

## УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В ЗАДАЧАХ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Приходько М.В.

Следует отметить, что анализ рисков, как правило, рассматривается как в виде качественных, так и количественных факторов [1 – 7]. Главная задача качественного анализа - выявление факторов риска, вычленения списка работ, для которых фактор возникновения риска нельзя исключить. При этом желательно установить потенциальные зоны риска, на основании чего необходима идентификация всех возможных ситуаций, связанных с повышенным риском. Для количественного анализа риска стратегических планов развития предприятий необходим сложный математический аппарат с привлечением численных методов оценки размеров частных рисков и риска стратегического проекта в целом.

После выбора направлений предложена стохастическая модель сетевого планирования. Предполагается, что имеется множество этапов реализации программы стратегического развития  $\{W_i\} i=1..I$ . Для оценки времени реализации этапа  $T_i$  может быть использована предложенная процедура. Сетевая модель, представляет граф  $G$  (рис.1)  $G=\langle\{W_i: i=1..I\}, \{E_{j,i} : i,j=1..I\}\rangle$ , где  $\{W_i\}$  - множество вершин графа  $G$ , соответствующее этапам;  $\{E_{j,i}\}$  - множество дуг графа  $G$ , которые определяют взаимосвязь этапов.

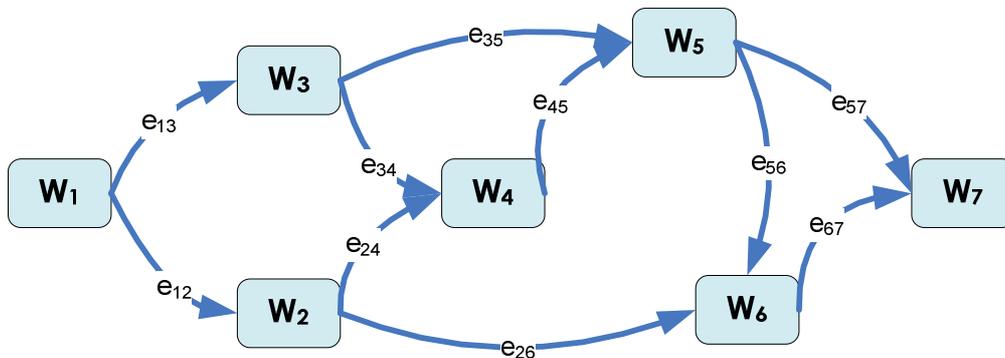


Рисунок 1 - Сетевая модель реализации этапов проекта стратегического развития

Поставлена задача разработки универсального алгоритма, инвариантного к детерминированному, вероятностному и лингвистическому варианту представления времен выполнения этапов и соответствующих затрат. В качестве модели этапа в общей структуре сетевого графика предлагается рекуррентная схема:

$$InW_i(l) : E_{l,i} = 0, \quad (\forall j \quad E_{j,i} = 0) \quad (T^H_i = T \quad T^K_i = T + T_i),$$

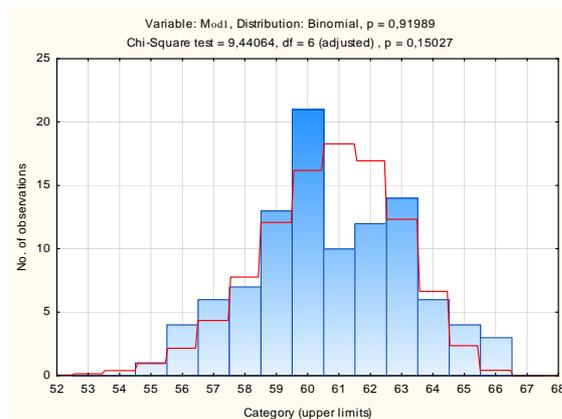
$$OutW : I = \mathbf{arg\ min}_i \{T^k_i : T^k_i \neq N\}, \quad T = T^k_i, \quad \{InW_i(I) \quad \forall i : E_{i,j} = 1\}$$

где:  $InW_i(k)$  – оператор инициализации начала этапа  $i$ ,  $OutW_i$  – оператор завершения этапа  $W_i$ . Данная процедура по значениям  $\{T_i\}_{i=1..I}$  и заданной матрицы смежности графа  $E$  определяет список  $\{T_{Hi}, T_{Ki}\}_{i=1..I}$ , где:  $T_{Hi}$  время начала и  $T_{Ki}$  время окончания  $i$ -го этапа:  $ST = \{T^*i : (i1 > i2 \Rightarrow T^*i1 > T^*i2) \wedge (\forall i \exists j : T^*i = T_{Hj} \vee T^*i = T_{Kj})\}$ .

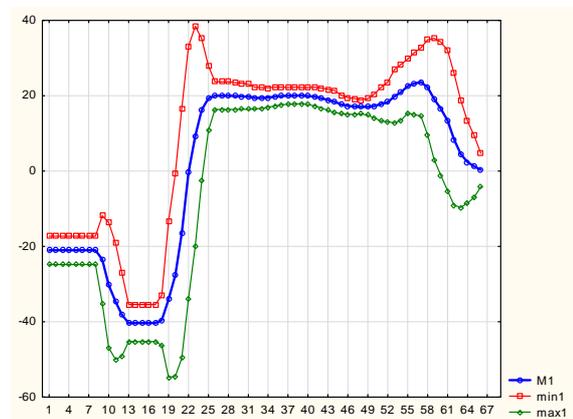
Прибыли и затраты для расчета эффективности программы развития выступают симметрично, поэтому в диссертации используется обобщенное понятие ресурса ( $Q$ ), значением которого взвешена каждая вершина графа. В качестве одного из вариантов распределения ресурсов на период выполнения этапа в модели реализовано равномерное распределение:

$$\forall t < T_{Hi} \vee t > T_{Ki} \quad Q_i(t) = 0, \quad \forall T_{Hi} \leq t \leq T_{Ki} \quad Q_i(t) = \frac{Q_i}{T^k_2 - T^H_1}. \quad (1)$$

Для стохастического варианта модели времена реализации этапов и ресурсы являются случайными величинами. Поэтому в работе предлагается использование метода Монте-Карло, на основании которого вычисляется случайное время завершения программы развития. На рисунке 2, а приведена гистограмма, из которой видна близость распределения к биномиальному распределению. Кроме того, на каждый момент модельного времени вычисляется объем ресурсов (рисунок 2, б) с доверительными границами.



а) Время реализации проекта



б) Динамика финансирования

Рисунок 2 - Стохастические характеристики проекта

В практике обоснования экономической эффективности долгосрочных программ развития обычно используется максимум NPV. В общем случае для ежегодно изменяющейся ставки дисконта и аннуитета NPV определяется как

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{(P_t - Z_t)}{\prod_{k=0}^t (1 + E_k)} \quad (2)$$

где  $P_t$  – прибыль и  $Z_t$  – затраты  $t$ -го года, а  $E_t$  – ставка дисконта  $t$ -го года. Эти значения получают на основании суммирования соответствующих значений графика (рисунок 2, б) на годовом периоде.

Далее на основании выполнения процедур прогноза на годовые периоды решается задача оценки влияния динамики неопределенности аннуитета (MA, DA) и ставки дисконта (ME, DE) на математическое ожидание (MNPV) и дисперсию (DNPV) показателя NPV:

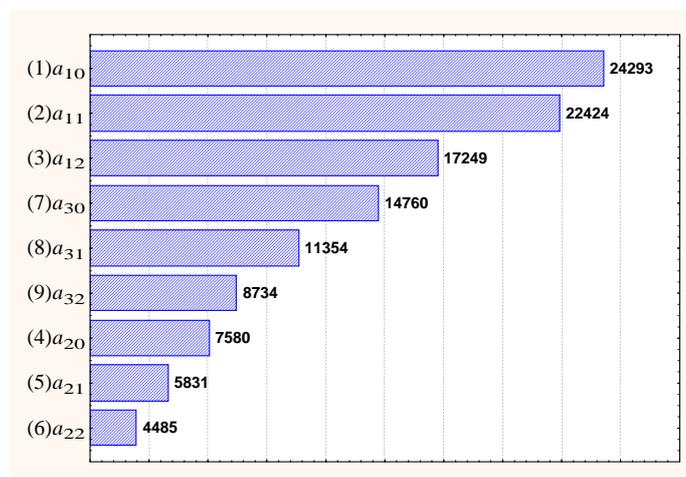
$$MNPV = \{DE | DA, MA, ME, n\}$$

$$MNPV = \{DE_1, \dots, DE_n | DA, MA, ME, n\}$$

$$DNPV = \{DE_1, \dots, DE_n | DA, MA, ME, n\}$$

$$DNPV = \{DE_1, \dots, DE_n, DA_1, \dots, DA_n | MA, ME, n\}$$

Для оценки чувствительности NPV к аннуитету ( $A=P-Z$ ) и норме дисконта ( $E$ ) был определен расчетный период в 5 лет, построен дробный факторный план  $2^{**}(10^{-6})$  и изучены модели поведения системы при различных методах задания исходных данных. Каждый год проекта определяется дисперсиями аннуитета и ставки дисконта (нормальный закон распределения) при фиксированных значениях математических ожиданий этих величин. Парето диаграмма оценки чувствительности приведена на рисунок 3.



**Рисунок 3 - Диаграмма влияния факторов объемов производства на NPV**

Таким образом, получены процедуры оценивания чувствительности NPV к неопределенности прибылей и затрат. Показано, что на математическое ожидание NPV существенное влияние оказывает не только математические ожидания аннуитета и дисконта, но и их дисперсии. Кроме того, модели изменчивости DA и DE вызывают значительное перераспределение приоритетов чувствительности к этим факторам.

При долгосрочном планировании (несколько лет) проявляется циклический характер динамики объемов работ. Для выделения сезонного цикла на интервале выбирается  $K$  целых периодов длительностью  $T$ . Исходный процесс  $y(t)$  и сезонные циклы  $s(t)$  на интервале  $\{0,KT\}$  в работе представлены совокупностью функций на одном и том же периоде:

$$\begin{aligned} y_k(t) &= y(t + (k-1)T), \\ s_k(t) &= s(t + (k-1)T), \quad k = 1, \dots, K. \end{aligned} \quad (3)$$

Для каждого периода определена своя часть первоначальной реализации и свой цикл сезонности. Для определения изменчивости длительности сезонного цикла предлагается процедура формирования  $s_k(t)$  на каждом  $k$ -м периоде. Формируется модель, сезонный цикл для которой определяется на основании первоначальной реализации и периода (коэффициент значимости  $\alpha^0 = 1$ ,  $0 \leq \alpha \leq 1$ ). Для всех остальных периодов значения весов меньше, и чем дальше период располагается от исследуемого –  $k$ -го, тем его вес меньше (коэффициент равен –  $\alpha^{(k-1)}$ ). Такое вычленение исследуемого периода  $s_k(t)$  означает, что формирование динамических циклов из первоначальной последовательности распадается на  $K$  задач формирования стационарной волны сезонности –  $s_k(t)$  для  $K$  взвешенных соответствующим образом реализаций –  $y^{(k)}(t)$  по периодам. Такая реализация  $y^{(k)}(t)$  представляется совокупностью функций:

$$y_l^{(k)}(t) = \alpha^{|k-l|} y(t + (k-1)T), \quad l = 1, \dots, K. \quad (4)$$

Таким образом, при выделении цикла  $s_k(t)$  тренд  $k$ -го периода ( $x_l^{(k)}(t)$ ) может быть представлен:

$$x_l^{(k)}(t) = \alpha^{|k-l|} (y_l(t) - s_k(t)). \quad (5)$$

В результате получим явный вид функционала решения задачи минимизации ошибки сезонности:

$$\Phi_k(x^{(k)}) = \int_0^T \left\{ \sum_{l=1}^K \alpha^{|k-l|} \left[ \dot{y}_l(t) - \dot{s}_k(t) \right] \right\}^2 dt \Rightarrow \min \quad (6)$$

Значение оптимального коэффициента  $\alpha_k$ , определяющего вес заданного периода реализации  $y^k(t)$ , оценивается на основании задачи оптимизации:

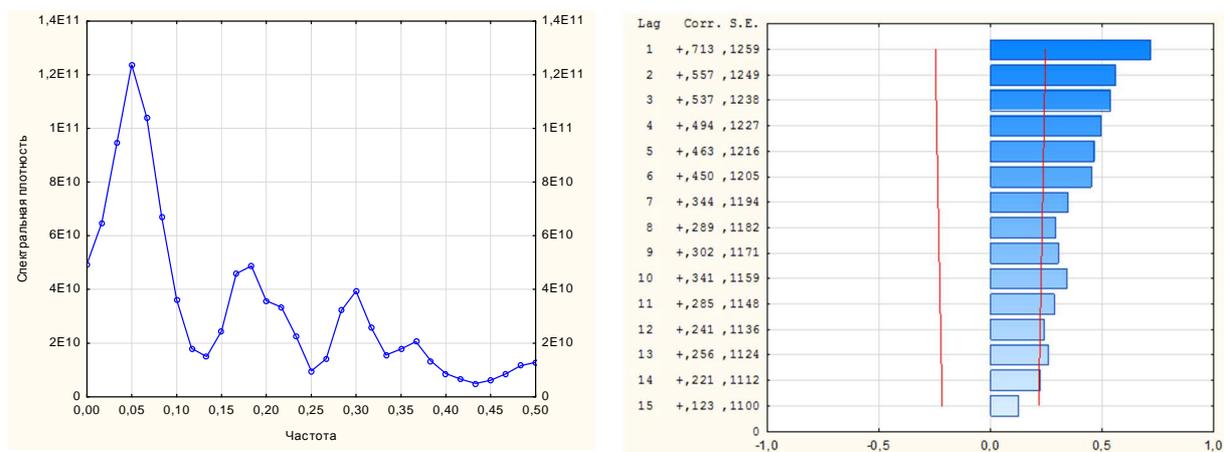
$$\Phi_k(x^{(k)}(t, \alpha_k)) \Big|_{0 \leq \alpha \leq 1} \Rightarrow \min \quad (7)$$

Для дискретного варианта исследуемый функционал будет равен:

$$\Phi^{(k)}(x_n) = \sum_{n=1}^T \sum_{l=1}^K \left[ \alpha^{|k-l|} (y_{T(l-1)+n} - y_{T(l-1+n-1)}) - (s_n^{(k)} - s_{n-1}^{(k)}) \right]^2 \quad (8)$$

Таким образом, в случае дискретного времени в диссертации определены конкретные процедуры для выделения динамических сезонных циклов с оптимальными весовыми коэффициентами  $\alpha_k$ .

Тестирование данного алгоритма проводилось на модельных рядах и реальных данных объемов ремонтных работ, как по заработной плате, так и по обороту запчастей. График спектральной плотности показывает на существование явно выраженных циклов (рисунок 4), а вид автокорреляционной функции указывает на инерционный характер процесса.



а) Спектральная плотность

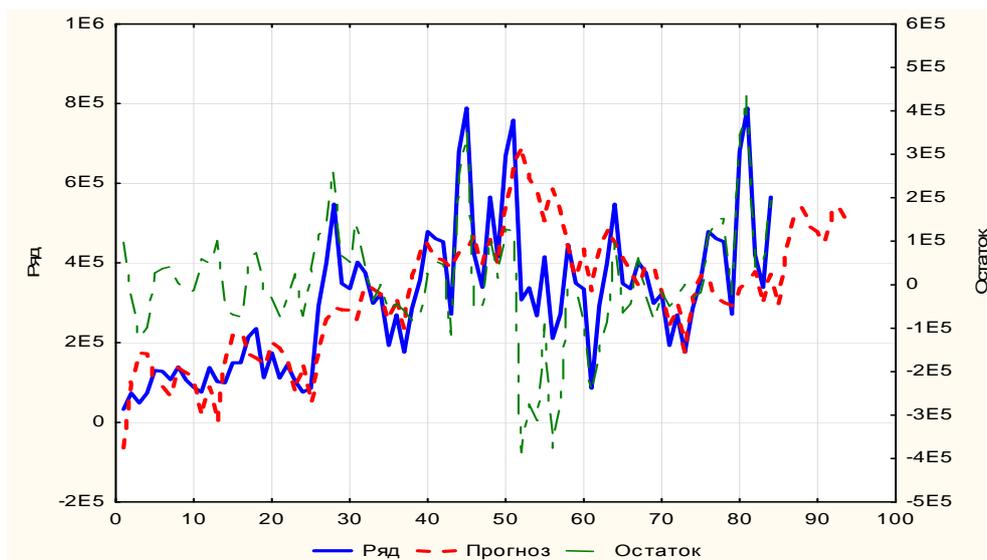
б) Автокорреляционная функция

Рисунок 4 - Характеристики временного ряда

Исходный и сглаженный ряды приведены на рисунке 5.

График остатков указывает на приемлемую точность прогноза. Ошибка лежит в пределах 10%.

Следует отметить, что анализ рисков, как правило, рассматривается как в виде качественных, так и количественных факторов. Главная задача качественного анализа - выявление факторов риска, вычленения списка работ, для которых фактор возникновения риска нельзя исключить. При этом желательно установить потенциальные зоны риска, на основании чего необходима идентификация всех возможных ситуаций, связанных с повышенным риском. Для количественного анализа риска стратегических планов развития предприятий необходим сложный математический аппарат с привлечением численных методов оценки размеров частных рисков и риска стратегического проекта в целом.



**Рисунок 5 - Выделение тренда с использованием линейной экстраполяции сезонных циклов**

#### Список информационных источников

- [1] Остроух А.В. Информационные технологии в научной и производственной деятельности / [ред. А.В. Остроух] - М: ООО "Техполиграфцентр", 2011. - 240 с. - ISBN 978-5-94385-056-1.
- [2] Куфтинова Н.Г. Процессно-ориентированный подход к автоматизации планирования и управления транспортировкой продукции предприятий промышленности / А.В. Остроух, Н.Г. Куфтинова // Вестник МАДИ – 2010. - Вып. 4(23). - С. 62-66.
- [3] Остроух А.В. Исследование начального периода моделирования на точность среднеинтегральной оценки имитационных моделей / А.В. Остроух, А.А. Солнцев, Н.В. Солдатов, К.А. Новицкий, П.С. Якунин // Вестник МАДИ – 2010. - Вып. 2(21). - С. 61-65.
- [4] Остроух А.В. Математическая модель связей в системе диагностики электрооборудования автомобилей / А.В. Остроух, А.А. Солнцев, О.Ф. Калухов, Г.Г. Ягудаев // Вестник МАДИ – 2010. - Вып. 2(21). - С. 66-70.
- [5] Солнцев А.А., Ивахненко А.А. Формальное описание процессов движения комплектующих на основе управляемых сетей // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 1(3); URL: [auts.esrae.ru/3-69](http://auts.esrae.ru/3-69) (дата обращения: 05.09.2013).
- [6] Приходько В.М., Солнцев А.А., Саная А.Г. Сетевая теоретико-игровая модель рациональных закупок в задаче формирования адаптивного механизма согласованных цен в схеме снабжения дилерской сети // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 1(3); URL: [auts.esrae.ru/3-70](http://auts.esrae.ru/3-70) (дата обращения: 05.09.2013).
- [7] Солнцев А.А. Модели нечеткого ситуационного анализа при описании вложенных процессов многоцелевой деятельности дилерской сети // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 1(3); URL: [auts.esrae.ru/3-71](http://auts.esrae.ru/3-71) (дата обращения: 05.09.2013).