

УДК 519.246  
ББК 22.172

**Г.П. ХАМИТОВ**

*доктор технических наук, профессор*

*Байкальского государственного университета экономики и права, г. Иркутск*

**Т.И. ВЕДЕРНИКОВА**

*кандидат технических наук, доцент*

*Байкальского государственного университета экономики и права, г. Иркутск*

*e-mail: vedernikova-ti@isea.ru*

**Л.А. САЕНКО**

*магистрант Байкальского государственного университета*

*экономики и права, г. Иркутск*

*e-mail: saenko-l@ya.ru*

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ СКОЛЬЗЯЩЕГО УПОРЯДОЧЕНИЯ С ПОИСКОМ ПРЕЦЕДЕНТОВ ДЛЯ ИМИТАЦИИ ВЕКТОРНОГО СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

Содержит обзорную информацию о модели скользящего упорядочения с поиском прецедентов в качестве имитатора векторного случайного процесса, схему модели, способ оценки качества имитации, варианты критериев выбора лучшего прецедента.

*Ключевые слова:* случайный процесс, моделирование случайного процесса, модель скользящего упорядочения с поиском прецедентов.

**G.P. KHAMITOV**

*Doctor of Engineering Science, Professor,*

*Baikal State University of Economics and Law, Irkutsk*

**T.I. VEDERNIKOVA**

*PhD in Engineering Science, Associate Professor,*

*Baikal State University of Economics and Law, Irkutsk*

*e-mail: vedernikova-ti@isea.ru*

**L.A. SAENKO**

*candidate for a master's degree, Baikal State University of Economics and Law, Irkutsk*

*e-mail: saenko-l@ya.ru*

## FEATURES OF SLIDING ORDERING MODEL WITH RESET OF PRECEDENTS FOR SIMULATION OF N-DIMENSIONAL RANDOM PROCESS

The article provides general overview information about the sliding ordering model with reset of precedents as simulator of n-dimensional random process, the model scheme, the estimation method for simulation quality, the variants of criteria for choice of the best precedent.

*Keywords:* random process, simulation of random process, sliding ordering model with reset of precedents.

Имитация как инструмент моделирования реальных и проектируемых объектов и процессов, с одной стороны, является актуальным направлением исследования в силу своей относительной дешевизны, а с другой — позволяет проводить множество

экспериментов над объектом, в любой момент изменять параметры, останавливать или перезапускать эксперимент.

Для моделирования случайного процесса с требуемыми динамическими свойствами используют так называемые R-методы, а для

получения случайного процесса с требуемыми динамическими свойствами и законом распределения вероятностей — PR-методы, один из которых основан на модели скользящего упорядочения с поиском прецедентов (МСУ-П) [1; 2]. Базой для МСУ-П является модель скользящего упорядочения (МСУ), основанная на идее изменения порядка следования элементов исходной реализации [4].

Пусть  $n$ -мерный случайный процесс  $\xi = \{\xi^{(i)}, i = \overline{1, n}\}$ ;  $\xi^{(i)} = \{\xi^{(i)}(j), j = \overline{1, N}\}$  задан одномерными функциями распределения вероятностей  $\{F_{\xi^{(i)}}(x), i = \overline{1, n}\}$ , набором автокорреляционных функций  $\{r_{\xi^{(i)}}(\tau), \tau = 0, 1, \dots\}$  процесса и набором взаимокорреляционных функций  $\{r_{\xi^{(i)}, \xi^{(j)}}(\tau), \tau = 0, 1, \dots; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}\}$  между компонентами  $\xi^{(i)}$  и  $\xi^{(j)}$  процесса  $\xi$ . Пусть  $x = \{x^{(i)}, i = \overline{1, n}\}$ , где  $x^{(i)} = \{x^{(i)}(j), j = \overline{1, N}\}$  — реализация случайного процесса  $\xi$  в виде временного ряда.

Модель скользящего упорядочения с поиском прецедентов для имитации  $n$ -мерных временных рядов (рис. 1) содержит [1]: блок 1 для хранения последовательности  $x$ ;  $n$  буферных запоминающих устройств (блоки с номером 2) для хранения претендентов  $U^{(i)}(t) = \{u_l^{(i)}(t), l = \overline{1, w}\}$  по каждой компоненте  $x^{(i)}$ ; буфер 6 для хранения  $w$  прецедентов  $Z(t) = \{z(l), l = \overline{1, w}\}$ ; буфер 4 для хранения в момент времени  $t$  значений предыстории  $\bar{y}(t) = \{y^{(i)}(t - j), j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}\}$ ; функциональ-

ный блок 5 для выбора наиболее близкого прецедента  $z(g(t)) = \{z^{(i)}(g(t), l), l = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}\}$ ,  $g(t) \in \{1, 2, \dots, w\}$  к предыстории  $\bar{y}(t) = \{y^{(i)}(t - j), j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}\}$ ; блоки с номером 3 для выбора наиболее близких претендентов  $u^{(i)}(q^{(i)}(t)), i = \overline{1, n}$  к значениям  $y'(i) = z^{(i)}(g(t), m + 1)$ ; блоки с номером 0 и блок 7 для получения реализации равномерной дискретной случайной величины; фильтры  $\Phi 1$  и  $\Phi 2$  сортируют поток значений  $x$  в соответствии с заданными свойствами.

Таким образом, за сохранение вероятностных свойств процесса отвечают блоки с номерами 0, 1, 2 и 3, а динамических — 4, 5, 6 и 7.

Для исследования имитатора используется оценка  $S = S_1 + S_2$ , где

$$S_1 = \sum_{\tau=1}^{\Theta} |r_{x_i}(\tau) - r_{y_i}(\tau)|, i = \overline{1, n} [2],$$

$$S_2 = \sum_{\tau=1}^{\Theta} |r_{x_i x_j}(\tau) - r_{y_i y_j}(\tau)|, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}.$$

Предложенная модель практически решает задачу имитации векторного случайного процесса с любым законом распределения вероятностей, видом и степенью корреляционных связей. Схема МСУ-П может быть использована для задач прогнозирования векторного случайного процесса, для этого необходимо убрать из нее блоки с номера-

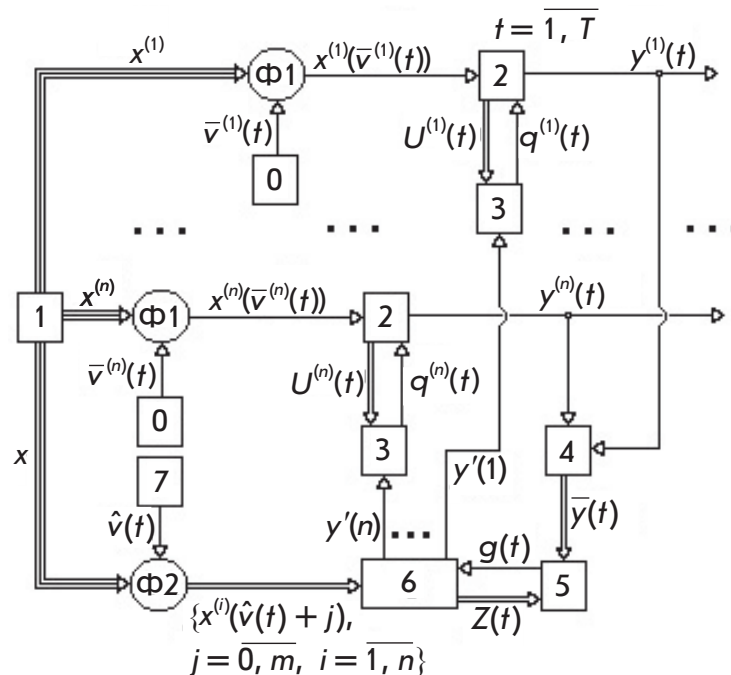


Рис. 1. Схема модели скользящего упорядочения с поиском прецедентов

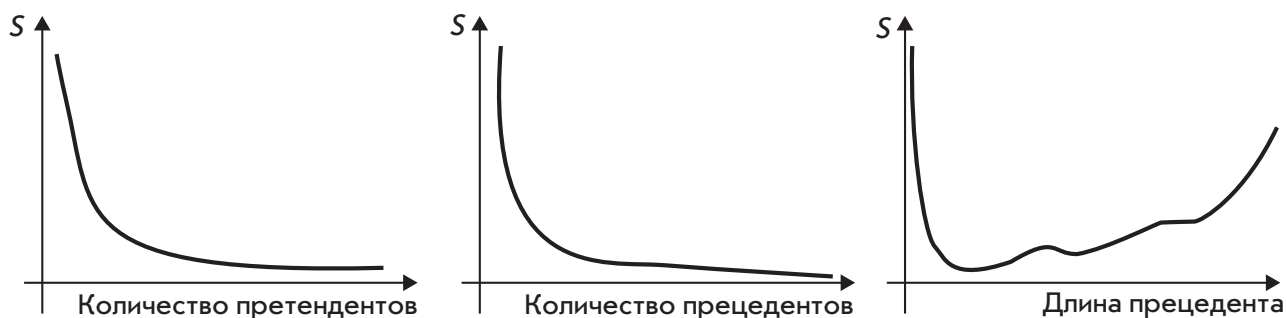


Рис. 2. Обобщенная зависимость качества имитации от изменения параметров

ми 0, 2 и 3. Соответственно, убирается параметр количества претендентов, а значение из урны 5 поступают на выход схемы  $y(t) = y'$  и на вход в блок с предысторией.

Спорным вопросом в предложенной модели является критерий выбора наиболее близкого (наилучшего) прецедента к предыстории (цепочка блоков 4–5–6). Модель предполагает использование различных видов критериев. В частности, можно использовать следующие критерии:

$$g(t) = \min_l \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (z^{(i)}(l, j) - y^{(i)}(t-j))^2 \right\}, \quad l = \overline{1, w}, (*)$$

$$g(t) = \min_l \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |z^{(i)}(l, j) - y^{(i)}(t-j)| \right\}, \quad l = \overline{1, w},$$

$$g(t) = \min_l \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (z^{(i)}(l, j) - y^{(i)}(t-j))^2 \right\}, \quad l = \overline{1, w}, (*)$$

Для выбора наиболее подходящего критерия проводятся имитационные эксперименты. Предложенный метод имитации векторного случайного процесса был апробирован на реальных метеорологических данных, ценах на драгоценные металлы, индексах РТС, курсах валют. По результатам поставленных экспериментов было выявлено, что критерий (\*) является наилучшим по качеству имитации. Обобщенная зависимость изменения качества работы имитатора от параметров МСУ-П представлена на рис. 2 [3].

#### Список использованной литературы

1. Савкин И.Н. Математическое и программное обеспечение моделирования стохастических временных рядов: дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2000.
2. Савкин И.Н., Хамитов Г.П. Моделирование солнечной активности с помощью модели скользящего упорядочения с поиском прецедентов // Солнечная активность и ее земные проявления: тез. докл. междунар. конф. Иркутск, 2000. С. 89–90.
3. Саенко Л.А., Хамитов Г.П. Имитация векторного случайного процесса с помощью модели скользящего упорядочения с поиском прецедентов // Применение математических методов и информационных технологий в экономике: сб. науч. тр. Иркутск, 2009. С. 39–42.
4. Хамитов Г.П. Имитация случайных процессов. Иркутск, 1983.

#### Referenses

1. Savkin I.N. Matematicheskoe i programnoe obespechenie modelirovaniya stokhasticheskikh vremennykh ryadov: dis. ... kand. tekhn. nauk. Irkutsk, 2000.
2. Savkin I.N., Khamitov G.P. Modelirovanie solnechnoi aktivnosti s pomoshch'yu modeli skol'zyashchego uporyadocheniya s poiskom pretsedentov // Solnechnaya aktivnost' i ee zemnye proyavleniya: tez. dokl. mezhdunar. konf. Irkutsk, 2000. S. 89–90.
3. Saenko L.A., Khamitov G.P. Imitatsiya vektornogo sluchainogo protsesssa s pomoshch'yu modeli skol'zyashchego uporyadocheniya s poiskom pretsedentov // Primenenie matematicheskikh metodov i informatsionnykh tekhnologii v ekonomike: sb. nauch. tr. Irkutsk, 2009. S. 39–42.
4. Khamitov G.P. Imitatsiya sluchainykh protsesssov. Irkutsk, 1983.