

распоряжение ПУ  $i$ -го типа в каждом ПОС; суммарным суточным размером материалов, расходуемых при реализации ПУ $_i$  в ПОС $_k$  при обслуживании запросов пользователей.

В ходе имитации  $k$ -го варианта ПУ фиксируется вектор статистик имитации, верификации, адекватности и множество состояний процессов. Интегральными откликами имитационных моделей (ИМ) ПУ являются средние значения  $\{\overline{\eta_{kij}}, \overline{T_{okli}}, \overline{Q_{okli}}\}$  (коэффициенты загрузки, времена и доход) за время постановки имитационного эксперимента (ИЭ). Кроме того, в ходе ИЭ  $k$ -х вариантов ПУ фиксируются графики ежедневного изменения следующих откликов моделирования: доход ПОС $_k$  ( $Q_{0kts}$ ), затраты на реализацию ПУ $_i$  в ОПС $_k$  ( $Z_{0kts}$ ), эффективность работы ОПС $_k$  ( $E_{0kts}$ ), средненеделной размер выплат пенсий ( $\Sigma C_{opkts}$ ).

Целевой функцией имитационного моделирования и выбора вариантов организации ПОС $_k$  выбран обобщенный вектор  $Y_{ok}$ , компонентами которого являются:

$$Y_{ok} = \{ \overline{\eta_{kij}}, \overline{T_{okij}}, \overline{Q_{okl}}, \overline{Z_{ok}}, \overline{E_{ok}} \}; i=1,7, j=1,10.$$

У вектора  $Y_{ok}$  часть компонентов требует максимизации их значений ( $\overline{\eta_{kij}}, \overline{Q_{okl}}, \overline{E_{ok}}$ ), а для другой части компонентов необходима минимизация их значений ( $\overline{T_{okij}}, \overline{Z_{ok}}$ ). Поэтому эти компоненты необходимо привести к одному типу (например, требуется только максимизация всех компонент путем вычисления обратных величин у  $\overline{T_{okij}}$  и  $\overline{Z_{ok}}$ ), и к одному масштабу (путем нормировки всех значений откликов вариантов ИМ ПУ максимальным значением из всех вариантов, что позволит представить все компоненты  $Y_{ok}$  в виде относительных величин, изменяющихся на интервале  $[0, 1]$ ).

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ИНТЕГРАЛЬНОМ ПОКАЗАТЕЛЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

*В.Д. Гришко*

Научный руководитель – к.т.н., доцент *В.М. Булойчик*

*Военная академия Республики Беларусь*

В настоящее время компьютерное моделирование является основным методом анализа сложных технических систем проводимого с целью обоснования рассматриваемых проектов и предложений. При исследовании эффективности сложных технических систем особое внимание уделяется выбору интегрального показателя эффективности (ИПЭ), который должен отразить сложную взаимозависимость многочисленных факторов, влияющих на качество функционирования системы.

При выполнении требования строгой условной независимости частных показателей (ЧПЭ), характеризующих влияние соответствующих факторов [1], ИПЭ имеет либо аддитивный, либо мультипликативный вид, причем ЧПЭ имеют различные веса, отражающие степень их влияния на функционирование системы в целом:

$$Q = \sum_{i=1}^n k_i Q_i(x_i), \quad \text{при } \sum_{i=1}^n k_i = 1 \quad \text{или} \quad Q = \prod_{i=1}^n (1 + k_i Q_i(x_i)) \quad \text{при } \sum_{i=1}^n k_i \neq 1,$$

где  $k_i$ -весовые коэффициенты,  $Q_i(x_i)$ - ЧПЭ  $x_i$ -го критерия.

При сравнении нескольких вариантов построения систем (например  $a$  и  $b$ ) наиболее предпочтительным считается тот вариант, значение ИПЭ которого выше (ниже), т.е.  $b > a$  при  $Q^{(b)} > Q^{(a)}$ ,  $Q^{(a)}$  и  $Q^{(b)}$  – значения ИПЭ при альтернативах  $a$  и  $b$  соответственно.

Первоначальные значения весовых коэффициентов могут быть получены методом синтеза дерева «целей и задач» функционирования системы [1]. Однако из-за изменения параметров системы или характеристик внешней среды значимость каждого критерия может изменяться. Кроме того, нельзя однозначно говорить о правильном определении начальных значений этих коэффициентов. Поэтому существует объективная необходимость динамической корректировки вектора весовых коэффициентов, т.е. его оптимизации.

Необходимость оптимизации вектора весовых коэффициентов может возникнуть только

тогда, когда при оценке последствий стало известно, что из двух альтернатив  $a$  и  $b$  наиболее предпочтительным является вариант  $b$  с худшим значением ИПЭ, т.е.  $b \succ a$  при  $Q^{(b)} < Q^{(a)}$ .

Для осуществления динамической корректировки вектора весовых коэффициентов предлагается метод, подобный алгоритму обратного распространения ошибки при обучении искусственных нейронных сетей с учителем [2]. При данном методе обучения, предыдущая информация о состоянии и функционировании системы не теряется, а обобщается с вновь поступившей, что обеспечивает адаптацию весовых коэффициентов к меняющимся условиям, т.е. получение их оптимальных значений.

Предлагаемый метод оптимизации значений весовых коэффициентов может быть использован при разработке систем поддержки принятия решений, программных комплексов исследования эффективности сложных систем, что нашло свое отражение в разрабатываемом комплексе исследования эффективности функционирования ведомственных сетей связи [3].

#### **Литература**

1. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: «Радио и связь», 1981.
2. Комашинский В.И., Смирнов Д.А.. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. М.: «Горячая линия – Телеком», 2002.
3. Булойчик В.М., Гришко В.Д.. Моделирование ведомственных сетей связи. В сб. Известия Белорусской инженерной академии 1(15)/1 2003, Минск, с.246-249.
4. Шаракшане А.С. и др. Сложные системы. М.: «Высшая школа», 1977.

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

*Е.Р. Новичихина*

Научный руководитель – к.т.н., доцент *П.П. Шардыко*

*Белорусский национальный технический университет*

Предлагается программная система, предназначенная для моделирования структуры и функционирования производственных систем (ПС), таких как участки, линии, цеха. Встроенные экспертные системы (ЭС) позволяют анализировать варианты в условиях неполной или вероятностной исходной информации и компенсируют отсутствие у пользователя специальной подготовки в области математики и программирования.

Система включает комплект наиболее распространенных аналитических и имитационных моделей ПС, пакет статистической обработки данных и комплекс ЭС поддержки.

Комплекс моделей представляет собой программы, реализующие следующие методы моделирования:

1. Прямой счет.
2. Ведение циклограммы.
3. Метод динамики средних (составление и решение системы дифференциальных уравнений Колмогорова для марковских случайных процессов).
4. Методы теории массового обслуживания (теории очередей).
5. Метод теории сетей.
6. Метод имитационного (статистического) моделирования.

Все программы настраиваются на условия конкретной ПС чисто параметрически и не требуют от пользователя знаний помимо предметной области. Имитация сопровождается визуализацией. Все модели содержат модули автоматического варьирования исходными данными и подготовки результатов для регрессионного анализа.

Пакет статистической обработки данных выполняют следующие функции:

1. Оценивает точность результатов моделирования.
2. Выводит регрессионные зависимости.

В качестве пакета статистической обработки данных может использоваться любой из известных универсальных продуктов данного назначения. Мы ориентировались на пакет Stadia. Соответственно результаты моделирования автоматически представляются в формате этого пакета.