

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МЕТОДИКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
В УСЛОВИЯХ ПОЛНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ К ЗАДАЧЕ
ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ****А.С. Антонова, К.А. Аксенов, (Екатеринбург)**

В процессе принятия управленческих решений лицо, принимающее решения (ЛПР), сталкивается с проблемой прогнозирования поведения системы и внешней среды. Прогнозирование может проводиться при наличии статистического знания о вероятностях наступления системных и внешних событий. При отсутствии у ЛПР такого знания речь идет о принятии решений в условиях полной неопределенности. Связь альтернативных решений с исходами в обоих случаях задается функцией реализации, зависящей также от состояния внешней среды. Оценка альтернатив предполагает снятие неопределенности путем применения известных численных методов принятия решений [1,2]. Численные методы позволяют перейти при задании функции реализации от зависимости от двух аргументов – альтернативы и состояния среды – к зависимости от одного аргумента – альтернативы. При этом функция реализации конкретной альтернативы при конкретном состоянии внешней среды в некий исход описывается аналитически или задается экспертами.

Рассмотрим задачу календарного планирования проектных работ, целью которой является минимизация стоимости субподрядных работ и простоя собственных отделов. Для данной задачи альтернативными решениями являются календарные планы работ, а исходами (критериальными оценками единого исхода) являются затраты на субподряд и общий простой отделов. Функция реализации для данной задачи должна учитывать динамику процесса исполнения операций по портфелю проектов, вероятностные знания о длительностях операций проектов, наличие в системе ЛПР, задающего стратегию распределение ресурсов по операциям. Использование имитационного моделирования при задании функции реализации позволяет учесть выделенные особенности функции и перейти к применению численных методов для снятия неопределенности.

Постановка задачи планирования проектных работ

Рассмотрим задачу планирования уникальных проектов, связанную с определением календарного плана работ. Все операции проектов должны быть выполнены в рамках временных ограничений, которые определяются путем переговоров с заказчиками. В случае нехватки собственных трудовых ресурсов необходимо привлекать субподрядные ресурсы для выполнения операций в срок.

Определим следующие целевые функции задачи: 1) минимизация стоимости субподрядных работ; 2) минимизация суммарного времени простоя собственных отделов. Последняя целевая функция актуальна для компаний, применяющих фиксированную оплату труда, поскольку в этом случае простой сотрудников также оплачивается, что не выгодно для компании.

Для рассматриваемой задачи планирования проектных работ были сделаны следующие допущения:

1. Отдельный проект состоит из ряда операций с известными временами обработки, датами раннего и позднего начала, трудозатратами и стоимостью.
2. Выполнение операций требует наличие возобновляемых трудовых ресурсов (собственных или субподрядных).
3. Невозобновляемые ресурсы не рассматриваются.
4. Операции не могут быть прерваны.
5. Субподрядные работы могут быть использованы для выполнения части операции.

6. В случае освобождения собственных ресурсов субподрядные работы могут быть прерваны и переданы для выполнения собственными ресурсами.

7. Субподряд доступен каждый день в неограниченном количестве (например, при работе с несколькими субподрядчиками).

Методика принятия решений в условиях вероятностной неопределенности

Поставим задачу многокритериального принятия решений в условиях полной неопределенности следующим образом:

$$\{g_1(\varphi(x, z)), \dots, g_m(\varphi(x, z))\} \rightarrow \max, \quad x \in X, z \in Z, \quad (1)$$

где $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ – конечное множество оцениваемых альтернатив; $Z = \{z_1, \dots, z_S\}$ – конечное множество состояний внешней среды; $\varphi(x, z)$ – функция реализации, преобразующая альтернативу x при состоянии z в некоторый исход и описываемая имитационной мультиагентной моделью; $G = \{g_1, \dots, g_m\}$ – конечное множество критериев оценки исходов альтернативы x .

Интегрированная методика принятия решений в условиях вероятностной неопределенности была предложена авторами в [3]. Модифицируем данную методику с учетом полной неопределенности поведения внешней среды. Подробно остановимся на последнем шаге, остальные шаги детально описаны в [3].

Первый шаг методики предполагает формирование множества альтернатив, другими словами, проведение выборки конечного набора решений среди множества потенциально осуществимых решений (пространства поиска). Выборка должна проводиться таким образом, чтобы формируемый набор содержал, по крайней мере, локальный оптимум для функции (1). Для реализации данного требования предлагается применять эволюционное моделирование, в частности, генетический алгоритм, осуществляющий движение в пространстве поиска путем эволюции популяции решений. Смена популяции проводится путем применения генетических операторов с учетом значений функций пригодности решений (исходов решений). Исходы решений оцениваются с помощью имитационного мультиагентного моделирования. Применение указанных методов моделирования для решения задачи планирования проектных работ в условиях определенности приведено в [4].

Следующий шаг методики направлен на снятие многокритериальности путем применения метода линейной свертки по всем выделенным критериям. На данном шаге выполняется следующее преобразование: $\{g_1(\varphi(x, z)), \dots, g_m(\varphi(x, z))\} \rightarrow F(x, z)$, где $F(x, z)$ – однокритериальная функция реализации альтернативы x при состоянии среды z в некоторый исход.

Заключительный шаг предполагает снятие неопределенности. Снятие неопределенности можно проводить либо с помощью имитационного моделирования, либо путем применения численных методов. Использование имитационного моделирования предполагает генерацию при проведении эксперимента случайным образом одного из внешних событий; в этом случае все события принимаются равновероятными. При данном условии проводится выборочная оценка событий внешней среды; полученные решения не обладают устойчивостью к изменениям факторов риска. Таким образом, применение только имитационного моделирования для снятия внешней неопределенности нецелесообразно. Использование численных методов позволяет оценить воздействие анализируемых внешних событий и снять неопределенность при принятии решения.

Методика принятия решений в условиях полной неопределенности

Рассмотрим четыре основных критерия снятия полной неопределенности с помощью численных методов [1]. Снятие неопределенности приводит к формированию вектора решений $J(x)$, не зависящего от состояния z : $F(x, z) \rightarrow J(x)$. Альтернативы x оцениваются по значениям вектора $J(x)$.

1. Критерий Вальда (критерий гарантированного результата, критерий максимина) позволяет представить задачу (1) в следующем виде:

$$Jv(x) = \min_{z_i \in Z} F(x, z_i) \rightarrow \max_{x \in X} . \quad (2)$$

При применении данного критерия выбирается лучшее решение при наиболее неблагоприятной внешней ситуации. Данная формула справедлива, если F характеризует «доход», полученный от исхода, реализовавшегося при применении альтернативы x . В противном случае максиминный критерий превращается в минимаксный. Недостатком работы данного критерия является его ориентация на самые худшие ситуации, что не предоставляет возможности проведения оценки возникновения благоприятных ситуаций.

2. Критерий Сэвиджа (критерий минимального сожаления) позволяет представить задачу (1) в следующем виде:

$$Js(x) = \max_{z_i \in Z} \left(\max_{x_j \in X} F(x_j, z_i) - x_j \right) \rightarrow \min_{x \in X} . \quad (3)$$

При использовании данного критерия формируется матрица сожалений $R(x, z)$, которая оценивает потери при предпочтении одной альтернативы другим при фиксированном состоянии z :

$$R(x, z) = \max_{x_j \in X} F(x_j, z_i) - x_j . \quad (4)$$

К матрице сожалений применяется минимаксный критерий, позволяющий минимизировать потери в условиях наихудшей ситуации z . Недостатки работы данного критерия вытекают из недостатков применения минимаксного критерия.

3. Критерий Бернулли (принцип недостаточного основания) позволяет представить задачу (1) в следующем виде:

$$Jb(x) = \frac{1}{S} \cdot \sum_{i=1}^S F(x, z_i) \rightarrow \max_{x \in X} . \quad (5)$$

При применении данного критерия все события внешней среды считаются равновероятными, что является недостатком работы данного метода.

4. Критерий Гурвица (критерий пессимизма-оптимизма) позволяет представить задачу (1) в следующем виде:

$$Jg(x) = \alpha \cdot \max_{z_i \in Z} F(x, z_i) + (1 - \alpha) \cdot \min_{z_i \in Z} F(x, z_i) \rightarrow \max_{x \in X} , \quad (6)$$

где α – показатель, характеризующий склонность ЛПР к пессимизму или оптимизму. Данная формула справедлива, если F характеризует «доход» при применении альтернативы x . При $\alpha = 0$ наступает случай крайнего пессимизма, критерий анализирует только худшие ситуации.

Применение интегрированной методики к задаче планирования работ

Применим описанную методику для решения задачи планирования проектных работ в условиях полной неопределенности. Целью задачи является нахождение такого календарного плана работ, который обеспечивал бы минимальные затраты на субподрядные работы и минимальный простой собственных отделов при условии выполнения временных ограничений на даты начала работ. Неопределенность поведения внешней среды связана с возможностью появления четырех дополнительных проектов весной, летом, осенью и зимой соответственно. Решение задачи в условиях полной определенности методами имитационного и мультиагентного моделирования приведены в [5], методами имитационного и эволюционного моделирования – в [4]. В качестве средства разработки имитационной мультиагентной модели системы выступала система динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS [5], средством разработки информативной технологии генетической оптимизации служила система технико-экономического проектирования BPsim.MSN [4].

Воспользуемся результатами решения задачи в условиях полной определенности для формирования конечного множества альтернативных решений X (календарных планов работ). Множество X включает в себя 8 элементов, исходы которых необходимо оценить с учетом возможного изменения внешней среды.

Опишем следующие критерии оценки полезности исходов: суммарную стоимость субподрядных работ по портфелю проектов SS , общий простой собственных отделов за год в процентах SU , коэффициент использования трудовых ресурсов предприятия M_y . Методика расчета критериев описана в [3]. Проведем снятие многокритериальности задачи путем применения метода линейной свертки, предварительно приведя рассматриваемые критерии к однородному виду [3]:

$$F(x, z) = \beta_1 \cdot \frac{SS^{Init}}{SS} + \beta_2 \cdot \frac{SU^{Init}}{SU} + \beta_3 \cdot \frac{M_y}{M_y^{Init}} \rightarrow \max, \quad (7)$$

где надстрочный индекс $Init$ означает критериальную оценку эталонного экспертного решения задачи планирования; β_i – коэффициент свертки.

Поставим в соответствие множеству X множество $F(x, z)$ путем проведения экспериментов с имитационной моделью. Применим к полученной матрице F четыре описанных критерия численной оптимизации и проведем оценку устойчивости поведения оцениваемых альтернатив x_i при смене значений коэффициентов свертки β_i . Для критерия Гурвица зададим $\alpha=0,5$. Проведем 14 экспериментов, меняя значения коэффициентов свертки. Графики поведения функции $J(x)$ при изменении значимости отдельных составляющих критериальной функции (7) приведены на рисунке 1.

Как следует из графиков, применение критериев Сэвиджа, Бернулли и Гурвица выявляет устойчивое к изменениям коэффициентов целевой функции (7) оптимальное решение x_7 .

Разбросы значений функции $J(x)$ наблюдаются для экспериментов, при которых в функции реализации (7) доминирует компонента, отвечающая за минимизацию стоимости субподрядных работ. Сближение значений функции $J(x)$ наблюдается в экспериментах, для которых данная компонента становится несущественной по сравнению с оставшимися компонентами. При применении критерия Вальда устанавливается корреляция значений функции $J(x)$ при каждом эксперименте, что связано с анализом только худших ситуаций, в которых все решения дают сопоставимый исход для каждого эксперимента.

В результате проведенных экспериментов было выявлено решение, обеспечивающее оптимальный исход в условиях полной неопределенности и наилучшую устойчивость к изменению внешних факторов. Данное решение является также оптимальным для задачи в условиях определенности [4] и риска [3].

Выводы

В результате проведенных исследований был сделан вывод о целесообразности интеграции имитационного, мультиагентного, эволюционного моделирования и численных методов в ходе поддержки принятия решений в условиях полной неопределенности при работе с реальными системами. Мультиагентное имитационное моделирование позволяет преодолеть недостатки аналитического описания функции реализации за счет поддержки описания динамики и вероятностного распределения параметров анализируемой системы и описания модели ЛПР путем формирования базы знаний агентов. Эволюционное моделирование позволяет осуществлять формирование множества анализируемых альтернатив, которое содержало бы оптимальное решение в условиях определенности. Численные методы оптимизации предназначены для снятия неопределенности с учетом прогнозируемого воздействия событий внешней среды на функционирование системы. Результаты применения интегрированной методики для решения задачи планирования проектных работ в условиях полной неопределенности согласуются с по-

лученными результатами решения той же задачи в условиях определенности и риска и подтверждают сделанный вывод.

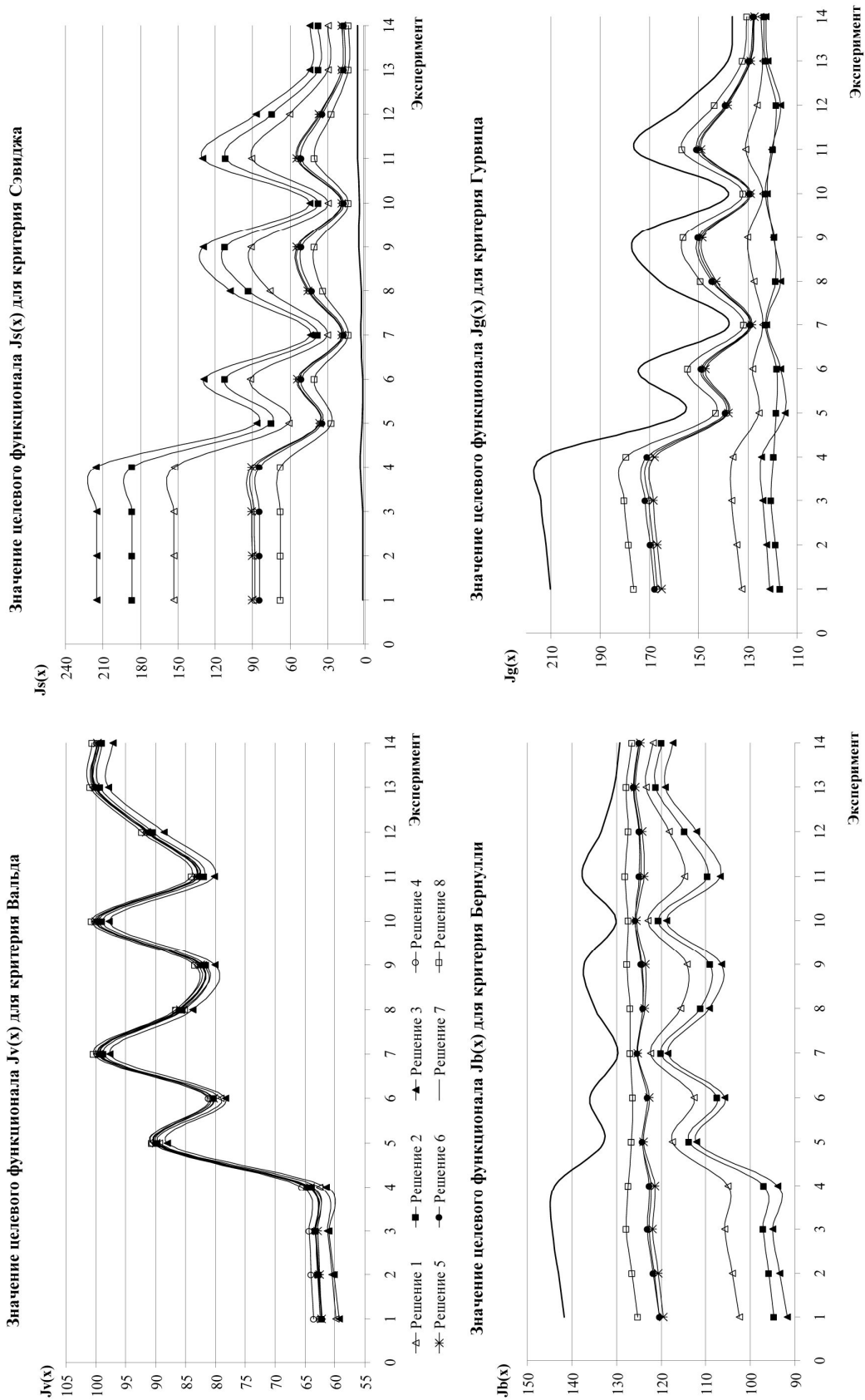


Рис. 1. Значение функции $J(x)$ при изменении коэффициентов различных численных критериев

Работа выполнена в рамках договора № 02.G25.31.0055 (проект 2012-218-03-167).

Литература

1. **Черноруцкий И. Г.** Методы принятия решений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
2. **Саати Томас Л.** Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети: пер. с англ., науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 360 с.
3. **Антонова А.С., Аксенов К.А.** Многокритериальное принятие решений в условиях риска на основе интеграции мультиагентного, имитационного, эволюционного моделирования и численных методов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4(2); URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1466>.
4. **Konstantin Aksyonov and Anna Antonova**, Multiagent genetic optimisation to solve the project scheduling problem, Proceedings of ICCGI 2013: The Eighth International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology, July 21-26, 2013, ISBN№: 978-1-61208-283-7, Nice, France, pp. 237–242.
5. **K. A. Aksyonov and A. S. Antonova**, Application of Simulation and Intelligent Agents to Solve Project Management Problem // International Journal of Computer Science Engineering and Information Technology Research, 2013, Vol. 3-1, pp. 321–330. Retrieved from: http://www.tjprc.org/view_archives.php?year=2013&id=14&jtype=2&page=7