

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

The structure of a complex system simulation software package BelSim with a base imitating model of an industrial enterprise (BIMIE) is presented. BIMIE includes such processes as supply, organization of production, production distribution and financial management of enterprise. The list of problems solved with BIMIE is found out, and features of research of its characteristics are described. An automated technology of estimation of duration of transient in the imitating model with a trend of response in a stationary mode is found out.

Введение. Промышленное предприятие представляется многоуровневой иерархической системой с координирующими элементами, принимающими решения на каждом из уровней в соответствии со своим положением в иерархии управления. Метод имитационного моделирования ERP-системы управления промышленным предприятием использует декомпозицию системы на подсистемы, процессы и активности; позволяет обеспечить очень важное сходство структуры модели и объекта исследования на основе процессного способа имитации [1]. Реализация метода предполагает построение базовой имитационной модели промышленного предприятия (БИМПП) с последующим уточнением в модели объектов системы [1, 3].

Состав ПТКИ BelSim. Программно-технологический комплекс имитации сложных систем (ПТКИ) BelSim позволяет реализовать метод имитационного моделирования производственно-экономической деятельности промышленных предприятий. В состав комплекса входит следующее программное обеспечение: построения функциональной модели системы на основе технологии IDEF0; интегрированной

среды разработки приложений на языке C++; системы имитационного моделирования PSTL; планирования, проведения и обработки результатов имитационных экспериментов; решения оптимизационных задач; анализа и отображения данных; интеграции имитационных моделей в комплексную информационную систему; организации распределенных вычислений.

В подсистеме планирования, проведения и обработки результатов имитационных экспериментов обмен данными между элементами подсистемы организован на основе иерархических структур, физически представленных в виде файлов в формате XML, доступ к которым реализован через стандартный интерфейс XML DOM Level 3 с использованием библиотеки MSXML 4.0. Блок ввода/вывода информации реализован в виде отдельного приложения Experiment Designer на основе Microsoft .NET Framework 1.1. Блок создания плана эксперимента, блок формирования данных для отдельных опытов и блок предварительного статистического анализа реализованы в виде макросов DesignOfExperiment и ExperimentData в специализированном пакете статистического анализа STATISTICA 6.0 (рис. 1).

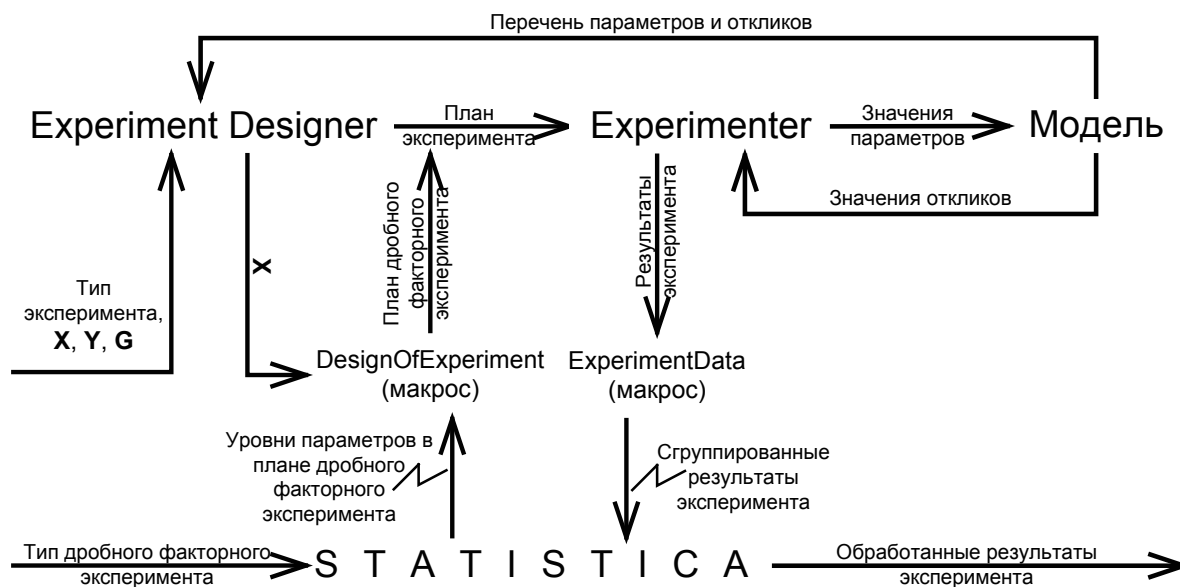


Рис. 1. Схема постановки имитационных экспериментов

Базовая имитационная модель промышленного предприятия (БИМП). Использование технологии IDEF0 на этапе содержательного описания, или построения вербальной модели, позволяет составить описание системы, помогая определить предметную область одновременно эксперту и разработчикам модели; моделировать изменения в системе, формализовать информационные потоки и используемые ресурсы, представить логику сложных переходов в системе. При разработке модели использован системный подход к анализу сложной многоуровневой системы.

Процессы снабжения, организации производства, сбыта продукции и управления финансами предприятия, описание окружающей среды представлены следующими группами параметров: характеристики производственного процесса; текущее финансово-экономическое состояние предприятия; алгоритм функционирования системы управления предприятием; структура персонала и параметры системы оплаты труда; характеристики производственных фондов; характеристики финансовых ресурсов; описатели контрактов; параметры системы налогообложения; показатели денежно-кредитной системы государства; характеристики спроса на продукцию; характеристики предложения материальных и энергетических ресурсов.

Для всех процессов разработаны алгоритмы функционирования. Например, алгоритм процесса «Поставка ресурсов» описывает функциональные действия при выполнении контракта на поставку ресурсов. При этом выделены три основных блока: предварительная оплата, поставка ресурсов и оплата по факту поставки, отсрочка платежа. В том случае, если контрактом предусматривается предварительная оплата, осуществляется проверка наличия необходимых денежных средств на расчетном счете предприятия ($S_{\text{пред}} > S_{\text{р/с}}$). Если необходимая сумма отсутствует, фиксируется нехватка денежных средств в размере ($S_{\text{пред}} - S_{\text{р/с}}$) и выполнение процесса приостанавливается с помощью оператора WAIT_WHILE ($S_{\text{пред}} > S_{\text{р/с}}$). При следующей активизации процесса необходимая сумма снимается с расчетного счета и управление вновь передается на управляющую программу моделирования (УПМ) вызовом оператора WAIT ($T_{\text{пред}}$), где $T_{\text{пред}}$ – срок предварительной оплаты. Если же контракт не предусматривает предварительную оплату, то выполняется оператор WAIT ($T_{\text{пост}}$), где $T_{\text{пост}}$ – период времени с момента подачи заявки до поставки ресурсов. Далее в составе алгоритма процесса следуют операторы, модифицирующие величину имеющихся складских запасов, что соответствует операции поставки ресурсов. Группы операторов, реализующие оплату по факту поставки и отсрочку платежа с синхро-

низацией по объему наличных денежных средств, соответствуют группе операторов для представления предварительной оплаты. Последним в алгоритме процесса следует оператор END, который завершает описание данного процесса, и по нему УПМ удаляет процесс из списка процессов.

Метод имитационного моделирования с применением БИМП обеспечивает решение следующих задач: оценка влияния алгоритмов организации бизнес-процессов в информационной системе (ИС) предприятия и их параметров на финансово-экономические показатели предприятия для поиска путей реинжиниринга бизнес-процессов; рациональный выбор состава, структуры и параметров системы управления производственными процессами для поиска путей снижения себестоимости продукции; оценка выбора альтернативных вариантов – целесообразности запуска отдельного производства на краткосрочный период при повышенном спросе на продукцию или равномерного выпуска продукции с хранением ее на складе; оценка целесообразности закупки сырья в период низких цен с последующим хранением на складе или ритмичной закупки сырья в течение заданного периода; оценка эффективности заключения контрактов на поставку ресурсов, реализацию готовой продукции с учетом экономических условий контракта; минимизация длительности переходного процесса при смене ассортимента выпускаемой продукции, сокращение потерь при переходных процессах, снижение себестоимости выпускаемой продукции; оптимальное распределение производственной нагрузки по цехам промышленного предприятия.

Исследование свойств БИМП. Общепринято *стационарность* режима моделирования характеризовать некоторым установившимся равновесием процессов в модели, когда при дальнейшей имитации новой информации о системе не получают. Под *устойчивостью* результатов имитации, как правило, понимают сходимостью контролируемого параметра моделирования к определенной величине при увеличении времени моделирования варианта сложной системы [4]. Обычно устойчивость результатов имитации оценивают дисперсией отклика. Если эта дисперсия при увеличении времени моделирования T_m не увеличивается, значит, результаты моделирования устойчивы [5].

Исследованию методов определения периода разгона и длины прогона модели уделяется значительное внимание, при этом делается попытка автоматизации определения указанных параметров моделирования [6, 7]. С. Робинсон (S. Robinson, 2002) [8] отмечает 26 подходов к определению переходного процесса модели,

распределяя их по группам: графические методы, эвристические подходы, статистические методы, тестирование со смещением параметров инициализации, гибридные методы. При этом следует отметить, что до настоящего времени, как отмечает Дж. С. Карсон (J. S. Carson, 2003) [9], отсутствуют общие правила для определения длины прогона и числа повторений опытов. В каждом случае все определяется моделью.

Особенность, выявленная при исследовании переходного процесса в БИМПП по известным технологиям [4], заключается в наличии разнородных по интенсивности переходных процессов: краткосрочные контракты, переоценка основных средств и т. д. При исследовании использованы средства мониторинга ПТКИ Bel-Sim [1] с применением пакета STATISTICA 6.0, позволяющие в процессе имитации осуществлять сбор статистики по основным откликам БИМПП и строить диаграммы по собранной статистике. Диаграммы построены по всем откликам и по каждому графику определен момент наступления стационарного режима, максимальный из которых принят за момент окончания переходного режима (рис. 2).

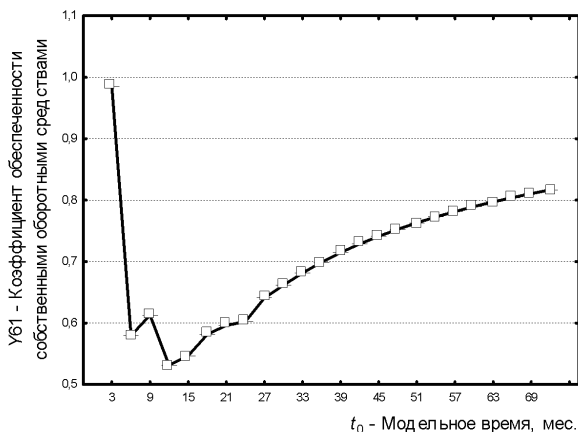


Рис. 2. Переходный процесс отклика У61 при детерминированных исходных данных с условиями имитации: период времени – 72 мес.; интервал сбора статистики – 3 мес.

Особенность проведенных исследований, представленных на рис. 2, заключается в том, что параметры внешней и рабочей нагрузки с вероятностными характеристиками приняты детерминированными. Модель имеет переходный режим длительностью 12 мес. (модельного времени).

БИМПП позволяет исследовать, например, влияние алгоритмов организации бизнес-процессов в информационной системе предприятия и их параметров на финансово-экономические показатели предприятия для поиска путей реинжиниринга бизнес-процессов. В ходе комплексного анализа находят рациональный

вариант состава и структуры ИС на основе суперпозиции интегральных показателей качества функционирования отдельных подсистем ИС и с учетом ограничений, накладываемых на каждую исследуемую подсистему другими подсистемами сложной системы. Если некоторые процессы БИМПП, выполняющие одинаковые функции, реализованы на основе различных алгоритмов или имеют различный состав и структуру, то необходимо исследовать свойства БИМПП для каждого изучаемого варианта, что является особенностью исследования модели для промышленного предприятия. Например, для БИМПП существует несколько алгоритмов реализации процессов планирования продаж и производства или управления запасами ресурсов. Выбор различных алгоритмов приводит к разному составу процессов модели с отличающимися свойствами. При исследовании нескольких бизнес-процессов с различными вариантами их алгоритмов длиной переходного процесса БИМПП считается *максимальное* из полученных значений.

Технология оценки длительности переходного процесса в БИМПП с трендом отклика в стационарном режиме. Практика исследования БИМПП показывает, что поведение откликов имитационной модели характеризуется наличием тренда в стационарном режиме. Например, стоимость запасов на складе постоянно увеличивается с учетом индекса инфляции.

В практике исследования имитационных моделей, как правило, наблюдают отклики, которые в стационарном режиме при их сдвиге к установившемуся значению. Использование общепринятой методики [4] приводит к значительным трудностям установления длительности переходного процесса в имитационных моделях с трендом в стационарном режиме.

Значение отклика в стационарном режиме с учетом тренда на интервале $[T_i, T_{i+1}]$ определяется следующим выражением:

$$Y_{ict} = Y_{ict}(T_i) + c_i t \quad |$$

$$|\forall t \in [T_i + T_{i+1}] \& \exists t = T_i; c_i t = 0. \quad (1)$$

Для нахождения длины переходного процесса принимают во внимание значения тренда $Y_{ict}(T_i)$ в момент T_i и $Y_{ict}(T_{i+1})$ в момент T_{i+1} . Оценивают максимальное $Y_{imax}(T_i)$ и минимальное $Y_{imin}(T_{i+1})$ отклонения отклика относительно тренда. Если отклонения отклика Y_i не превышают допустимых значений на величину до 5%, то середину интервала $[T_i, T_{i+1}]$ принимают за оценку длительности $T_{п.п}$ переходного процесса БИМПП.

Методика определения длительности переходного процесса БИМПП реализуется следующей последовательностью шагов (рис. 3).

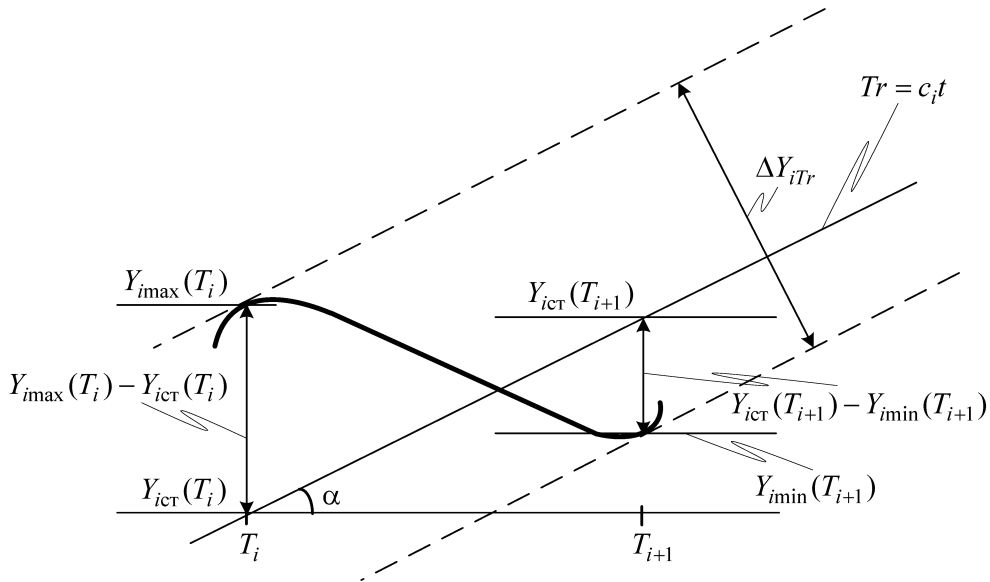


Рис. 3. Графическая модель оценки длительности переходного процесса с учетом тренда в стационарном режиме

Шаг 1. Для локального максимума отклонения отклика $Y_{imax}(T_i)$ фиксируют момент времени T_i и находят отклонение $\Delta Y_i(T_i)$ от значения тренда $Y_{icr}(T_i)$:

$$\begin{aligned} Y_{imax}(T_i), Y_{icr}(T_i) &\Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta Y_i(T_i) &= Y_{imax}(T_i) - Y_{icr}(T_i). \end{aligned} \quad (2)$$

Шаг 2. Для соседнего локального минимума отклонения отклика $Y_{imin}(T_{i+1})$ фиксируют момент времени T_{i+1} и определяют отклонение $\Delta Y_i(T_{i+1})$ от значения тренда $Y_{icr}(T_{i+1})$:

$$\begin{aligned} Y_{imin}(T_{i+1}), Y_{icr}(T_{i+1}) &\Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta Y_i(T_{i+1}) &= Y_{icr}(T_{i+1}) - Y_{imin}(T_{i+1}). \end{aligned} \quad (3)$$

Шаг 3. Находят отклонение отклика ΔY_{iTr} относительно тренда:

$$\Delta Y_{iTr} = (\Delta Y_i(T_i) + \Delta Y_i(T_{i+1})) \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где α – угол наклона линии тренда в стационарном режиме относительно оси абсцисс.

Шаг 4. Шаги 1–3 выполняют, пока не будет реализовано условие характеристического предиката:

$$P \left(\frac{\Delta Y_{iTr}}{\Delta Y_{icr}(T_i)} 100\% \leq \varepsilon \right) = 1, \quad (5)$$

где ε – допустимая погрешность отклонения отклика от линии тренда в стационарном режиме, %.

Шаг 5. Принимают за оценку длительности $T_{п.п}$ переходного процесса ИМ середину интервала $[T_i, T_{i+1}]$:

$$T_{п.п} = \frac{T_i + T_{i+1}}{2}. \quad (6)$$

Полученное значение $T_{п.п}$ учитывают для определения начала сбора статистики имитации и при оценке устойчивости БИМПП [10].

Одним из методов выделения тренда является подбор подходящей кривой. При этом в качестве математических моделей используют различные функции: уравнения прямой (см. рис. 3), экспоненты, параболы и др.

Для описания динамических рядов и выделения тренда целесообразно использовать уравнение, предложенное В. В. Нешитым [11]:

$$y = y_0 (1 + \alpha u t)^{\frac{1}{u}} = (A + Bt)^{\frac{1}{u}}, \quad (7)$$

где $A = y_0^u$; $B = \alpha u y_0^u$.

Уравнение (7) включает как частные случаи множества функций, в том числе прямую при $u = 1$ и экспоненту при $u \rightarrow 0$.

Для нахождения оценок параметров уравнения (7) его приводят к виду

$$y^u = A + Bt. \quad (8)$$

Обозначив $y^u = Y$, записывают (8) в следующем виде:

$$Y = A + BT \quad (9)$$

и оценки параметров A и B при заданном u находят по методу наименьших квадратов:

$$B = \frac{n \sum_i T_i Y_i - \sum_i T_i \sum_i Y_i}{n \sum_i T_i^2 - \left(\sum_i T_i \right)^2}, \quad (10)$$

$$A = \frac{1}{n} \left(\sum_i Y_i - B \sum_i T_i \right). \quad (11)$$

Значения параметра u задаются с некоторым шагом $\Delta u = 0,1$ или $\Delta u = 0,001$, или некоторым другим в зависимости от требуемой точности аппроксимации. При каждом заданном значении параметра u и вычисленных оценках

параметров A , B необходимо вычислять коэффициент корреляции и индекс корреляции. При достижении наибольшего значения коэффициента корреляции (или индекса корреляции) вычислительный процесс останавливают.

Заключение. Для автоматизации определения длительности переходного процесса имитационной модели предложена технология, в соответствии с которой принимают во внимание значения тренда $Y_{ict}(T_i)$ в момент T_i и $Y_{ict}(T_{i+1})$ в момент T_{i+1} . Оценивают максимальное $Y_{imax}(T_i)$ и минимальное $Y_{imin}(T_{i+1})$ отклонения отклика относительно тренда. Если отклонения отклика Y_i не превышают допустимых значений на величину до 5%, то середину интервала $[T_i, T_{i+1}]$ принимают за оценку длительности $T_{пл}$ переходного процесса модели.

Литература

1. Якимов, А. И. Имитационное моделирование в ERP-системах управления / А. И. Якимов, С. А. Альховик. – Минск: Бел. наука, 2005. – 198 с.
2. Якимов, А. И. Технология имитационного моделирования сложных многоуровневых систем / А. И. Якимов // Моделирование-2006: материалы Междунар. конф., Киев, 16–18 мая 2006 г. / Ин-т проблем моделир. в энергетике им. Г. Е. Пухова НАН Украины. – Киев, 2006. – С. 455–460.
3. Альховик, С. А. Имитационная модель промышленного предприятия для ERP-системы управления / С. А. Альховик, А. И. Якимов // Вестник Могилевского государственного технического университета. – 2004. – № 2(7). – С. 11–16.
4. Максимей, И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ / И. В. Максимей. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.
5. Левчук, В. Д. Программно-технологические комплексы имитации сложных дискретных систем: монография / В. Д. Левчук, И. В. Максимей. – Гомель: Изд-во ГГУ им. Ф. Скорины, 2006. – 263 с.
6. Robinson, S. Automated Analysis of Simulation Output Data / S. Robinson // Proceedings of 2005 Winter Simulation Conference [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа: <http://www.informs-sim.org/wsc05papers/088.pdf>. – Дата доступа: 12.06.2007.
7. Steiger, N. M. Performance Evaluation of ASAP3 for Steady-state Output Analysis / N. M. Steiger, E. K. Lada, J. R. Wilson // Proceedings of 2005 Winter Simulation Conference [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа: <http://www.informs-sim.org/wsc05papers/090.pdf>. – Дата доступа: 12.06.2007.
8. Robinson, S. A. Statistical Process Control Approach for Estimating the Warm-up Period / S. Robinson // Proceedings of 2002 Winter Simulation Conference [Электронный ресурс]. – 2002. – Режим доступа: <http://www.informs-sim.org/wsc02papers/055.pdf>. – Дата доступа: 12.06.2007.
9. Carson, J. S. Introduction to Modeling and Simulation / J. S. Carson // Proceedings of 2003 Winter Simulation Conference [Электронный ресурс]. – 2003. – Режим доступа: <http://www.informs-sim.org/wsc03papers/002.pdf>. – Дата доступа: 12.06.2007.
10. Якимов, А. И. Оценка длительности переходного процесса имитационной модели с трендом отклика в стационарном режиме / А. И. Якимов // Инновационные технологии управления в экономике 2007: материалы респ. науч.-практ. конф., Брест, 24–25 апр. 2007 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина. – Брест, 2007. – С. 45.
11. Нешиной, В. В. Статистический анализ и регулирование технологических процессов на базе обобщенных распределений с параметром сдвига: метод. рекомендации / В. В. Нешиной. – Минск: БелГИСС, 2001. – 40 с.