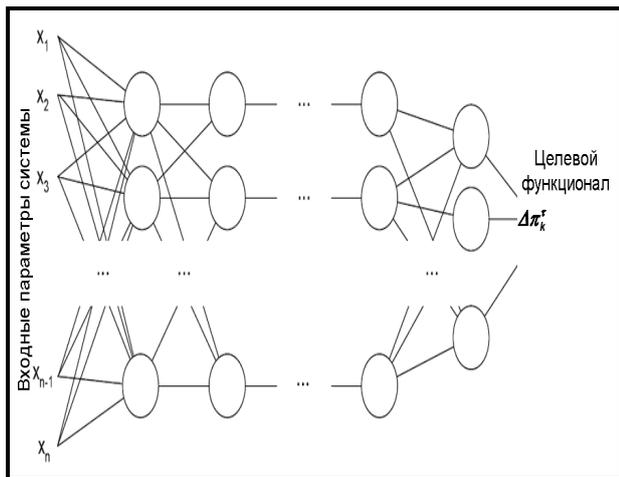


Рис. 2. Схема многослойного перцептрона

Подробное описание алгоритма обучения перцептрона выходит за рамки данной статьи.

3. ПРИМЕР АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ НЕФТЯНОЙ КОМПАНИИ

Ниже представлена архитектура адаптивной системы стратегического и оперативного управления разработанной для вертикально-интегрированной нефтяной компании (ВИНК).

Особенностью разработанной адаптивной системы стратегического и оперативного управления (рис. 3) является возможность максимизации акционерной стоимости ВИНК, оцениваемой на долгосрочную перспективу (15-20 лет) с помощью предложенного генетического алгоритма [7, 8] с одновременным решением задач

оперативного управления (в рамках внутреннего, более быстрого времени), в частности, таких как выбор способов добычи нефти, геолого-технических мероприятий на скважинах, режимов работы нефтеперерабатывающих заводов, количества персонала и др. при заданных инвестициях и выбранной стратегии управления нефтегазовыми активами. Такой интегрированный адаптивный подход к управлению ВИНК обеспечивает принципиальное повышение эффективности системы подготовки принятия решений.

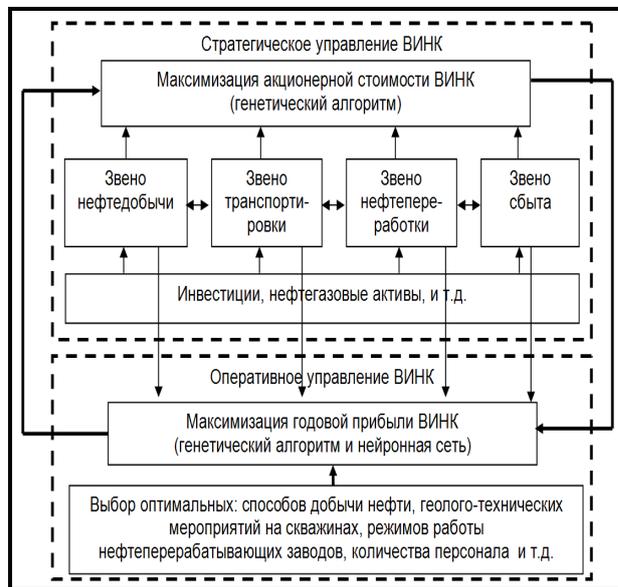


Рис. 3. Архитектура адаптивной системы стратегического и оперативного управления ВИНК

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что создание адаптивных систем управления для сложных организационных структур, в частности ВИК, требует решения сложных проблем, в частности, связанных со сверхбольшой размерностью решаемых задач оперативного и стратегического планирования, необходимостью организации системы сбора и обработки фактической информации (информационного хранилища) для поддержки управления на основе регулярного план-факт анализа и др.

Вместе с тем разработка и использование моделей адаптивного управления позволяет принципиально повысить эффективность принимаемых оперативных и стратегических решений, главным образом за счет поддержки механизма интеллектуальной обработки и оптимизации управляющих параметров системы. При этом для системы стратегического управления предложен эффективный генетический алгоритм, обеспечивающий, в частности, возможность решения задачи максимизации акционерной стоимости компании. Для системы оперативного управления рекомендуется использование генетического алгоритма в сочетании с нейросетевым алгоритмом, обеспечивающим возможность распознавания факторов, существенно влияющих на наблюдаемые план-факт отклонения прибыли, для дальнейшей автоматической корректировки соответствующих параметров оперативного управления.

Отметим, что разработанная система адаптивного управления внедрена в крупнейших российских вертикально-интегрированных компаниях и используется при подготовке стратегических и оперативных решений.

Акопов Андраник Сумбатович

Литература

1. Акопов А.С. Интеллектуальные гибридные системы управления деятельностью вертикально-интегрированными организационными структурами [Текст] / А.С. Акопов, Г.Л. Бекларян ; препринт #WP/2009/267. – М. : ЦЭМИ РАН, 2009. – 54 с.
2. Акопов А.С. О сходимости и устойчивости модифицированного генетического алгоритма в задаче управления инвестиционным портфелем вертикально-интегрированной нефтяной компании [Текст] / А.С. Акопов // Труды Института системного анализа РАН. – 2008. – Вып. 32(1). – С. 180-189.
3. Акопов А.С. Процедура и алгоритмы формирования квазиоптимальных инвестиционных решений вертикально-интегрированной нефтяной компании [Текст] / А.С. Акопов // Труды Института системного анализа РАН. – 2008. – Вып. 32(1). – С. 168-179.
4. Акопов А.С. Система управления инвестиционной деятельностью вертикально-интегрированной нефтяной компании [Текст] : автореф. дисс. ... д-ра технических наук по специальности 05.13.11. – М., 2009.
5. Баркалов С.А. и др. Модели и механизмы в управлении организационными системами [Текст] : в 2 т. / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, Д.А. Новиков, Н.А. Шульженко. – М. : Тульский полиграфист, 2003. Т. 1. – 560 с., Т. 2. – 380 с., Т. 3. – 205 с.
6. Бурков В.Н. и др. Большие системы: моделирование организационных механизмов [Текст] / В.Н. Бурков, Б. Данев, А.К. Еналеев и др. – М. : Наука, 1989. – 245 с.
7. Бурков В.Н. Как управлять организациями [Текст] / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М. : Синтег, 2004. – 400 с.
8. Бурков В.Н. и др. Теория графов в управлении организационными системами [Текст] / В.Н. Бурков, А.Ю. Заложнев, Д.А. Новиков. – М. : Синтег, 2001. – 124 с.
9. Губко М.В. Механизмы управления организационными системами с коалиционным взаимодействием участников [Текст] / М.В. Губко. – М. : ИГУ РАН, 2003. – 118 с.
10. Иванов Ю.Н. и др. Математическое описание элементов экономики [Текст] / Ю.Н. Иванов, В.В. Токарев, А.П. Уздемир. – М. : Физматлит, 1994. – 416 с.
11. Кормен Т. и др. Алгоритмы: построение и анализ [Текст] / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест ; пер. с англ. ; под ред. А. Шеня. – М. : МЦНМО, 2002. – 960 с.
12. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы [Текст] / В.М. Курейчик. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 1998. – 242 с.
13. Медоуз Д. и др. Пределы роста [Текст] / Донелла Медоуз, Йорген Рандерс, Деннис Медоуз. – М. : Академкнига, 2008. (Учебное пособие для вузов).
14. Милгром П. Экономика, организация и менеджмент [Текст] / П. Милгром, Дж. Робертс. – СПб. : Экономическая школа, 1999. Т. 1 – 468 с., Т. 2 – 422 с.
15. Минский М. Перцептроны = Perceptrons [Текст] / М. Минский, С. Пейперт. – М. : Мир, 1971. – 261 с.
16. Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем [Текст] / Д.А. Новиков. – М. : Проблемы управления, 1999. – 150 с.
17. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами [Текст] / Д.А. Новиков. – М. : МПСИ, 2005. – 584 с.
18. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики : перцептроны и теория механизмов мозга = Principles of neurodynamic: perceptrons and the theory of brain mechanisms [Текст] / Ф. Розенблатт. – М. : Мир, 1965. – 480 с.
19. Тироль Ж. Рынки и рыночная власть. Теория организации промышленности [Текст] : в 2 т. / Ж. Тироль. – СПб. : Экономическая школа, 2000. Т. 1 – 328 с., Т. 2 – 450 с.
20. Цыганов В.В. Адаптивные механизмы в отраслевом управлении [Текст] / В.В. Цыганов. – М. : Наука, 1991. – 166 с.
21. Forrester J.W. Industrial dynamics. Productivity Press, Portland Oregon, 1961.
22. Goldberg D.E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.
23. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.

Ключевые слова

Адаптивное управление; математическое моделирование; стратегическое и оперативное планирование; нейронные сети; генетические алгоритмы.

РЕЦЕНЗИЯ

Статья Акопова А.С. «Об одной модели адаптивного управления сложными организационными структурами» посвящена весьма актуальной теме разработки новых, научно-обоснованных методов и моделей адаптивного управления сложными системами, в частности, вертикально-интегрированными организационными структурами.

Актуальность работы обусловлена принципиальной важностью и сложностью решаемых проблем, связанных со сверхбольшой размерностью задач стратегического и оперативного управления, неопределенностью в выборе эффективных управляющих параметров, необходимостью разработки алгоритмов, поддерживающих механизм управления такими объектами.

Научная и практическая значимость работы заключается в следующем.

- Первое – разработана новая адаптивная модель управления сложными организационными структурами, поддерживающая механизм оперативного управления в едином цикле стратегического планирования, в рамках более быстрого времени. Такой подход обеспечивает существенное повышение эффективности принимаемых стратегических и оперативных решений за счет большей согласованности и адаптации к динамичным условиям внешней среды.
- Второе – предложен эффективный генетический алгоритм, который в сочетании с нейросетевым алгоритмом обеспечивает поддержку адаптивного управления сложными организационными системами и позволяет, в частности, решать задачи максимизации годовой прибыли и акционерной стоимости компании в рамках процессов стратегического и оперативного планирования соответственно.
- Третье – разработанная адаптивная модель реализована в рамках программного комплекса, обеспечивающего единый цикл стратегического и оперативного управления организацией. Такой комплекс включает систему сбора и обработки фактической информации, необходимой для проведения регулярного план-факт анализа и последующего формирования более рациональных управленческих решений. Отметим, что разработанная система внедрена в крупной вертикально-интегрированной нефтяной компании.

Считаю, что статья может быть опубликована в научном издании.
Бекларян Л.А., д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник
Центрального экономико-математического института РАН

9.1. ABOUT ONE MODEL OF ADAPTIVE MANAGEMENT OF DIFFICULT ORGANIZATIONAL STRUCTURES

A.S. Akopov, Doctor of Engineering, Professor

State University – the Higher School of Economics

In work the developed model of adaptive management by the vertically integrated companies based on the system approach supporting the mechanism of an operational management in a uniform cycle of strategic planning, within the limits of faster time is presented. Thus for a finding of optimum values of operating parameters special algorithms of a class of genetic algorithms are used, neural networks the example of the developed system of adaptive management for the vertically-integrated oil company is etc. presented.

Literature

1. S.A. Barkalov, V.N. Burkov, D.A. Novikov, N.A. Shulzhenko. Models and mechanisms in management of organizational systems. – M: Publishing house the Tula printer, 2003. V. 1. – 560 p., V. 2. – 380 p., V. 3. – 205 p.
2. V.N. Burkov, A.J. Zalozhnev, D.A. Novikov. Theory of counts in management of organizational systems. – M: Sinteg, 2001. – 124 p.

3. V.N. Burkov, D.A. Novikov. How to operate the organizations. – M: Sinteg, 2004. – 400 p.
4. V.N. Burkov, B. Danev, A.K.Enaleev, etc. the Big systems: modeling of organizational mechanisms. – TH.: the Science, 1989. – 245 p.
5. M.V. Gubko. Mechanism of management of organizational systems with coalition interaction of participants. – M: IPC the Russian Academy of Sciences, 2003. – 118 p.
6. D.A. Novikov. Theory of management of organizational systems. M: MPSI, 2005. – 584 p.
7. D.A. Novikov. Mechanism of functioning of multilevel organizational systems. – M: Fund «management Problem», 1999. – 150 p.
8. J.N. Ivanov, V.V. Tokarev, A.P. Uzdemir. Mathematical the description of elements of economy. M.Fizmatlit 1994. 416 p. Firm cover, a usual format.
9. V.V. Tsyganov. Adaptive mechanisms in sectoral management. – M: the Science, 1991. – 166 p.
10. J. Tirol. The markets and the market power. The theory of the organization of the industry. – S.Pb.: «economic school», 2000. V. 1 – 328 p., V. 2 – 450 p.
11. P. Milgrom, J. Roberts. Economics, the organization and management. – S.Pb.: «economic school», 1999 V. 1 – 468 p., V. 2 – 422 p.
12. Forrester Jay W. «Industrial dynamics», Productivity Press, Portland Oregon, 1961.
13. Donella Medouz, Jorgen Randers, Dennis Medouz. Growth limits. Limits to Growth. A series: the Manual for high schools. Publishing house: IKC «Akademkniga», 2008
14. J.H. Holland. Adaptation in natural and artificial systems. Ann Arbor: University of Michigan Press. 1975.
15. Goldberg D.E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Reading, MA: Addison-Wesley. 1989.
16. V.M. Kureychik Genetic algorithms. – Taganrog: publishing house TRTU, 1998. – 242 p. // the fundamental theorem of HECTARE, p. 65-101.
17. T. Kormen, C. Lejzerson, R. Rivest. Algorithms: construction and the analyze./lane with English under the editorship of A. Shenja – TH.:MCNMO, 2002 – 960 p.
18. M. Minsk, S. Pejbert. Perceptrons. – M: the World, 1971. – 261 p.
19. F. Rozenblatt, Principles of Neurodynamic: Perceptrons and the theory of mechanisms of a brain. – M: the World, 1965. – 480 p.
20. A.S. Akopov. Control system investment activity of the vertically integrated oil company: the dissertation author's abstract on competition of a scientific degree of a Dr. Sci. Tech. on a speciality 05.13.11. – M, 2009.
21. A.S. Akopov, G.L. Beklarjan. Intellectual hybrid control systems of activity of the vertically integrated organizational structures / a pre-print #WP/2009/267.-M.: CEMI the Russian Academy of Sciences, 2009. – 54 p.
22. A.S. Akopov. Procedure and algorithms of formation of the quasioptimum investment.
23. A.S. Akopov. About convergence and stability of the modified genetic algorithm in a management problem an investment portfolio of the vertically integrated oil company.//Works of Institute of the System Analysis of the Russian Academy of Sciences, Release 32 (1), 2008 – p.180-189.

Keywords

Adaptive management; mathematical modeling; strategic and operational planning; neural networks; genetic algorithms.