УДК 658.012.2.122:338.53

ПОСТРОЕНИЕ ИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ЗАДАЧИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЦЕН

О.В. Медведко

Новосибирский государственный университет
ХК ОАО «НЭВЗ-Союз», г. Новосибирск
E-mail: o.medvedko@ngs.ru

Исследованы итерационные методы решения исходной задачи с использованием методов Монте-Карло и Бендерса. Построен итерационный метод для широкого класса распределений цен для случая, когда отсутствует информация о функции распределения, и имеется база статистических данных. Разработан итерационный метод для задач оптимального планирования производства в условиях неопределенности цен на товары. Полученные решения позволяют внедрять системы оптимального планирования на производственных предприятиях с учетом неопределенности цен на товары.

Ключевые слова:
Оптимальное планирование, стохастическое программирование, метод Монте-Карло, метод Бендерса.

Key words:
Optimal planning, stochastic programming, Monte-Carlo method, Benders method.

Постановка задачи

Рассмотрим динамическую модель планирования выпуска продукции в условиях неопределённости цен на товары, в которой при заданной норме риска возникает задача нахождения максимальной прибыли и оптимальной номенклатуры выпуска. Полагаем, что норма риска определяется вероятностью превышения прибылью заданного фиксированного значения.

Обозначим: $X_t=\{X_{kt}\}$ – вектор объемов выпуска продукции в момент времени t; $Y_t^1=\{Y_{kt}^1\}$ – вектор закупаемых ресурсов, полностью потребляемых в момент времени t (основные материалы, зарплата основных рабочих и т. д.); $З_{t\mathrm{CONST}}$ – сумма постоянных затрат в момент времени t; $Y_t^2=\{Y_{kt}^2\}$ – вектор покупаемых мощностей (станков, оборудования и помещений) в момент времени t; A_t^1 – матрица удельных переменных затрат (нормы расхода основных материалов, зарплаты основных рабочих на единицу изделия); A_t^2 – матрица удельных затрат производственных мощностей; K_t – сумма кредита, привлекаемого предприятием в момент времени t; L_t – объем погашения задолженности в момент времени t; β – процентная ставка за кредит; $C_t^{1,2}=\{C_{kt}^{1,2}\}$ – цены ресурсов; $\xi=\{\xi_{kt}\}$ – цены продаваемых продуктов, компоненты которых $\xi_{kt}\in P(c_{kt},d_{kt})$ – независимые случайные величины, распределенные на компактных отрезках, характеризующие неопределённость цен на товары (будут рассматриваться также случайные величины, распределенные на компактных отрезках, за исключением множества меры «близкой» к нулю, также предполагается наличие плотностей распределения указанных случайных величин), где c_{kt}, d_{kt} – некоторые положительные константы (нижние и верхние границы возможных значений цен на товары); n – число производимых продуктов; $\varphi_0>0$ – начальный оборотный капитал.

Выпуск продукции теперь планируется при выполнении следующих групп ограничений.

1. Рыночные ограничения на объем выпуска записываются в виде:

$$l_t \le X_t \le r_t. \quad (1)$$

Отношение неравенства векторов надо понимать как покомпонентное неравенство. Детерминированные величины l_t и r_t – нижние и верхние границы спроса на продукцию, выпускаемую предприятием.

2. Технологические ограничения на затраты ресурсов имеют вид:

$$\sum_{i=1}^{t} A_t^1 X_t - \sum_{i=0}^{t} y_i^1 \le 0, \quad (2)$$

а ограничения на использование мощностей формулируются следующим образом:

$$A_t^2 X_t - \sum_{i=0}^{t} y_i^2 \le 0. \quad (3)$$

3. Вероятностное ограничение: для того, чтобы формализовать ограничения на финансирование выпуска, предположим, что задана величина $\alpha_0\in[0,1]$, измеряющая норму риска. Учитывая случайность цен ξ_i на продукцию, будем считать, что в каждый момент времени выполняется вероятностное ограничение:

$$P(\xi_t X_t - (C_t^1 Y_t^1 + C_t^2 Y_t^2) - З_{t\,\mathrm{CONST}} \ge A_t) \ge 1-\alpha_0, \quad (4)$$

где переменную величину A_t, удовлетворяющую при фиксированных X_t, Y_t^1, Y_t^2 ограничению (4), назовем точным допустимым гарантированным доходом (гарантированной прибылью) при заданной норме риска α_0.

4. Финансовое ограничение: величины A_t, K_t, L_t и компоненты векторов Y_t^1 и Y_t^2 связаны также следующим финансовыми ограничениями:

$$\varphi_0 + \sum_{i=1}^{t-1} A_i + K_t - L_t - \beta \sum_{i=1}^{t-1} (K_i - L_i) - \\ -(C_t^1 Y_t^1 + C_t^2 Y_t^2) - З_{t\,\mathrm{CONST}} \ge 0. \quad (5)$$

(Не можем истратить денежных средств больше, чем имеем).

Кредиты K_t равномерно ограничены некоторой константой K (K – максимальный кредитный лимит, представленный банком предприятию). (Не можем брать бесконечно большие кредиты, существует определенный лимит кредитной линии). Отметим также условие возвратности кредита:

$$\sum_{i=1}^{T} K_t = \sum_{i=1}^{T} L_i, \tag{6}$$

$$K_T = 0; \tag{7}$$

и естественное условие:

$$L_t \le \sum_{i=1}^{t} K_i, \tag{8}$$

то есть, критерием построения производственной программы является функционал

$$\sum_{i=1}^{T} A_t \to MAX. \tag{9}$$

Предприятие, задаваясь гипотезой о возможном поведении рыночных цен на интервале времени $[0,\dots,T]$, выбирает оптимальную производственную программу и планирует ее реализацию с тем, чтобы на момент времени T интегральная гарантированная прибыль была максимальной. Рыночные, технологические и финансовые ограничения (1–3), (5–8) детерминированы, ограничение (4) – вероятностное. Поэтому мы имеем задачу динамического стохастического программирования.

Далее будем использовать более короткую запись модели. Пусть X – выпуклый (детерминированный) многогранник, отвечающий технологическим и финансовым ограничениям (1–3), (5–8). Тогда имеем следующую задачу стохастического программирования:

$$\begin{cases} \sum_{t=1}^{T} A_t \to MAX; \\ \{X_t, Y_t, K_t, L_t, A_t\} \in X \ ; \\ P(\xi_t X_t - (C_t^1 Y_t^1 + C_t^2 Y_t^2) - З_{t,\mathrm{CONST}} \ge A_t) \ge 1 - \alpha_0; \\ t = 1,..,T. \end{cases}$$

Исходная проблема представляет собой задачу оптимизации линейного функционала на пересечении линейного многогранника и множества, полученного пересечением n вероятностных ограничений. Задача осложняется нелинейной структурой ограничений, трудностью расчета значений функции вероятности, зависящей от искомых параметров (4), не говоря уже о значениях ее производных, большой стохастической нагрузкой при увеличении количества продуктов. Как уже говорилось выше, на сегодняшний день для подобного рода задач не найдены универсальные методы решения.

Введение

Для решения задач планирования, проектирования и управления в экономике и технике требуется исходная информация об обстановке, в которой будет выполняться план и будет осуществляться проектирование. Зачастую, особенно в последние годы, в нашей стране в условиях реформирования экономики, параметры рынка (цена, спрос, предложение и т. д.) не всегда можно зафиксировать или определить их статистические закономерности. Работа автоматических устройств в технике сопровождается непредвиденными случайными помехами. Таким образом, в моделях математического программирования, к исследованию которых сводятся задачи планирования, проектирования и управления, некоторые или все параметры показателя качества или ограничений могут оказаться неопределенными или случайными. Заметим, что для детерминированной постановки этих задач [1, 2] разработаны эффективные алгоритмы решения – метод последовательного улучшения плана [3, 4], симплекс-метод [5], а также, двойственный метод последовательного улучшения [6].

Рассмотрим задачу линейного программирования, в схему которой, как известно, укладывается большинство экономических и технических задач [1–6].

В векторной записи:

$$\begin{cases} (C, X) \to MIN; \\ AX - B \le 0; \\ X \ge 0, \end{cases}$$

где A – матрица; B – вектор ограничений и C – вектор коэффициентов целевой функции соответствующих размерностей.

К моделям стохастического программирования приводят не только ситуации, связанные с риском или неопределенностью. Анализ сложных детерминированных задач, требующих чрезмерно большого перебора вариантов, иногда целесообразно сводить к исследованию некоторых стохастических задач.

Термин «стохастическое программирование» появился в начале 50-х гг. прошлого века, когда Дж. Данцингом, А. Чарнсом, В. В. Купером стали анализироваться задачи линейного программирования со случайными коэффициентами, возникающими при планировании в ситуациях с неопределенностью и риском [7, 8]. Известные методы решения задач нелинейного программирования [9, 10], как правило, неприменимы для решения сложных задач стохастического программирования, так как в таких задачах функции ограничений и цели имеют негладкий характер, неизвестны точные значения производных и самих функций.

К теме анализа задач линейного программирования со случайными данными обращался Н.В. Солдатов, в его работах [11] можно найти рассмотрение интересного частного случая для равномерных распределений. В других работах [9, 10] в некоторых случаях известны численные методы оценок оптимальных решений задач стохастического программирования, иногда данные задачи удается свести к детерминированным аналогам, для которых разработаны эффективные алгоритмы решения. В работах Ю.М. Ермольева и А.И. Ястремского, Д. Б. Юдина предлагаются различные методы решения задач стохастического программирования [12–14], основная идея которых состоит в использовании вместо точных значений градиентов или их аналогов случайных направлений – стохастических квазиградиентов, являющихся статистическими оценками этих векторов, согласно работам Л.А. Растригина, Н. Роббинса, С. Монро [15, 16].

Итерационный метод на основе методов Монте-Карло и Е.Ф. Бендерса

Задача оптимального планирования производства в условиях стохастики была рассмотрена многими авторами при различных распределениях цен на выпускаемые товары, разработан итерационный алгоритм поиска оптимального решения исходной задачи – метод стохастических квазиградиентов [12–14], в котором требуется знание точных значений функции распределения и необобщенного градиента, что на практике делает задачу трудно решаемой. Как правило, на практике существует лишь массив статистических данных случайной величины, поэтому предлагаемый метод, построенный на компиляции метода Монте-Карло и метода Бендерса, позволяет решать исходную задачу в общем случае, не имея точных значений функции распределения.

Предлагаемый универсальный алгоритм поиска оптимального решения большого класса распределений на цены производимых товаров при определенных допущениях и в случае имеющихся статистических данных рассмотрим ниже.

Имеем следующую исходную модель:

$$\begin{cases} A \to MAX \\ \{X, Y, K, L\} \in X \\ P(\xi X - (C^1Y^1 + C^2Y^2) - 3_{\text{CONST}} \geq A) \geq 1 - \alpha_0. \end{cases}$$

Воспользуемся приемом, используемым в методе Монте-Карло:

$$m = P(\xi X - (C^1Y^1 + C^2Y^2) - 3_{\text{CONST}} \geq A) =$$

$$= M\chi(\xi X - (C^1Y^1 + C^2Y^2) - 3_{\text{CONST}} \geq A),$$

$$\chi(\xi X - (C^1Y^1 + C^2Y^2) - 3_{\text{CONST}} \geq A) =$$

$$= \begin{cases} 1, \xi X - (C^1Y^1 + C^2Y^2) - 3_{\text{CONST}} \geq A \\ 0, \xi X - (C^1Y^1 + C^2Y^2) - 3_{\text{CONST}} \geq A \end{cases}$$

По правилу «трех сигм» (следствие центральной предельной теоремы детальным образом рассмотрено в [17]) имеем следующее: пусть реализацией случайного вектора цен на производимые товары будет $\eta_i = \xi_i X - (C^1Y^1 + C^2Y^2) - 3_{\text{CONST}} - A$, тогда

$$P\left(\left|\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\chi(\eta_i \geq 0) - m \leq \frac{3b}{\sqrt{N}}\right|\right) \approx 0{,}997,$$

где

$$b = \sqrt{M(\chi - M\chi)^2} \leq 1.$$

Отсюда P-неравенство с заданной степенью точности можно равномерно (поскольку b не зависит от переменных X, Y, A) аппроксимировать двумя линейными неравенствами, множество решений которых близко (с вероятностью 0,99) к допустимым решениям исходного P-неравенства. Имеем:

$$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\chi(\eta_i \geq 0) \pm \frac{3}{\sqrt{N}} \geq 1 - \alpha_0,$$

где характеристическая функция полупространства i-й реализации случайного вектора цен ξ зависит от X, Y, A. Итак, получили две задачи, область допустимых решений которых покрывают («зажимают» по включению) по вероятности область допустимых решений исходной задачи. Фактически мы делаем одно допущение, заменяя левую часть P-неравенства на близкое по значениям выражение.

Для фиксированных N реализаций случайных векторов цен на производимые товары ξ_i

$$(A_+)\begin{cases} A \to MAX \\ \{X, Y, K, L\} \in X \\ \xi_i X - (C^1Y^1 + C^2Y^2) - 3_{\text{CONST}} - A \geq 0 \\ i = 1, \dots, N \\ K = \left[\left(1 - \alpha_0 \pm \dfrac{3}{2\sqrt{N}}\right)N\right]. \end{cases}$$

Итак, последняя задача упрощается и для неё можно найти алгоритмы решения. Полученная задача может быть приведена к частично целочисленной задаче линейного программирования, для которой применима теория алгоритмов [18–20]. Данные задачи в общем случае являются NP-трудными, но их удается решить достаточно быстро с помощью метода Бендерса, для которого мы построим «основную» и «вспомогательную» задачи-итерации поиска решения. Сначала удостоверимся, что полученную задачу можно свести к задаче частично целочисленного программирования: пусть l_i – нижние границы для $\xi_i X - (C^1Y^1 + C^2Y^2) - 3_{\text{CONST}} - A$ на X. Тогда следующая задача эквивалентна исходной:

$$\begin{cases} A \to MAX \\ \{X, Y, K, L\} \in X \\ \xi_i X - (C^1Y^1 + C^2Y^2) - 3_{\text{CONST}} - A - \delta_i l_i \geq 0 \\ i = 1, \dots, N \\ K = \left[\left(1 - \alpha_0 \pm \dfrac{3}{2\sqrt{N}}\right)N\right] \\ \sum_{i=1}^{N}\delta_i \leq N - K \\ \delta_i \in 0, 1. \end{cases}$$

Запишем полученную задачу в матричной форме (полагая $W=(A,X,Y)$):

$$\begin{cases} CW \to MAX \\ QW \le f \\ -\mathbf{з}\,W \ge -\mathbf{L}\delta \\ K = \left[\left(1 - \alpha_0 \pm \dfrac{3}{\sqrt{N}} \right) N \right] \\ \sum\limits_{i=1}^{N} \delta_i \le N - K \\ \delta_i \in 0,1. \end{cases}$$

Суть итерационного метода в следующем: для фиксированного значения δ_0, удовлетворяющего условиям задачи, задача в матричной форме представляет собой стандартную задачу линейного программирования:

$$\begin{cases} CW \to MAX \\ QW \le f \\ -\mathbf{з}\,W \ge -\mathbf{L}\delta. \end{cases}$$

Чтобы понять, как выглядит оптимальное значение обратимся к двойственной задаче линейного программирования и по основной теореме [4, 6] имеем «вспомогательную задачу»:

$$\begin{cases} V(f, -\mathbf{L}\delta_0) \to MIN \\ V \ge 0 \\ V(Q, -\mathbf{з})^T \ge C, \end{cases}$$

замечательное свойство данной двойственной задачи в том, что оптимальное решение принадлежит вершине линейного многогранника $V\,(Q,-\boldsymbol{\eta})^T \ge C$, который не зависит от δ_0. Пусть V^p – вершины указанного многогранника, тогда «основная задача» формулируется так:

$$\begin{cases} \min V^p(f, -\mathbf{L}\delta_0) \to MAX \\ V^p \ge 0 \\ K = \left[\left(1 - \alpha_0 \pm \dfrac{3}{\sqrt{N}} \right) N \right] \\ \sum\limits_{i=1}^{N} \delta_i \le N - K \\ \delta_i \in 0,1. \end{cases}$$

Данная задача является уже «чистой» целочисленной задачей линейного программирования и может быть решена известными методами [18–20]. Итак, сформулируем предложения.

1. Для исходной задачи стохастического программирования оптимального планирования производства при аппроксимации левой части P-неравенства методом Монте-Карло на близкое (с вероятностью 0,99) по значениям выражение – следующий итерационный процесс сходится к оптимальному значению модифицированной задачи.

Шаг 1. Берем $\bar{V}$: $V\,(Q,-\boldsymbol{\eta})^T \ge C$.

Шаг 2. Решаем задачу целочисленного программирования (ЗЦП) – «основная» задача при фиксированном $\bar{V}$, находим $\bar{\Delta}_0$.

Шаг 3. Решаем задачу линейного программирования (ЗЛП) – «вспомогательная» задача при фиксированном $\bar{\Delta}_0$, находим $\bar{V}$.

Шаг 4. Повторяет шаг 2 при подстановке вместо $V=\bar{V}$ и т. д.

В [16] доказано, что данный итерационный процесс сходится.

2. Если последовательность функции $f_n^1(X,A)$, $f_n^2(X,A)$ такова, что $f_n^1(X,A) \le g(X,A) \le f_n^2(X,A)$, где $g(X,A)$ – непрерывная функция, при этом сходимость $f_n^1 \to g$, $f_n^2 \to g$ равномерная при $n \to \infty$, то для задач математического программирования:

$$\begin{cases} A \to MAX \\ f_n^2(X,A) \ge 0 \\ X \in X \end{cases} \begin{cases} A \to MAX \\ f_n^1(X,A) \ge 0 \\ X \in X \end{cases} \begin{cases} A \to MAX \\ g(X,A) \ge 0 \\ X \in X \end{cases}$$

при условии существования и единственности для них оптимальных решений выполняется следующее:

$$A_{\max}^{1n} \to A_{\max},\ A_{\max}^{2n} \to A_{\max}.$$

Практическая реализация

В качестве примера практической реализации можно привести модель планирования производственного предприятия в условиях действующего производства с номенклатурным перечнем 29 изделий (электровакуумные и полупроводниковые приборы, изделия из керамики) с ценами, имеющими нормальные распределения с заданными показателями математических ожиданий и дисперсий. Особенностью ценообразования на керамические и корпусные изделия в компании является их абсолютная зависимость от рыночных условий ввиду очень жесткой конкуренции и «демпинга» со стороны зарубежных производителей (Китай). Также на ценообразование влияет и курс доллара, поскольку зарубежные производители определяют цены именно в долларах для потребителей внутри России. Поэтому учет вариативности цен чрезвычайно важен для принятия правильных управленческих решений.

Доказано, что в случае нормально распределенных цен на товары модель может быть преобразована в задачу выпуклого программирования. С помощью аппарата решения задач выпуклого программирования найдено решение исходной задачи. Проведено сравнение полученных результатов указанной модели и ее «детерминированного аналога». Проведены вычисления решения задачи при использовании предложенного итерационного метода.

Итерационный метод на основе методов Монте-Карло и Бендерса опробован с числом реализаций случайных величин равным 100, 1000, 10 000. При сравнении решения задачи выпуклого программирования в случае нормально распределенных цен на товары и применением методов Монте-Карло и Бендерса (с решением пар задач линейного целочисленного программирования для получения оценок сверху и снизу для оптимального значения функции цели) удавалось получать узкие доверительные интервалы для оптимальных планов и оптимального значения. Скорость сходимости в общем виде соответствовала величине $\frac{3}{2\sqrt{N}}$. В общем виде задачи линейного целочисленного программирования относятся к задачам дискретной оптимизации, которые открыли широкий класс задач, называемых NP-полными. Поэтому в общем случае нельзя сказать, что вычисления можно свести к полиномиальным алгоритмам. Поэтому стоит отметить, что при дальнейшем существенном увеличении номенклатуры выпускаемых изделий, а также числа реализаций случайных величин размерность задачи и объемы вычислений не позволяли находить оптимальное решение быстро.

Представлена сравнительная таблица результатов планирования в «традиционной» детерминированной модели (где случайные величины заменены их математическими ожиданиями) с использованием стохастической модели на основе фиксации нормы риска в размере 10 % и статистических и прогнозных данных по ценам на планируемый период (в тыс. руб.):

Таблица. *Сравнение результатов планирования в моделях детерминированной и стохастической*

Оптимальные планы	Значение функции цели в линейной модели	Значение функции цели в стохастической модели
Оптимальный план в линейной модели	+673	−528,2
Оптимальный план в стохастической модели	−156,6	−304

Представленные результаты наглядно показывают, что «благополучность» оптимального плана детерминированной постановки в получении положительной прибыли в размере 673 тыс. рублей по факту приводит к убыткам в размере 528 тыс. рублей. Планирование с учетом прогноза изменения цен на товары предлагает руководству более оптимальное решение, заранее предупреждая о возможных убытках в размере 304 тыс. рублей.

Таким образом, учет стохастики позволяет получать более оптимальные решения, позволяющие руководству предприятий в условиях неопределенности цен принимать более взвешенные и правильные решения.

Заключение

Стохастическое программирование становится важным методом исследования целенаправленных процессов в экономике, биологии, военном деле и других отраслях исследований. Модели и методы стохастического программирования наиболее приспособлены к анализу сложных систем и принятию решений по управлению функционированием таких систем в ситуации, когда часть параметров, описывающих функционирование, не определена.

В работе проведен анализ задачи стохастического программирования, предназначенной для оптимального планирования производства, исследованы итерационные методы решения исходной задачи, построен итерационный метод для широкого класса распределений цен на товары с использованием методов Монте-Карло и Е.Ф. Бендерса.

Основным аппаратом исследования является теория вероятностей (аппарат центральной предельной теоремы, неравенство Чебышева, математическая статистика, теория выпуклого программирования), математическое программирование, теория целочисленного линейного программирования.

Указанные в статье методы оптимального планирования производства применяются на предприятии холдинговой компании ОАО «Новосибирский электровакуумный завод Союз» (ХК ОАО «НЭВЗ–Союз»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кремер Н.Ш. Исследование операций в экономике. – М.: ЮНИТИ, 1997. – 406 с.
2. Бережная Е.В., Бережной В.И. Математические методы моделирования экономических систем. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 368 с.
3. Канторович Л.В. Экономический расчёт наилучшего использования ресурсов. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 344 с.
4. Карманов В.Г. Математическое программирование. – М.: Наука, 1980. – 256 с.
5. Данциг Дж., Вольф П. Алгоритмы разложения для задач линейного программирования // Математика: сб. научн. трудов / под ред. Г.А. Андрианова. – 1964. – Т. 8. – № 1.– С. 151–160.
6. Шмырев В.И. Введение в математическое программирование. – Новосибирск: Новосиб. ун-т, 2002. – 192 с.
7. Данциг Дж. Линейное программирование, его применение и обобщение / Пер. с англ. Г.Н. Андрианова. – М.: Прогресс, 1966. – 600 с.
8. Charnes A., Cooper W.W. Deterministic equivalents for optimizing and satisfying under chance constraints // Oper. Res. – 1963. – № 11. – P. 18–39.
9. Бурдачева Н.А., Солдатов Н.В., Новицкий К.А., Травкин А.М. Интерактивная имитационная модель оперативного планирования производственных процессов // Интерактивные технологии моделирования и управления. МАДИ № 2/46. – М.: Ротапринт МАДИ, 2010. – С. 9–15.
10. Кардаш В.А., Рапопорт Э.О. Моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1979. – 155 с.
11. Кардаш В.А. Введение в стохастическую оптимизацию. – Ново-Черкасск: Изд-во НГТУ, 1996. – 113 с.
12. Ермольев Ю.М., Ястремский А.И. Стохастические модели и методы в экономическом планировании (Задачи и методы стохастического программирования). – М.: Наука, 1979. – 253 с.
13. Юдин Д.Б. Математически методы управления в условиях неполной информации. – М.: Советское радио, 1974. – 399 с.

14. Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования. – М.: Наука, 1976. – 340 с.
15. Растригин Л.А. Статистические методы поиска. Теоретические основы технической кибернетики. – М.: Наука, 1968. – 378 с.
16. Robbins H., Monro S.A stochastic approximation method // Ann. Math. Stat. – 1951. – V. 22. – P. 400–407.
17. Ширяев А.Н. Элементарная теория вероятностей. Математические основания. Предельные теоремы. – М.: МЦНМО, 2004. – 519 с.
18. Ковалев М.М. Дискретная оптимизация. (Целочисленное программирование). – Минск: Изд-во БГУ, 1977. – 191 с.
19. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. – М.: Мир, 1974. – 520 с.
20. Кофман А., Анри-Лабордер А. Методы и модели исследования операции: Целочисленное программирование. – М.: Мир, 1977. – 432 с.

Поступила 18.04.2012 г.

УДК 004.89

МЕТОД ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СИТУАЦИЙ И СЕМАНТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.В. Разин, А.Ф. Тузовский

Томский политехнический университет
E-mail: moonbreeze@sibmail.com

Предлагается подход к построению систем автоматизированного анализа ситуаций, основанный на стеке технологий Semantic Web. Описание подхода включает формальную модель описания ситуаций, описание базовых онтологий, реализующих её, и описание архитектуры системы анализа ситуаций. Приводится пример описания ситуации при помощи интерпретации предлагаемой формальной модели в терминах OWL-онтологий.

Ключевые слова:
Анализ ситуаций, Semantic Web, онтологии, OWL, продукционные правила.

Key words:
Situational analysis, Semantic Web, ontologies, OWL, productional rules.

Анализ ситуаций является одной из задач принятия решений. Автоматизация анализа ситуаций позволяет выявлять текущие состояния системы, которые могут быть важными для конечного пользователя, и требуют оперативного принятия решений. Для выполнения такого анализа требуется определить язык описания ситуаций и сформировать алгоритм выявления интересующих пользователей ситуаций. Одним из подходов к принятию решений на основе формального анализа ситуаций является метод ситуационного управления [1]. В данном методе предлагается использовать логические модели для описания ситуаций и работы с ними. В настоящее время в рамках концепции Semantic Web активно развиваются семантические технологии, использующие специальный вид семантических моделей – онтологии.

В рамках данной работы описывается подход к анализу ситуаций, основанный на применении семантических технологий.

Основной идей предлагаемого подхода является разработка онтологий для описания ситуаций и использование продукционных правил для их анализа.

Онтология – модель предметной области, состоящая из множества понятий, множества экземпляров понятий и множества отношений (свойств). Отношения могут быть как объектными (связывающими понятия и их экземпляры друг с другом), так и литеральными (связывающими понятия и их экземпляры с текстовыми строками). Множество понятий и отношений между ними определяют общую схему хранения данных, представленных как множество утверждений об экземплярах понятий, или аксиом онтологии. Эти утверждения, или триплеты, имеют вид «субъект–предикат–объект». Основными языками, при помощи которых описываются онтологии, являются стандартизованные консорциумом W3C языки RDF [2] и OWL [3].

Один из возможных подходов к описанию ситуации при помощи онтологий был описан в работе [4]. В данном подходе описание ситуаций предлагается разделять на две части. Первая часть – базовая онтология описания ситуаций, представляющая абстрактную ситуацию с учётом контекста пространства-времени. Вторая часть – онтология, описывающая конкретную предметную область и относящиеся к ней возможные классы ситуаций, к которым в тот или иной момент времени может принадлежать ситуация на объекте управления. Онтология предметной области в этом случае будет расширением (надстройкой) над базовой онтологией и будет содержать понятия, наследующие понятиям базовой онтологии. Исходные данные о ситуации, поступающие в систему, например, с датчиков, при этом преобразуются в экземпляры понятий онтологии предметной области и отношения между ними.