

МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОТРАСЛИ

*Черкасский государственный технологический университет, Черкассы, Украина

**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

Анотація. Розглянуто задачу аналізу та оптимізації функціонування підприємства галузі. Запропоновано як інструментарій моделювання та підтримки прийняття рішень використовувати мультиагентні технології. Визначено проблеми, які супроводжують процес моделювання, побудовано моделі з використанням продукційних правил та розроблено метод оптимізації на основі зміни множини задач, структури виробництва та стратегії управління підприємством.

Ключові слова: підприємство галузі, прийняття рішень, мультиагентні технології.

Аннотация. Рассмотрена задача анализа и оптимизации функционирования предприятия отрасли. Предложено в качестве инструментария моделирования и поддержки принятия решений использовать мультиагентные технологии. Определены проблемы, которые сопровождают процесс моделирования, построены модели с использованием продукционных правил и разработан метод оптимизации на основе изменения множества задач, структуры производства и стратегии управления предприятием.

Ключевые слова: предприятие отрасли, принятие решений, мультиагентные технологии.

Abstract. The problem of analysis and optimization of the sector of enterprise functioning was considered. It was proposed to use multi-agent technologies as modeling tools and decision support systems. It was identified the problems that accompany the modeling process. The models with production rules were built and the method of optimization based on changes in a variety of tasks, production, and enterprise management strategy was developed.

Keywords: sector of enterprise, decision making, multi-agent technologies.

1. Введение

Рассмотрим проблему сопровождения предприятий отрасли по этапам их жизненного цикла и используем для ее решения элементы теории мультиагентных систем (МАС). Истоки теории МАС можно проследить по книге [1], изданной по материалам одной из конференций в Праге в 2001 году. Главными вопросами, поднимаемыми на конференции, были перспективы организации МАС, мультиагентная инфраструктура, логические основания МАС, стандартизация коммуникации в МАС, принятие решений в МАС, команды гетерогенных агентов. Очевидно, что на конференции рассматривались теоретические задачи развития МАС, разработки соответствующих моделей и методов. Изменения, произошедшие с тех пор, отражены в материалах конференции 2013 года в Испании. Здесь главными стали технологии применения МАС для решения практических задач, в частности, применение МАС в Grid, в виртуальных организациях, при предоставлении транспортных сервисов, для составления логистических расписаний, для разработки рекомендуемых систем, в энергетике, в медицине и др. Динамика МАС: от теории к практике свидетельствует об актуальности использования такого рода систем и рациональности их разработки и применения.

В пользу последнего предположения свидетельствуют и работы отечественных ученых. Так, исследованы возможности построения логистических информационных систем на предприятиях, которые способны обеспечить организационно-экономическую стойкость предприятий в рыночных условиях с использованием экономико-математического моделирования и информационных технологий, результатом чего являются разработанные

МАС [1]. Создавались МАС и для решения задач моделирования развития городской инфраструктуры с целью получения общей картины путем объединения частных задач, решаемых в рамках отдельных агентов. Разработана технология совместного использования мультиагентного имитационного моделирования и экспертных оценок для прогнозирования эволюционного развития города [2]. Предлагались технологии разработки МАС от определения требований до реализации с использованием трансформационных процессов интеллектуальных агентов, что позволяло генерировать нечеткие платформенно-независимые модели внутреннего управления агентами [3]. Рассматривались информационные модели управления процессом обучения с использованием мультиагентного подхода в условиях адаптивного обучения, что создаст предпосылки полной автоматизации управления процессом обучения [4].

Нами проанализирована только малая часть областей и методов, где доказаны преимущества применения МАС. Еще одной задачей, где использование принципов создания и функционирования МАС является востребованным, есть принятие решений на предприятиях отрасли.

2. Постановка задачи

Руководитель каждого предприятия в процессе его функционирования неизбежно сталкивается с необходимостью принятия решений о модернизации, ликвидации, изменении спектра решаемых задач, структуры производства, стратегии управления, в большинстве случаев заключающейся в распределении ресурсов. Разные предпосылки, масштабы принимаемых решений и их последствия свойственны предприятиям-монополистам и предприятиям отрасли, выпускающим однородную продукцию. Если монополист ориентируется на внешнюю конъюнктуру, особенности законодательства, поставщиков и потребителей как некоторые абстрактные совокупности большой мощности, то руководитель предприятия отрасли ориентируется на микроэкономические параметры, особенности функционирования предприятий, которые в некоторых случаях находятся в отношениях кооперации, но чаще всего являются конкурентами. В идеальном случае ЛПП-руководитель предприятия оптимизирует его деятельность, учитывая среднюю стоимость продукции на рынке и у каждого предприятия-конкурента в отдельности, а также другие показатели эффективности (себестоимость, фондовооруженность и т.п.) Ограничивающим фактором является емкость рынка, а направляющим фактором – закон равенства спроса и предложения.

Учитывая то, что функционирование предприятия (изготовление продукции) можно считать непрерывным процессом, а транзакции (продажа продукции, покупка материалов, получение инвестиций и т.п.) происходят в дискретные моменты времени, его деятельность можно представить некоторым непрерывно-дискретным или логико-динамическим процессом.

Лицо, принимающее решения, на основании знаний, опыта и интуиции определяет стратегию и тактику развития предприятия, однако в большинстве случаев его деятельность является оперативной реакцией на текущее состояние окружающей среды и значения параметров предприятия. Критичность влияния фактора времени приводит к неправильным или стратегически провальным решениям. Их негативные последствия можно было бы исключить, используя прогнозирование и анализ возможных сценариев развития событий. Соответствующим инструментарием могут быть МАС. В данном случае агентом является некоторая сущность, предназначенная для автономного принятия решений, а также для поддержки принятия решений ЛПП (рис. 1). Каждый агент имеет внутреннюю структуру (междумодульные связи), элементный базис (программные модули для решения отдельных задач), использует данные (как внутренние для предприятия, так и из общей базы данных), выполняет заключения (на основании производственных правил как частных

для предприятия, так и из общей базы данных). Заметим, что целью функционирования агента является получение максимальной прибыли, как решение одной из задач различными методами, так и выдача рекомендаций о модификации функционирования предприятия. Выполним формализацию задачи оптимизации деятельности предприятия отрасли.

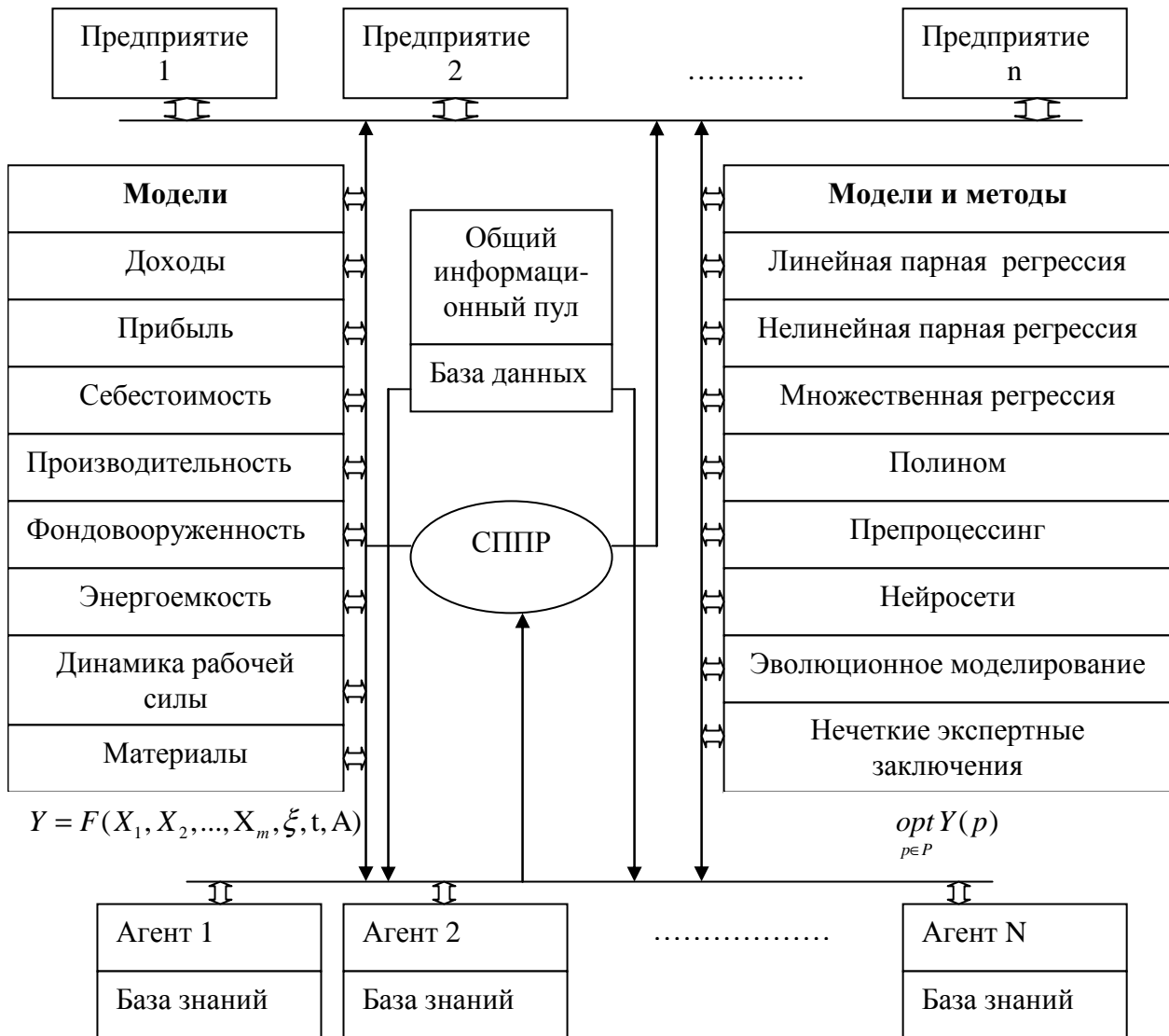


Рис. 1. Структура системы поддержки принятия решений с использованием МАС

Пусть $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ – множество предприятий отрасли, $n \geq 2$. Будем считать, что функционирование предприятия S_i определяется тройкой элементов:

$$S_i = \langle X_i, Y_i, Z_i, t \rangle, \quad (1)$$

где X_i – входные факторы системы, Z_i – параметры внутреннего состояния, Y_i – выходные характеристики системы S_i , t – время. Состояние системы S_i в момент времени t определяется значениями ее показателей, то есть

$$S_i = \langle x_{it}^1, x_{it}^2, \dots, x_{it}^{n_x}, z_{it}^1, z_{it}^2, \dots, z_{it}^{n_z}, y_{it}^1, y_{it}^2, \dots, y_{it}^{n_y} \rangle \quad (2)$$

где x_{it}^j – значение j -го входного фактора в момент времени t (стоимость оборудования, поставленного на предприятие), $j = \overline{1, n_x}$; z_{it}^j – значение j -го внутреннего параметра (себестоимость единицы продукции), $j = \overline{1, n_z}$; y_{it}^j – значение j -й выходной характеристики (доход от продажи единицы продукции), $j = \overline{1, n_y}$. Будем считать любые изменения любого значения из (2) транзакциями. Моменты времени осуществления транзакций дискретизируют временной интервал функционирования предприятия $T = \{t_0 < t_1 < t_2 < \dots\}$.

Выходные характеристики предприятия или их комбинации осуществляют влияние на функционирование предприятия, и эффективность их реализации оценивается показателями эффективности P_i^k , то есть

$$P_i^k = P_i^k(S_i) = P_i^k(Y_i) = P_i^k(y_{it}^1, y_{it}^2, \dots, y_{it}^{n_y}), \quad (3)$$

где $k = \overline{1, l}$, l – количество показателей эффективности. Тогда интегральный показатель – интегральный критерий эффективности предприятия представим как

$$E_i = E_i(P_i^1, P_i^2, \dots, P_i^l) = E_i(P_i^1(Y_i), P_i^2(Y_i), \dots, P_i^l(Y_i)). \quad (4)$$

В свою очередь, $Y_i = F_i(X_i, Z_i)$, поэтому

$$E_i = E_i(P_i^1(F_i(X_i, Z_i)), P_i^2(F_i(X_i, Z_i)), \dots, P_i^l(F_i(X_i, Z_i))). \quad (5)$$

Учитывая то, что рынок производимой предприятиями отрасли продукции имеет ограниченную емкость, максимальную прибыль E_{\max} могло бы получить единственное предприятие на рынке при отсутствии конкурентов, наличии достаточной ресурсной и кадровой базы. Поскольку ранее такая ситуация исключена ($n \geq 2$), то для каждого предприятия решается задача $E_i \rightarrow E_{i\max} \quad \forall t \in T$, где T – временной интервал функционирования предприятия.

3. Особенности идентификации показателей эффективности предприятия

Сузим нашу задачу и предположим, что необходимо не проводить моделирование функционирования всех предприятий отрасли и рынка их продукции, а действовать в интересах одного предприятия S_* и получить решения, максимизирующие его эффективность и иницирующие его структурную перестройку. Лицо, принимающее решения, будет учитывать ретроспективную информацию, текущее состояние и действовать, прогнозируя будущее.

Как показано на рис. 1, основанием для принятия решений является процесс моделирования. В первую очередь, необходимо получить модели $P_i^k, k = \overline{1, l}$. Их построение начинается со спецификации или структурной идентификации с использованием банка моделей (линейной и нелинейной парной регрессии, линейной и нелинейной множественной регрессии, полиномов Колмогорова-Габора, нейросетей, древоподобных структур и т.п.). Параметрическая идентификация таких моделей осуществляется с использованием известных методов (наименьших квадратов, группового учета аргументов (МГУА), Брандона, back propagation, генетического программирования и др.).

Решение задач структурной и параметрической идентификации осуществляется на основании информации из базы данных, которая хранится и записывается в формате

$$DB_1 = \langle t_i, S_j \rangle, \quad (6)$$

где t_i – время транзакции, S_j – значения параметров j -го предприятия, совершившего транзакцию, в виде (2). Для сокращения количества будущих расчетов базе данных ставится в соответствие база данных DB_2 , следуя правилу:

$$\text{если в } DB_1 \quad q_{jt-1}^l = q_{jt}^l, \text{ то в } DB_2 \quad q_{jt}^l = '' ,$$

где q_{jt}^l – значение параметра j -й системы в момент времени $t, l = \overline{1, n_x + n_z + n_y}, j = \overline{1, n}$.

Идентификация моделей будет осуществляться на основании ретроспективной информации, их качество проверяется с использованием текущих данных. Получение адекватных моделей является необходимым условием прогнозирования будущих процессов. Формально получаем банк моделей для одного показателя эффективности:

$$P_i \rightarrow MB_i = \langle H_i^1, H_i^2, \dots, H_i^w \rangle = MB_i(t_0, t_1, \dots, t_{v-1}), \quad (7)$$

где t_{v-1} – время предыдущей транзакции.

Среди моделей H_i^j выбираем наилучшую по критерию:

$$\min_j |H_i^j(t_v) - P_i(t_v)|, \quad (8)$$

где $H_i^j(t_v)$ – значение показателя, рассчитанное с использованием j -й модели для времени последней транзакции, $P_i(t_v)$ – известное значение показателя эффективности. Процесс получения моделей (7) может быть модифицирован за счет учета транзакций до моментов времени t_{v-2}, t_{v-3} и т.п. В свою очередь, (8) запишется в таком виде:

$$\min_j \sum_{l=0}^{r-1} |H_i^j(t_{v-l}) - P_i(t_{v-l})|, \quad (9)$$

где r – мощность множества транзакций для определения наилучшей модели.

Существует еще одна проблема, связанная с обработкой базы данных. Поскольку количество переменных в (2) достаточно велико, для решения дальнейших задач существует необходимость их сокращения без существенного уменьшения информативности. Одна из таких задач заключается в поиске характеристик деятельности предприятия или нескольких предприятий, значения которых наиболее существенно влияют на некоторую характеристику рассматриваемого предприятия. На начальном этапе предположим, что такое влияние можно представить линейной функцией и характеризовать коэффициентом корреляции. Задача формулируется таким образом. Для каждого k -го показателя эффективности i -го предприятия найти r_{ij}^{kl} – коэффициент корреляции с l -м показателем эффективности j -й системы, выполнить анализ полученных результатов путем определения порогового значения r_{th} и отбора показателей эффективности, для которых $|r_{ij}^{kl}| > r_{th}$, которые и будем считать информативными.

Для расчета коэффициентов корреляции используем элементы технологии OLAP. Поскольку DB_2 содержит данные о транзакциях всех предприятий, то необходимо сформировать новую таблицу DB_3 , первый столбец которой будет содержать данные о моментах времени, в которые происходили изменения показателя эффективности P_i^k , второй столбец – значения P_i^k , в третьем столбце – значения P_i^1 в момент времени, предшествующий времени в столбце 1, далее – аналогично, и в последнем столбце будут содержаться значения последнего показателя эффективности последнего предприятия в момент времени, предшествующий времени изменения P_i^k . Расчет коэффициентов корреляции для дан-

ных из таблицы DB_3 позволит выделить характеристики, осуществляющие наибольшее влияние на значения P_i^k . Заметим, что здесь в качестве временного лага влияния указана единица. В зависимости от специфики производства лаг может быть большим единицы, что значительно увеличивает размерность матрицы для поиска коэффициентов парной корреляции.

Значение показателя эффективности P_i^k в подавляющем большинстве случаев зависит от его значений в предыдущие моменты времени. Задача определения такого временного лага является сопутствующей, аналогичной предыдущей. Ее решение позволит дополнить множество независимых факторов модели. Сама модель имеет такой вид:

$$P_i^k(t_v) = G(P_i^k(t_v), P_i^k(t_{v-1}), \dots, P_i^k(t_{v-l}), M(t_{v-1}), t_v), \quad (10)$$

где l – временной лаг учета предыдущих значений показателя эффективности P_i^k , $M(t_{v-1})$ – значения множества информативных показателей эффективности других систем.

4. Модели принятия решений и оптимизация показателей предприятия

Решение задач (8) – (10) создает базис для процессов принятия решений. Поскольку известны ретроспективная информация, текущее состояние предприятия, законы его функционирования и прогноз значений показателей эффективности при неизменных прочих условиях и значениях входных факторов, то решения могут приниматься исходя из известных, заранее сформулированных правил. В то же время, для получения наилучших или приемлемых значений на множестве возможных задач, структур производства или стратегий управления, необходимо решать оптимизационные задачи.

Как показано на рис.1, каждый агент имеет свою базу знаний, основную часть которой составляют продукционные правила. В общем случае правила имеют такой вид:

$$\begin{aligned} & \text{Если } [P_1^1(t_n) \in D_{1n}^{11} \& P_1^1(t_n) \in D_{1n}^{11} \& P_1^1(t_\sigma) \in D_{1\sigma}^{11} \& \dots P_1^l(t_n) \in D_{1n}^{l1} \& P_1^l(t_n) \in D_{1n}^{l1} \& P_1^l(t_\sigma) \in D_{1\sigma}^{l1}, \\ & \text{и } P_2^1(t_n) \in D_{2n}^{11} \& P_2^1(t_n) \in D_{2n}^{11} \& P_1^1(t_\sigma) \in D_{2\sigma}^{11} \& \dots P_2^l(t_n) \in D_{2n}^{l1} \& P_2^l(t_n) \in D_{2n}^{l1} \& P_2^l(t_\sigma) \in D_{2\sigma}^{l1}, \end{aligned}$$

.....

$$\text{и } [P_n^1(t_n) \in D_{nn}^{11} \& P_n^1(t_n) \in D_{nn}^{11} \& P_n^1(t_\sigma) \in D_{n\sigma}^{11} \& \dots P_n^l(t_n) \in D_{nn}^{l1} \& P_n^l(t_n) \in D_{nn}^{l1} \& P_n^l(t_\sigma) \in D_{n\sigma}^{l1}],$$

то $\{p \& c \& s\}_1$;

$$\begin{aligned} & \text{если } [P_1^1(t_n) \in D_{1n}^{12} \& P_1^1(t_n) \in D_{1n}^{12} \& P_1^1(t_\sigma) \in D_{1\sigma}^{12} \& \dots P_1^l(t_n) \in D_{1n}^{l2} \& P_1^l(t_n) \in D_{1n}^{l2} \& P_1^l(t_\sigma) \in D_{1\sigma}^{l2}, \\ & \text{и } P_2^1(t_n) \in D_{2n}^{12} \& P_2^1(t_n) \in D_{2n}^{12} \& P_1^1(t_\sigma) \in D_{2\sigma}^{12} \& \dots P_2^l(t_n) \in D_{2n}^{l2} \& P_2^l(t_n) \in D_{2n}^{l2} \& P_2^l(t_\sigma) \in D_{2\sigma}^{l2}, \end{aligned}$$

.....

$$\text{и } [P_n^1(t_n) \in D_{nn}^{12} \& P_n^1(t_n) \in D_{nn}^{12} \& P_n^1(t_\sigma) \in D_{n\sigma}^{12} \& \dots P_n^l(t_n) \in D_{nn}^{l2} \& P_n^l(t_n) \in D_{nn}^{l2} \& P_n^l(t_\sigma) \in D_{n\sigma}^{l2}],$$

то $\{p \& c \& s\}_2$;

.....

$$\begin{aligned} & \text{если } [P_1^1(t_n) \in D_{1n}^{1b} \& P_1^1(t_n) \in D_{1n}^{1b} \& P_1^1(t_\sigma) \in D_{1\sigma}^{1b} \& \dots P_1^l(t_n) \in D_{1n}^{lb} \& P_1^l(t_n) \in D_{1n}^{lb} \& P_1^l(t_\sigma) \in D_{1\sigma}^{lb}, \\ & \text{и } P_2^1(t_n) \in D_{2n}^{1b} \& P_2^1(t_n) \in D_{2n}^{1b} \& P_1^1(t_\sigma) \in D_{2\sigma}^{1b} \& \dots P_2^l(t_n) \in D_{2n}^{lb} \& P_2^l(t_n) \in D_{2n}^{lb} \& P_2^l(t_\sigma) \in D_{2\sigma}^{lb}, \end{aligned}$$

.....

$$\text{и } [P_n^1(t_n) \in D_{nn}^{1b} \& P_n^1(t_n) \in D_{nn}^{1b} \& P_n^1(t_\sigma) \in D_{n\sigma}^{1b} \& \dots P_n^l(t_n) \in D_{nn}^{lb} \& P_n^l(t_n) \in D_{nn}^{lb} \& P_n^l(t_\sigma) \in D_{n\sigma}^{lb}],$$

то $\{p \& c \& s\}_b$,

или в свернутой форме:

$$\bigvee_{i=1}^b \&\& [P_j^k(t_n) \in D_{jn}^{ki} \& P_j^k(t_n) \in D_{jn}^{ki} \& P_j^k(t_o) \in D_{jo}^{ki}], \quad (11)$$

где b – количество возможных изменений множества задач, структур и стратегий управления, n – количество предприятий отрасли, t_n – время прошлой транзакции, t_n – настоящее время (время только что произошедшей транзакции), t_o – время следующей транзакции, $P_i^k(t_n)$ – значение k -го показателя i -го предприятия в прошлом, $P_i^k(t_n)$ – настоящее значение, $P_i^k(t_o)$ – прогнозируемое значение, $D_{jn}^{ki}, D_{jn}^{ki}, D_{jo}^{ki}$ – значения или интервалы значений, или нечеткие множества с соответствующими функциями принадлежности для j -го варианта k -го показателя эффективности i -го предприятия в прошлом, настоящем и будущем.

Модели (11) позволяют модифицировать множество задач или структуру или стратегию управления предприятием исходя из наперед жестко заданных правил.

В то же время ЛПР интересуется решением задачи определения оптимальных показателей производства, когда известны прогнозные значения показателей эффективности при неизменных внешних и прочих условиях. В качестве исходных данных здесь выступают идентифицированные модели (10). Необходимо выполнить их оптимизацию и найти значения входных факторов, внутренних параметров, соответствующих оптимальным значениям показателей эффективности. Поскольку функции (10) могут быть полиэкстремальными, недифференцируемыми, заданными алгоритмически или представленными нейросетью, то для получения их оптимума рационально использовать эволюционные технологии, а учитывая размерность задачи, применить метод EvoMax [7], основанием которого является эволюционная стратегия с управляемым процессом случайного поиска лучших решений. Такие решения позволяют изменить текущие параметры деятельности предприятия и оптимизировать его показатели эффективности.

5. Выводы

Использование МАС для анализа и оптимизации деятельности предприятия отрасли является новым подходом, в основании которого лежит дуализм взаимодействия таких предприятий и функционирование агентов системы. Подобно природной эволюции и эволюционным методам оптимизации рассматриваемый дуализм определяет синергетический эффект от моделирования МАС как программно-аналитической платформы решения прикладных задач. Качество результатов в значительной степени определяется умением системного аналитика, его знаниями процессов функционирования экономических систем и построения математических моделей экономических процессов. Ведь необходимо еще решать задачу мультикритериальной оптимизации показателей эффективности предприятия и определения интегрального критерия эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Multi-Agent Systems and Applications / M. Luck, V. Marik, O. Štrpánková, R. Trappl. – Berlin, 2001. – 452 p.
2. Highlights on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems // Proceedings of International Workshops of PAAMS 2013. – Salamanca, Spain, 2013. – May 22–24.
3. Гужва В.М. Моделирование мультиагентных систем для управления логистическими процессами на предприятиях: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.03.02 / В.М. Гужва. – К., 2002. – 17 с.
4. Крицкий А.В. Информационная система поддержки принятия решений на основе мультиагентного подхода: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / А.В. Крицкий. – Екатеринбург, 2007. – 150 с.

5. Єршов С.В. Теоретичні основи моделєорієнтованої побудови нечітких інтелектуальних мультиагентних систем: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. фіз.-мат. наук: спец. 01.05.03 / С.В. Єршов. – К., 2013. – 36 с.
6. Нарожний О.В. Моделі інтелектуального управління процесом навчання за допомогою мультиагентних систем: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.23 / О.В. Нарожний. – Одеса, 2007. – 19 с.
7. Снитюк В.С. Спрямована оптимізація і особливості еволюційної генерації потенційних розв'язків / В.С. Снитюк // Матеріали Міжн. школи-семінару «Теорія прийняття рішень», (Ужгород, 1-6 жовтня 2012). – Ужгород, 2012. – С. 182 – 183.

Стаття надійшла до редакції 23.04.2015