

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

А. В. Фараонов (Санкт-Петербург)

Принятие решений по управлению транспортно-логистическими системами происходит в условиях многокритериальности, многофакторности, наличия ограничений, что приводит к тому, что операторы, принимающие решения, без дополнительной аналитической и инструментальной поддержки используют недостоверные, а иногда противоречивые решающие правила. Имитационное моделирование позволяет оценить реальное состояние транспортно-логистической системы, уловить тенденции развития внутренних и внешних изменений, проанализировать возможные последствия управляющих решений.

Для подготовки компетентного оператора, обучения соответствующим квалификационным навыкам и необходимым приемам принятия решений используются современные системы имитационного моделирования, компьютерные обучающие системы с развитыми интерактивными возможностями моделирования логистических процессов и организации процесса обучения операторов [1–5]. ExtendSim8 – инструмент имитационного моделирования нового поколения [6], это расширение продукта Extend® фирмы Imagine That, основанный на результатах, полученных в теории моделирования и в информационных технологиях за последнее десятилетие, поддерживает на единой платформе существующие подходы дискретно-событийного и непрерывного моделирования (блок-схемы процессов, системную динамику, агентное моделирование, карты состояний, системы уравнений и т. д.). Объектно ориентированный подход, предлагаемый ExtendSim 8, облегчает итеративное поэтапное построение больших моделей. ExtendSim 8-модели создаются из заранее подготовленных блоков (рис. 1). Изучение транспортно-логистической системы с помощью имитационной модели позволяет оценить компетентность оператора при принятии решений без вмешательства в работу реальной системы, растянуть или сжать время функционирования логистической системы, понять сложное взаимодействие элементов внутри системы, оценить степень влияния факторов и выявить “узкие места” [5, 7–9]. Принцип имитационного моделирования заключается в том, что поведение логистической системы отображается компьютерной моделью взаимодействия ее элементов во времени и пространстве, включая такие взаимосвязанные этапы, как содержательная постановка задачи; разработка концептуальной модели; разработка и программная реализация имитационной модели; оценка адекватности модели и точности результатов моделирования; планирование экспериментов; принятие решений. Эти показатели не имеют четко очерченных оптимальных границ. Показатели дают возможность количественно зафиксировать тенденции в подготовке операторов, определить тип поведения операторов и соответственно разработать как коллективную, так и индивидуальную методику их подготовки. Методика определяется следующим порядком действий. Оператор проводит серии экспериментов по разработке алгоритмов, составлению имитационных моделей в среде ExtendSim 8 [6]. Эксперты на каждом шаге оценивают действия оператора:

- правильность набора схемы и время выполнения;
- умение изменять параметры имитационных моделей;
- поиск оптимальных вариантов реализации модели.

Каждое действие оператора относится к одному из следующих классов [10]:

Q_1 – правильно и своевременно выполненные действия;

Q_2 – невыполненные действия;

Q_3 – неправильные действия;

- Q_4 – действия, выполненные с опозданием;
- Q_5 – действия, выполненные ранее необходимого;
- Q_6 – излишние действия;
- Q_7 – неоптимальные действия.

Результаты проведенных испытаний оцениваются методом анализа иерархий [11–14]. В вершине иерархии располагается основная цель, далее, на уровень ниже — подцели и, наконец, на самом нижнем уровне — альтернативы, среди которых производится выбор (и) или ранжирование. В вершине построенной иерархии располагается цель – оценка работы оператора. На втором уровне располагаются эксперты, проводящие оценку работы. На третьем уровне расположены возможные в этой ситуации частные критерии: Q_1, \dots, Q_7 . На четвертом уровне располагается испытуемые: оператор 1, ..., оператор 9. Рассматриваются различные варианты оценки и самооценки уровня подготовки операторов.

Способ 1. После сравнений, проведенных экспертом $i, i \in 1:n$, определяется вектор приоритетов φ' для объектов нижнего уровня, отражающий мнение эксперта i . Когда все n экспертов проведут сравнение объектов нижнего уровня, сформируем из полученных векторов $\varphi^i, i, i \in 1:n$ квадратную матрицу Φ размерности $n \times n$ (вектора φ' являются столбцами этой матрицы). Для полученной в этом случае квадратной матрицы Φ и имеющегося вектора ω вычислим вектор

$$\psi' = \Phi \times \omega.$$

Получаем вектор приоритетов ψ' операторов с точки зрения руководителя группы экспертов и всех экспертов.

Способ 2. Способ 1 позволяет получить ранжирование операторов с учетом мнения экспертов и руководителя группы экспертов. Получим такое же ранжирование, но только с точки зрения оцениваемых операторов (т. е. оператор будет оценивать сам себя). Для этого воспользуемся иерархией, представленной на рис. 4. Применим к этой иерархии схему попарных сравнений, аналогичную схеме в способе 1 за одним исключением: объекты четвертого уровня будут поочередно сравнивать не эксперты, а операторы. После сравнений, проведенных оператором $i, i \in 1:n$, определится вектор приоритетов φ' объектов нижнего уровня, отражающий мнение оператора i . Вычислим вектор

$$\psi'' = \Phi \times \omega',$$

где Φ (как и в способе 1) — квадратная матрица размерности $n \times n$, сформированная из векторов $\varphi', i \in 1:n$, $\omega' = (1/n, 1/n, \dots, 1/n)$ (операторы имеют равные веса, так как на данном этапе у экспертов нет достаточных оснований отдавать предпочтение какому-либо оператору). Полученный вектор приоритетов ψ'' ранжирует операторов с учетом мнения самих операторов.

Способ 3. Получим ранжирование операторов с точки зрения самих операторов, но исключим при этом из вектора ψ'' “самомнение” каждого из операторов. Для этого оператору $i, i \in 1:n$ предоставим иерархию, аналогичную иерархии на рис. 4, за следующим исключением: из самого нижнего уровня удалим элемент, соответствующий оператору i (чтобы не дать оператору i сравнить самого себя с остальными операторами). Сравнения элементов второго и третьего уровня иерархии для оператора i соответствуют сравнениям иерархии из способа 2. Пусть δ' — вектор приоритетов объектов нижнего уровня размерности $n-1$, полученный после сравнения элементов четвертого уровня оператором i . Сформируем из вектора δ' вектор φ' размерности n путем добав-

ления в вектор δ' на позицию i нулевого элемента. Как и в способе 2, из векторов $\varphi', i \in 1:n$ составим квадратную матрицу Φ размерности $n \times n$ (вектора φ' являются столбцами этой матрицы, таким образом, на главной диагонали матрицы Φ будут стоять нулевые элементы). Вычислим вектор

$$\psi''' = \Phi \times \omega',$$

где $\omega' = \langle 1/n, 1/n, \dots, 1/n \rangle$.

Полученный вектор ψ''' (как и в способе 2) ранжирует операторов, но в отличие от вектора ψ'' не содержит в себе мнение i -го оператора относительно себя.

После проведенных парных сравнений способами 1–3 получим три вектора ψ', ψ'', ψ''' . Теоретически, соответствующие значения всех трех векторов должны совпадать. На практике вектора будут иметь “отклонения” друг от друга. Один из возможных вариантов анализа полученных векторов ψ', ψ'', ψ''' заключается в применении к ним метрики, введенной в работе [14]. Вектора приоритетов, ранжирующие операторов, называются *упорядочениями* (упорядочениями будут являться полученные ранее вектора ψ', ψ'', ψ''' , если элементы векторов (веса) отсортировать в порядке убывания и заменить веса наименованиями объектов, которым этот вес принадлежит). Необходимо:

1) определить, насколько “близки” (“далеки”) два различных упорядочения экспертов (в нашем случае это позволит выяснить, насколько “близки” мнения руководителя группы экспертов, экспертов и операторов);

2) найти такой вектор (назовем его согласующим), который в каком-то смысле “наилучшим образом” согласуется со всеми упорядочениями экспертов.

Для того чтобы выполнить эти условия, следует “превратить” множество всех возможных упорядочений в некоторое геометрическое пространство. В этом пространстве можно как подсчитать расстояние между двумя любыми упорядочениями, так и найти согласующий вектор [14] (любое упорядочение будет являться точкой этого пространства). Квадратная матрица A размерности $n \times n$, элементы которой $a_{ij}, i, j \in 1:n$ определены следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если объект } i \text{ предпочтительнее объекта } j, \\ -1, & \text{если объект } j \text{ предпочтительнее объекта } i, \\ 0, & \text{если объекты } i \text{ и } j \text{ равноценны,} \end{cases}$$

называется матрицей упорядочений n объектов.

Таким образом, для любого упорядочения эксперта можно построить соответствующую матрицу A . Далее, пусть τ_1 и τ_2 — два упорядочения, а A' и A'' — две соответствующие им матрицы предпочтений, тогда расстояние между упорядочениями τ_1 и τ_2 определяется по следующей формуле:

$$d(\tau_1, \tau_2) = \frac{1}{2} \sum_{i,j \in 1:n} |a'_{ij} - a''_{ij}|$$

где $a'_{i,j}$ и a'' — элементы матриц упорядочений соответственно A' и A'' .

Замечание 1. Минимально возможное положительное расстояние между двумя предпочтениями равно 1.

Замечание 2. Максимально возможное расстояние между упорядочениями из n объектов равно $2n$.

Таким образом, получив вектора ψ', ψ'', ψ''' , можно подсчитать расстояние между ними и, с учетом замечаний 1 и 2, понять, насколько близки (далеки) мнения руководителя группы экспертов, экспертов и персонала. Расстояние между суждениями экспертов [13] не является единственно возможным (это расстояние учитывает только позицию объекта в векторе приоритетов и не учитывает вес объекта). Поэтому вполне возможно применение других способов и подходов, позволяющих вычислить близость векторов ψ', ψ'', ψ''' . Для определения согласующего вектора (пункт 2) введем следующие необходимые понятия. Пусть $\tau_1 \dots \tau_m$ – упорядочения (точки геометрического пространства), полученные различными экспертами. Тогда точка

$$\tau_{med} = \min \sum_{i \in 1, m} d(\tau_i, \tau_{med})$$

называется медианой множества точек $\tau_1 \dots \tau_m$, а точка

$$\tau_{mean} = \min \sum_{i \in 1, m} d(\tau_i, \tau_{mean})^2$$

является средним значением множества точек $\tau_1 \dots \tau_m$. Таким образом, подсчитав для векторов ψ', ψ'', ψ''' величины τ_{med} и τ_{mean} можно определить их согласующий вектор [14]:

1. Медиана и среднее значение определяют согласованные упорядочения для множества исходных упорядочений различных экспертов.
2. Медиана учитывает мнение большинства экспертов, тогда как среднее значение может посчитать преимущество большинства не вполне убедительным и тем самым провозгласить равноценность.
3. Среднее значение всегда единственно, тогда как медиан может быть от одной до m , где m – количество экспертов (упорядочений).

Выводы

Предложен метод оценки эффективности принятия решения при подготовке компетентного оператора, обучении необходимым квалификационным навыкам и приемам принятия решений на основе изучения операторами транспортно-логистических систем, моделируемых с помощью имитационных моделей в среде ExtendSim 8. Метод состоит из взаимосвязанных этапов, таких как содержательная постановка задачи, разработка концептуальной модели; разработка и программная реализация имитационной модели, оценка адекватности модели и точности результатов моделирования, планирование экспериментов; принятие решений, что позволяет проверить и оценить квалификацию операторов. Методом анализа иерархий экспертами оцениваются и анализируются возможные последствия действий операторов. Метод оценивает квалификацию, компетентность операторов без вмешательства в работу реальной системы.

Литература

1. Прохоров Н. Л., Красовский В. Е., Скрипников Д. А. Тенденции развития инструментальных средств создания компьютерных тренажеров технологического персонала. // Приборы. 2006. № 3.

2. Моделирующий комплекс имитационного и полунатурного моделирования. ФГУП ГосНИИ «Аэронавигация». <http://www.atminst.ru/>
3. **Шатров В. Ф., Силантьев А. Ю.** Ситуационные центры. Информационное обеспечение решений на высшем уровне управления // Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных и электронных технологий. Ч. 2. Имитационное моделирование и конфликтология. Материалы Международной конференции и Российской научной школы. М.: Радио и связь, 2003. С. 8–17.
4. **Романов В. В.** Ситуационные центры в решении проблем информационной безопасности. www/microsoft.com/rus/government – 2004.
5. **Фараонов А. В.** Имитационное моделирование как метод обучения специалистов грузового терминала аэропорта. Проблемы эксплуатации и совершенствования транспортных систем // Межвузовский тематический сборник научных трудов. Том XIII. СПб. 2008. С. 211–215.
6. <http://www.imaginetthatinc.com>
7. **Лычкина Н. Н., Заходякин Г. В.** Имитационное моделирование (в логистике). М., 2010.
8. **Лычкина Н. Н.** Интегрированный многофункциональный комплекс имитационных моделей для стратегического и тактического управления деятельностью предприятий, М.:МГУ, 2010.
9. **Толуев Ю. И.** Имитационное моделирование логистических сетей // Логистика и управление цепями поставок. 2008 г., № 2/25. <http://www.xjtek.ru/file/208>
10. **Будовский В. П.** Подготовка персонала и поддержание его квалификации // Оперативное управление в электроэнергетике. 2006. № 4. С. 11–26.
11. **Абакаров А. Ш., Сушков Ю. А.** Программная система для выделения наилучшей альтернативы из множества имеющихся альтернатив. (MPRIORITY). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2005612330 от 08 сентября 2005 г. (23.03.11 Наука и образование. Двухэтапная процедура отбора перспективных альтернатив на базе табличного метода и метода анализа иерархий).
12. **Miller George.** The magical Number Seven, Plus Or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Information Processing // The Psychology Review. 1956. Vol. 63. N 2, March.
13. **Саати Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993, 316 с.
14. **Кемени Дж., Снелл Дж.** Кибернетическое моделирование. М.: Советское радио, 1972, 192 с.