

П Р И К Л А Д Н А Я

ИНФОРМАТИК@

научно-практический журнал

№ 3 (9) 2007

ISSN 1993-8314



СИНЕРГИЯ ПРИНТ

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Первый номер периодического издания «Прикладная информатика» вышел в свет 26 лет назад, в 1981 году. Это был сборник статей, публикуемый издательством «Финансы и статистика» 6 раз в год под главной редакцией В. М. Савинкова.

В редакционной коллегии издания работали известные ученые А. П. Ершов, С. С. Лавров, А. А. Стогний, Л. Н. Сумарков и другие. Редакционная коллегия ныне действующего со-зывает охватывает значительную часть «научно-креативного IT-пространства» России: от Санкт-Петербурга до Ростова-на-Дону; от Смоленска до Иркутска. У журнала появились коллеги в Англии и Италии.

Данный номер посвящен прикладным вопросам, и в первую очередь интеллигентным методам принятия решений, основанным на применении нейронных сетей, компьютерной симуляции (имитационного моделирования) реальных процессов. Такие методы стали использоваться в научных исследованиях 30–40 лет назад. Сейчас они присутствуют практически во всех областях: от деловой разведки (обобщение официальных материалов и выявление на их основе скрываемых знаний, intelligence service) до систем поддержки принятия решений в условиях риска (например, при управлении проектами инвесторов-землепользователей). Эти методы претерпевают существенную модернизацию, к ним проявляется повышенный интерес. Например, Федеральная целевая программа «Национальная технологическая база» на 2007–2011 годы содержит специальное направление «Разработка технологий имитационного моделирования сложных технических и социально-технических систем».

Вниманию читателя предлагаются статьи, связанные с применением информационных технологий и экономико-математических методов в следующих областях: Интеллигентная поддержка решений, Риск-менеджмент, Модели менеджмента, Нейронные системы, Инструментальные методы экономики, Software, E-learning, Подготовка IT-специалистов.

**Главный редактор
А. А. Емельянов**

IT-МЕНЕДЖМЕНТ

ИНТЕЛЛИГЕНТНАЯ ПОДДЕРЖКА

Е. П. Бочаров, О. Н. Алексенцева, Д. В. Ермошин

Имитационная модель производственного процесса как элемент системы управления промышленным предприятием 3

РИСК-МЕНЕДЖМЕНТ

Н. З. Емельянова

Управление рисками муниципальных проектов с применением имитационных моделей 12

IT И ОБРАЗОВАНИЕ

E-LEARNING

А. С. Дорофеев, С. С. Сосинская

Модели обучающего курса в разработке систем дистанционного обучения 25

П. В. Юрин

Системная реализация дистанционного лабораторного практикума 38

Н. Б. Дорошенко

О пользе мультимедийных комплексов в профессиональном образовании: вопросы психологии 48

ПОДГОТОВКА IT-СПЕЦИАЛИСТОВ

И. А. Меркулина, А. П. Никитин, Е. Н. Каширская

Дипломное проектирование и выпуск конкурентоспособных информатиков-экономистов 60

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

SOFTWARE

А. А. Емельянов

Симуляторы *GPSS World* и *Actor Pilgrim*: экономика и массовое обслуживание 73

Е. А. Власова

Акторные модели корпоративных информационных систем . 104

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

МОДЕЛИ МЕНЕДЖМЕНТА

В. Н. Бугорский, И. Д. Котляров, В. И. Фомин

Принципы математического моделирования мотивации к труду . 114

ЛАБОРАТОРИЯ

НЕЙРОННЫЕ СИСТЕМЫ

А. В. Клименко, О. В. Стоянова, М. И. Дли,

Ю. Г. Бояринов

Нейро-нечеткий метод построения моделей сложных объектов. 119

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИКИ

А. В. Мищенко, Е. В. Виноградова, Л. С. Хайрулина

Модельный подход к анализу целочисленных инвестиционно-финансовых активов 128

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 139

АННОТИРОВАННЫЙ СПИСОК СТАТЕЙ 140

Редакционная коллегия

Главный редактор

Емельянов А. А. д. э. н., проф.

Заместители главного редактора

Артюхин В. В. к. э. н., доцент

Власова Е. А.

Редакционный совет

Саркисов П. Д. акад. РАН, сопредседатель

Павловский Ю. Н. чл.-корр. РАН, сопредседатель

Мешалкин В. П. чл.-корр. РАН

Козлов В. Н. д. т. н., проф.
Коршунов С. В. к. т. н., проф.
Росс Г. В. д. т. н., д. э. н., проф.
Рубин Ю. Б. д. э. н., проф.
Сухомлин В. А. д. ф.-м. н., проф.

Члены редколлегии

Амбросов Н. В. д. э. н., проф.
Бендиков М. А. д. э. н., проф.
Бугорский В. Н. к. э. н., проф.
Волкова В. Н. д. э. н., проф.
Диго С. М. к. э. н., проф.
Дик В. В. д. э. н., проф.

Дли М. И. д. т. н., проф.
Звонова А. Н. к. э. н.
Иванов Л. Н. д. т. н., проф.
Малышев Н. Г. д. т. н., проф.
Мэйпл К. Ph.D., проф.
Попов И. И. д. т. н., проф.
Потемкин А. И. д. т. н., проф.
Салмин С. П. д. э. н., проф.
Халин В. Г. к. ф.-м. н., проф.
Хубаев Г. Н. д. э. н., проф.
Чистов Д. В. д. э. н., проф.
Шахов Э. К. д. т. н., проф.
Шорилов А. Ф. д. ф.-м. н., проф.

Е. П. Бочаров, О. Н. Алексенцева, Д. В. Ермошин

Имитационная модель производственного процесса как элемент системы управления промышленным предприятием

В статье рассматривается применение имитационных моделей в контуре управления предприятием на примере ОАО «Саратовские обои». Для построения имитационной модели производственного процесса применялось инструментальное средство GPSS World. Подготовка исходных данных для моделирования (по мнению авторов — самая трудоемкая часть работы) осуществлялась с помощью пакета статистического анализа STATISTICA. Данные для анализа предоставлялись корпоративной информационной системой «Галактика», функционирующей на рассматриваемом предприятии.

История развития имитационного моделирования (ИМ) насчитывает уже более 40 лет [1–4]. Однако только в последнее десятилетие, в связи с появлением объектно-ориентированных визуальных инструментальных средств и высокопроизводительных персональных компьютеров, ИМ перестает быть «страшно далеким от народа», постепенно становясь повседневным инструментом для разработчиков самых различных проектов — транспортных, промышленных, медицинских, военных и т. п.

Так, наличие имитационной модели и обоснование с ее помощью выбранного варианта организации является обязательным в странах ЕС в комплекте документов, подаваемых на рассмотрение для проектирования или модернизации нового производства, либо технологического процесса [5]. ИМ придается все большее значение и в директивных документах Правительства РФ по технологическому развитию [6].

Место ИМ среди других видов моделирования, классификация самих методов ИМ — эти вопросы широко дискутируются и однозначно пока не решены. Поэтому необходимо сказать, что же авторы понимают под ИМ.

Перечислим важнейшие «родовые признаки» ИМ [1–4, 7, 8]:

- рассматривает потоки элементарных событий, происходящих с элементарными экономическими единицами (в качестве элементарной экономической единицы может быть принят, например, станок, а в качестве элементарного события — станок приступил к выполнению некоторой операции над деталью);
- модели динамические;
- уровень абстрагирования невысокий — в имитационной модели сохранены и «легко узнаваемы» такие черты моделируемой системы, как структура и связи между элементами, при этом объекты имитационной модели соответствуют достаточно четко идентифицируемым элементам реальной системы;
- ввиду характерного для каждой реальной исследуемой системы астрономического количества элементарных экономических единиц и происходящих с ними элементарных событий (как правило, случайных), применение в ИМ компьютера абсолютно необходимо — некоторые авторы даже отождествляют понятия ИМ и «компьютерное моделирование», хотя это, конечно, неправомерно;
- обработка результатов имитационного эксперимента производится точно так же, как и результатов реальных экспериментов, т. е. с помощью методов математической статистики.

Известна поговорка «дьявол скрывается в деталях». Именно возможность учесть в имитационной модели огромное количество деталей (в том числе и те, которые на первый взгляд кажутся несущественными) сделало ИМ важнейшим инструментом исследования систем самой различной природы.

Выбор инструментального средства ИМ

В статье рассматриваются задачи управления промышленными предприятиями на базовом, производственно-технологическом уровне.

Необходимость применения технологий имитационного моделирования для данного круга задач обусловлена тем, что материальные, информационные, финансовые потоки бизнес-процессов имеют характеристики, изменяющиеся во времени по случайным законам, очень часто — с большой вариабельностью (средние значения случайных величин имеют тот же порядок, что и среднеквадратичные отклонения). Следствием этого является существенная неравномерность использования материальных, информационных, людских и финансовых ресурсов. Применение имитационного моделирования позволяет формировать в динамике следующие показатели: время выполнения процессов и отдельных операций, стоимостные затраты на выполнение процессов, производительность (объемы выполненных работ) процессов, степень занятости отдельных ресурсов, стоимостные затраты использования отдельных ресурсов.

Рассматриваемому кругу задач соответствует дискретно-событийный подход в ИМ.

Под *дискретно-событийным моделированием* понимают подход, основанный на концепции заявок (пассивных объектов, транзактов, entities), ресурсов и потоковых диаграмм (flowcharts), определяющих потоки транзактов и использование ресурсов.

Транзакты «путешествуют» через flowcharts — стоят в очередях, обрабатываясь, захватывая и освобождая ресурсы, разделяясь, соединяясь и т. д.

Транзакты — это, например, детали, требующие обработки на станках. Ресурсы — станки, на которых эти детали обрабатываются. Таким образом, дискретно-событийное моделирование — моделирование системы в дискретные моменты времени, когда происходят события, отражающие последовательность изменения состояний системы во времени.

Имеется большой выбор инструментальных средств для разработки дискретно-событийных моделей, как российских (*Pilgrim* [3], *AnyLogic Enterprise Library* [8]), так и западных (*GPSS World* [9,10], *MODSIM* [4], *Simplex* [11]).

Последние версии этих инструментальных средств близки по своим возможностям. В них имеются развитые графические оболочки для создания моделей и интерпретации выходных результатов моделирования, мультимедийные средства, объектно-ориентированное программирование. Как бывает в таких случаях, на первый план выходит активность компаний-разработчиков по продвижению своих программных продуктов. Здесь первенство принадлежит компании *Minuteman Software*, которая, начиная с 2000 года, поставляет на рынок инструментальное средство ИМ *GPSS World*, в том числе — бесплатную «студенческую версию», тем не менее, вполне пригодную не только для целей преподавания, но и для реализации небольших моделей. Именно инструментальное средство ИМ *GPSS World* применялось авторами.

Система имитационного моделирования, описываемая в данной статье, включает в себя:

- подсистему сбора и обработки статистических данных, необходимых для реализации алгоритмов имитационного моделирования;
- подсистему собственно имитационного моделирования.

В последние годы большинство российских промышленных предприятий завершили процесс внедрения корпоративных

информационных систем (КИС) для поддержки управления. Однако огромный объем информации, который концентрируется в базе данных (БД) КИС используется далеко не в полной мере [12]. Как правило, процесс работы с КИС завершается выдачей отчетов — результатов выборок информации из БД по заданным запросам, анализируя которые либо «на глазок», либо после элементарной обработки, менеджеры принимают решения. Однако в случае, когда важную роль играют факторы неопределенности (как внутренней, так и внешней среды), а объем информации огромен, такой подход далеко не всегда дает удовлетворительные результаты.

В последние годы наметились два направления нетривиального использования информации БД КИС — интеллектуальный анализ данных (ИАД) для выявления скрытых закономерностей в массивах данных и имитационное моделирование [12, 13].

Задача подсистемы сбора и обработки статистических данных — определить функции распределения плотностей вероятностей случайных факторов и показателей, а также вероятности важнейших случайных событий, учитываемых в имитационной модели. При этом не столь важно, удастся ли найти соответствующее теоретическое распределение (нормальное, пуассоновское и т. п.) — все инструментальные средства ИМ позволяют задавать произвольное распределение. Однако вид теоретического распределения (если, конечно, оно найдено с необходимой достоверностью) иногда позволяет сделать определенные выводы о природе рассматриваемых случайных процессов.

При подготовке исходных данных для ИМ использовался пакет статистического анализа *STATISTICA* [14].

Любая из популярных КИС, будь то отечественные («Галактика», «Парус»), либо западные (*SAP R/3*, *Ахарт*, *IFS*) позволяет выдавать информацию, накопленную в БД, в любом из сколько-нибудь известных форматов. Поэтому принципиальных сложностей в осуществлении интерфейса между

КИС и пакетами статистического анализа не возникает.

Заметим, что статистическая обработка необходима не только для подготовки исходных данных, но и для обработок полученных результатов ИМ, например, результатов применения метода статистических испытаний (метода Монте-Карло).

Имитационное моделирование при решении задач управления предприятиями обойной подотрасли: постановка задачи

Производство обоев в России сосредоточено на 8 предприятиях. Особенность рассматриваемого вида производства состоит в том, что качество продукции (симплексные, дуплексные бумажные обои, а также виниловые и акриловые обои) существенно зависит от качества используемых печатных форм. От своевременности поставки печатной формы зависит оперативность перехода на новые рисунки. Поэтому предприятия имеют два совершенно разнородных по технологии производства — основное производство обоев и вспомогательное производство печатных форм (рис. 1).

С точки зрения методологии современной теории процессного управления предприятие имеет два «центра затрат» (производство обоев и производство печатных форм) и один «центр прибыли» (производство обоев).

В цепочке «снабжение сырьем — обойное производство — сбыт готовой продукции» в ОАО «Саратовские обои» (как и на большинстве других предприятий по производству обоев) функционирует отлаженная система процессного управления на основе корпоративной информационной системы (КИС) класса ERP — «Галактика» [12]. Данная система позволяет не только формировать планы сбыта готовой продукции, закупки материалов и загрузки цехов, анализировать информацию по прошедшим периодам, но и отслеживать в режиме реального времени состояние имеющихся производственных заказов, предоставляя

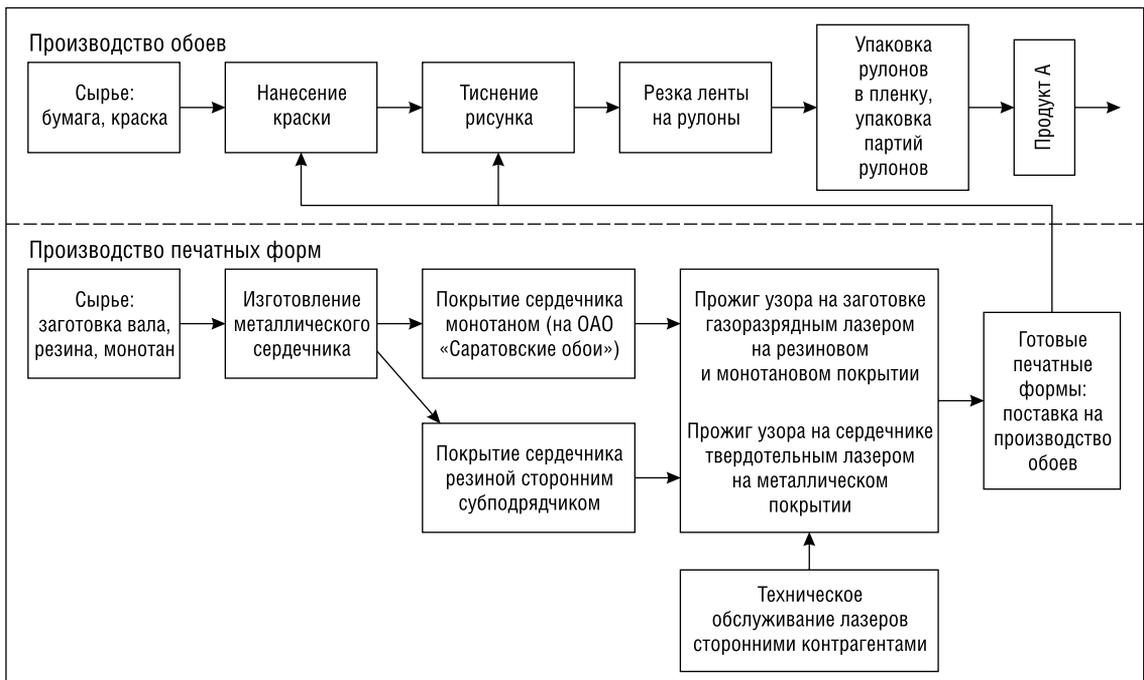


Рис. 1. Производственные процессы на ОАО «Саратовские обои»

информацию для принятия управленческих решений. Таким образом, важнейшие бизнес-процессы объединены в одно информационное пространство.

В целом, приведенная на рис. 1 схема соответствует известным бизнес-процессам с «кооперативными связями». Однако существует ряд особенностей производства печатных форм, затрудняющих использование стандартной процессной методики управления в производстве печатных форм:

- вследствие низкой износостойкости печатных форм большая часть объема производства приходится на замену. План же производства можно составить лишь на печатные формы, требуемые для ввода в эксплуатацию новых рисунков;
- «время жизни» печатной формы является случайной величиной с очень высокой вариабельностью;
- срок полного цикла изготовления печатной формы зачастую превышает горизонт планирования на производство обоев,

что затрудняет определение типов печатных форм, которые будут находиться в эксплуатации, а, следовательно, с большей вероятностью могут потребовать замены;

- необходимость привлечения в производство печатных форм трех контрагентов, находящихся в других городах, стохастичность времени наработки на отказ лазерной гравировальной установки (ЛГУ), приводят к высокой вариабельности времени изготовления печатной формы;
- большой ассортимент печатных форм — как по видам рисунков, так и по типам обоепечатных машин;
- неопределенность в необходимом количестве сырья на планируемый период времени, обусловленная стохастичностью коэффициента утилизации вышедших из строя печатных форм.

Описанные факторы затрудняют планирование производства печатных форм, что приводит к альтернативным отрицательным последствиям:

- простой на линии обоепечатного цеха из-за отсутствия необходимых печатных форм;

- возникновение избыточного запаса печатных форм, и, как следствие, — «замораживание» (а иногда, и потеря) оборотных средств.

В этом случае эффективными могут оказаться технологии имитационного моделирования.

Доля затрат на производство печатных форм в себестоимости рулона обоев составляет всего около 10%. Однако дело в том, что прямые убытки в связи с отсутствием необходимой печатной формы будут 300 000 руб. за рабочую смену, годовые убытки достигнут 7% выручки от реализации, что составляет существенную долю прибыли предприятия. При наличии жесткой конкуренции на рынке обоев, задержка с отгрузкой заказчику товара может иметь значительно более серьезные финансовые последствия, связанные с тем, что клиент захочет приобрести аналогичный товар у другого производителя и полностью аннулировать свой заказ, часть из которого к этому моменту может быть уже изготовлена. Все это, в конечном итоге, грозит потерей клиента.

Имитационное моделирование при решении задач управления предприятиями обойной подотрасли: некоторые результаты

Для реализации первой подсистемы ИМ на основе информации, накопленной в БД КИС ОАО «Саратовские обои» за квартал, определены характеристики случайных величин и событий:

- функции распределения плотностей вероятностей: интервалов времени поступления заявок на изготовление печатных форм, интервалов времени между приходом двух бывших в употреблении печатных форм, времени нанесения рисунка с помощью ЛГУ на заготовку, времени обработки

на токарном станке сердечника из нового комплекта материалов, времени, затрачиваемого на обрезинровку у стороннего контрагента и ряд др.;

- вероятности событий: изготовленная печатная форма имеет брак, пришедшая б/у печатная форма имеет неглубокое повреждение рисунка и может быть восстановлена без привлечения контрагентов, пришедшая б/у печатная форма имеет глубокое повреждение рисунка и может быть восстановлена только с привлечением контрагентов и др.

Всего обработаны статистические данные по 25 случайным величинам и видам событий.

Для нахождения функций распределения использовался критерий χ^2 (хи-квадрат) Пирсона согласия наблюдаемых данных с некоторой гипотезой. Этот подход реализован в модуле Distribution Fitting («Подгонка распределений») пакета программ STATISTICA.

В качестве примера применения описанной методики на рис. 2 приведены результаты «подгонки» плотности вероятности распределения времени между приходом заявок на изготовление валов (время измеряется в модельных единицах, одна единица равна 0,5 ч). В этом случае подходит распределение Пуассона. Параметр Lambda (среднее время между приходом заявок) равен 9,48624 ед. модельного времени, т.е. 4,743 ч, значение критерия χ^2 , равно 2,65173. Далее приведена вероятность ошибиться при отклонении гипотезы о справедливости распределения Пуассона $p = 0,95428$.

Далеко не во всех случаях одно из теоретических распределений столь достоверно описывает исследуемые случайные величины. Однако GPSS World позволяет применять и эмпирические дискретные распределения случайных величин.

Для применения инструментального средства GPSS World во второй подсистеме ИМ необходимо сформулировать алгоритм ра-

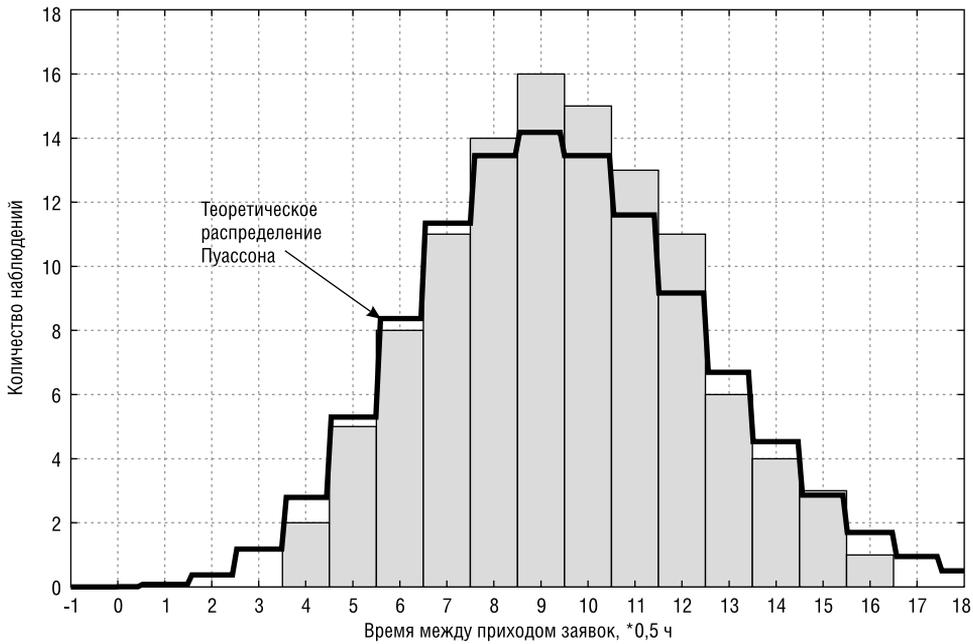


Рис. 2. Распределение времени между приходом заявок на изготовление печатных форм

боты модели в соответствующих терминах, т. е. определить виды используемых транзактов, ресурсов — одноканальных (ОКУ)

и многоканальных устройств (МКУ), списков и т. п. На рис. 3, показана упрощенная блок-схема модели.

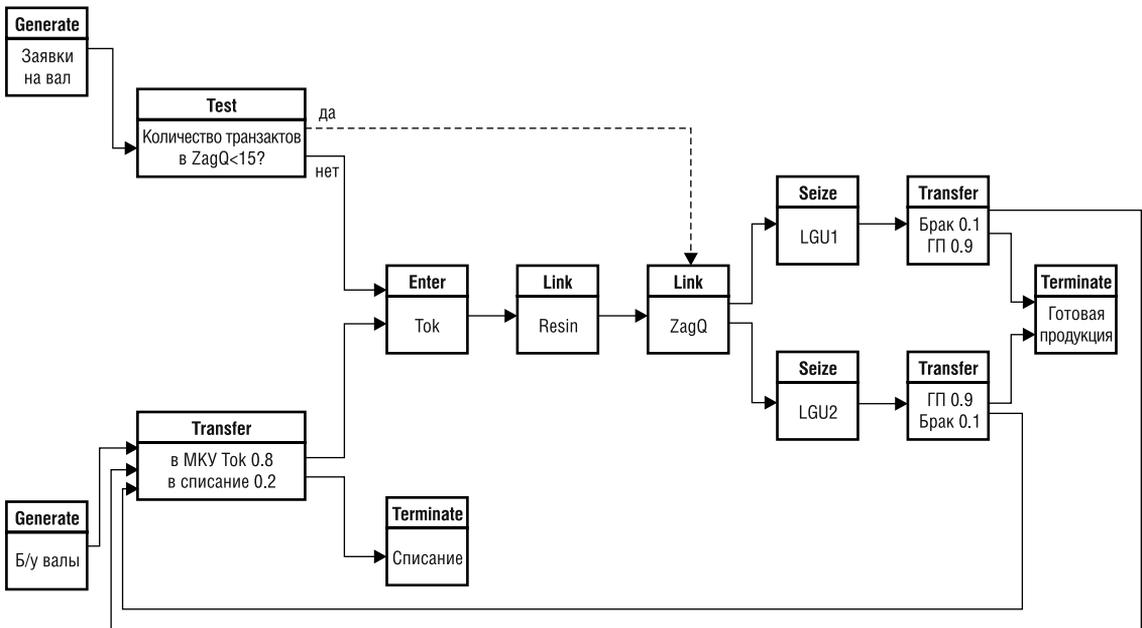


Рис. 3. Блок-схема имитационной модели цеха по производству печатных форм (валов), построенная визуальными средствами GPSS World

Имитационная модель производственного процесса как элемент системы управления промышленным предприятием

Иницируют процесс изготовления печатной формы два вида транзактов (соответственно, два оператора GENERATE): заявка на изготовление новой печатной формы (вала) и появление вышедшей из строя печатной формы.

Модель учитывает процесс накопления партии сердечников, направляемой на обрезинку у стороннего контрагента, которая формируется как из вновь изготовленных сердечников, так и из утилизированных б/у сердечников (вероятность возможности утилизации сердечника печатной формы моделируется оператором TRANSFER).

Оригинальная система ИМ позволяет решать самые разнообразные задачи типа «что, если ...». Например, планирование производства печатных форм при увеличении объема производства обоев.

Расчеты с использованием фактических данных за 2006 год показали, что производство печатных форм справляется с потоком заявок, что и имеет место в реальности. Однако предположим объем производства обоев необходимо увеличить вдвое. Проведенное за период 4400 ед. модельного времени ИМ показало, что в этом случае 40% заявок на изготовление печатных форм не удовлетворяется.

Как видно из рис. 4, очередь к ЛГУ не растет. Это значит, что имеющихся фактических ресурсов ЛГУ будет достаточно в случае роста производства.

Где же возникает «узкое место» в производственной цепочке? Как видно из рис. 5, с возросшим потоком заявок не справляется процедура обрезинки валов у иностранного контрагента. Таким образом, чтобы расширить объем производства, необходимо «расширить» это узкое место.

Приведенные выше результаты получены при однократном «прогоне» программы ИМ. Поскольку случайные факторы существенны, для получения достоверных результатов необходим многократный расчет при различных автоматически генерируемых последовательностях случайных чисел (метод статистических испытаний Монте-Карло).

Разработана концепция применения метода статистических испытаний средствами *GPSS World*, включающая создание специального командного файла, обеспечивающего цикл расчетов (с инициацией генераторов случайных чисел) с записью результатов в текстовый файл и последующей обработкой результатов пакетами статистического анализа (*STATISTICA*, либо мо-

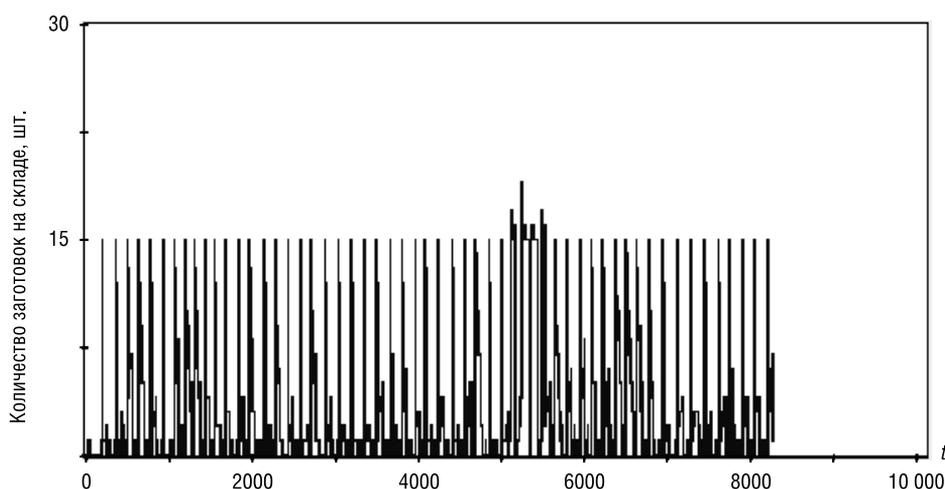


Рис. 4. Зависимость количества заготовок на складе от модельного времени — очередь к ЛГУ