

УДК 519.87:658 (51+8)

В. Н. Кравченко

канд. экон. наук, доцент

Донецкий национальный университет

А. Ю. Лысенко

менеджер по сбыту, ТД «Одескабель»

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ПРОИЗВОДСТВА И СБЫТА МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ

Введение. В условиях структурных изменений мировой экономики, циклических колебаний промышленного производства и конъюнктуры рынков, кризисных ситуаций в экономическом и финансовом секторах особое внимание должно уделяться потенциальным для стратегического развития экономики отраслям и рынкам сбыта [19]. Несмотря на колебания объемов добычи руды, производства цемента и стройматериалов, общая тенденция свидетельствует об их росте, что влечет за собой увеличение объемов потреб-

ления мелющих тел (МТ). При этом технологии измельчения в мельницах с МТ не являются новыми и не претерпели серьезных изменений с момента начала их использования [6]. На фоне недостаточной насыщенности мирового рынка мелющих тел, перспектив его роста и высоких барьеров для появления новых производителей уровень конкуренции оценивается как достаточно высокий, а условия функционирования — нестабильные из-за зависимости от финансово-экономического состояния и деловой активности узкого круга основных потребителей: горно-обогатительных комбинатов, производителей строительных материалов и энергетических компаний [11, 18].

Стратегии развития производителей МТ заключаются, с одной стороны, в реализации технико-технологических новаций, позволяющих улучшить эксплуатационные характеристики продукции и снизить расход энергоресурсов на стадиях помола, а с другой стороны, — во внедрении действенных инструментов и средств управления производством и сбытом мелющих тел, позволяющих сократить потери на всех этапах цепи поставок [2].

В мировой практике широкое распространение получила организация межфирменных сетей и управление деловыми процессами в ней [8, 10, 16]. Поскольку управленческие и технологические процессы на предприятиях и в межфирменных сетях осуществляются в условиях высокого уровня конкуренции, неопределенности и нестабильности рыночной среды, отношения производителей с контрагентами характеризуются нередко напряженностью, недоверием и взаимными обвинениями в случаях нарушения требований [3, 14]. В то же время, эффективность прямых продаж для производителя ограничена и падает при срабатывании таких факторов, как: скачкообразные изменения спроса на территориально удаленных от него рынках, изменения в требованиях к поставкам, послепродажному обслуживанию, несогласие потребителей с условиями продажи, усиление конкуренции [4, 5]. Кроме того, слабая организованность работы торговых компаний, неприемлемые задержки на этапах выполнения деловых процессов, потери и задержки при перемещении продукции по цепи поставок, необоснованно высокие затраты на обработку грузопотоков и хранение продукции и другие управленческие ошибки в сферах маркетинга, сбыта, логистики и сервиса приводят к незначительному или негативному эффекту [7, 15].

Поэтому важной научно-практической задачей в сферах металлургического производства и производства металлоизделий является формирование межфирменной сети (цепи поставок) с эффективными потоковыми процессами в системах производства, сбыта и дистрибуции. Планирование деятельности данных систем нацелено на согласование внутренних и внешних деловых процессов, синхронизацию ресурсных потоков между потребителями, торговыми компаниями и производителями. Следует отметить, что широко распространенным подходом к проектированию системы сбыта и дистрибуции является создание центрального распределительного склада и закрепление за ним локальных распределительных складов.

Анализ публикаций. В соответствии с логистическим подходом ресурсные потоки являются ключевым объектом исследований в теориях организации и управления деятельностью предприятия, логистики и управления цепями поставок [12, 21]. В [26] выделены шесть направлений измерения цепи поставок и ключевых областей улучшения процессов в ней: системная динамика — управление заказами; исследование операций — конфигурация структуры и поиск оптимальных параметров потоков в ней; логистика — интеграция (синхронизация, согласование) потоковых процессов; маркетинг — соответствие потребностям потребителей через правильный подбор продукции, цены, каналов доставки и сервиса; организация — управление внутренними взаимодействиями; стратегия — позиционирование на рынке и способность к партнерству.

Большое внимание уделяется подходам к многоуровневому планированию бизнес-процессов на предприятии и в межфирменных сетях с использованием моделей одного

или нескольких классов для каждого уровня [9, 27]. Планирование производства и сбыта продукции характерно для трех уровней управления: стратегического, тактического и оперативного [23]. Во многих видах экономической деятельности применяется смешанный тип стратегий, который сочетает как «толкающий» («push»), так и «тянущий» («pull») типы посредством определения (корректировки) точки привязки заказа клиента (ТПЗК) — Customer Order Decoupling Point (CODP) [29].

Формирование структуры систем производства, сбыта и дистрибуции (распределительной сети) относится к верхнему уровню планирования, а его инструментами выступают многомерные оптимизационные задачи с учетом выбранных критериев оптимизации и ограничений на потоки между звеньями такой сети [30]. Для понимания правил работы системы, иными словами, ее поведения, разрабатываются концептуальные модели общей структуры межфирменной сети (системы дистрибуции, логистической сети или цепи поставок). Для анализа процессов в данных системах с учетом стохастической природы внешнего окружения используются цепи Маркова, сети Петри и системы массового обслуживания [22].

Имитация функционирования цепи поставок, логистической системы или систем материально-технического снабжения, сбыта и дистрибуции, имеющих сетевую структуру расположения своих звеньев (бизнес-единиц, подразделений), между которыми существуют ресурсные потоки, осуществляется посредством [20, 24]: электронных таблиц; системной динамики; дискретно-событийного моделирования; автоматного моделирования; гибридного моделирования, в том числе на основе диаграмм состояний; агентного моделирования; бизнес-игр. При разработке автоматных моделей управления заказами (заявками) в производственных и сбытовых системах учитываются методические положения агрегированного подхода к планированию процессов и теории очередей [1].

Следует также отметить работу К. Алмедера, М. Преуссеры и Р. Хартла, посвященную разработке дискретно-событийных моделей потоковых процессов в цепи поставок и их комбинированию с задачами линейного программирования [22].

В общем случае имитационные модели состоят из [28]: наборов компонент программного обеспечения (модулей и блоков), отвечающих за определенные типы элементов, субъектов, звеньев в цепи поставок (склад, транспортировка, поставщик и т. д.); стратегий управления запасами, потоками, процессами; протоколов взаимодействия компонент, которые регулируют потоки информации, ресурсов и финансов.

Однако имитационные модели не дают готового решения, а только описывают поведение исследуемой системы, поэтому интерпретация и оценка имитационных экспериментов при заданной ее конфигурации опираются на целевую функцию, которая выражает совокупность технических и финансовых критериев, обуславливающих переход системы в требуемое состояние [25].

Постановка задачи. Для моделей процессов управления производственной и сбытовой деятельностью, логистическими системами и цепями поставок необходимы компоненты, учитывающие новые подходы к повышению эффективности потоковых процессов, и модули их комбинирования, что позволит решать взаимосвязанные задачи, относящиеся к разным уровням управления. Кроме того, разработка планов для основных и вспомогательных процессов на разные временные периоды — от года до одного дня — осуществляются практически «изолировано» друг от друга. Планы разделяются, в большей мере, по проблемам, которые отличаются «масштабом», а следовательно, и затратами времени и ресурсов. Взаимосвязь стратегических, тактических и оперативных планов обеспечивается лишь при распределении ресурсов (рабочего капитала) [13, 17].

Для повышения эффективности сбыта мелких тел следует развивать систему сбыта и дистрибуции (распределительные сети), обеспечивающую качественное вы-

полнение маркетинговых и логистических принципов на основе интегрированного взаимодействия предприятий и применения дескриптивных, квази-экспериментальных, математических и эмпирических моделей в управлении процессами и ресурсными потоками.

Таким образом, **целью** данной статьи является разработка имитационных моделей потоковых процессов в системах производства и сбыта металлоизделий для анализа их эффективности и надежности поставок как одной из характеристик качества обслуживания потребителей. Для достижения поставленной цели важна реализация следующих задач:

— разработка автоматной модели управления процессом обслуживания заказов при партионном методе организации производства продукции и ее модификаций для разных алгоритмов накопления партий заявок и стратегий управления запасами ресурса;

— разработка имитационной модели функционирования системы дистрибуции и ее системно-динамической версии в ППП «iThink», позволяющей оценить влияние параметров управления запасами и заказами на надежность и качество обслуживания потребителей, а также финансовое состояние производителя и торговых компаний;

— формирование комплекса дискретно-событийных моделей производственно-сбытовой деятельности на оперативном уровне для стратегий с разными точками привязки CODP, которые позволяют определить ее эффективность. Данные модели могут разрабатываться для каждой стратегии с учетом особенностей схемы продаж и подхода к управлению ресурсными потоками, или же могут совмещать сразу несколько стратегий на основе алгоритма распределения заказов между этими стратегиями. Применение моделей, предназначенных для отдельных стратегий, позволяет провести их сравнительный анализ для разных типов продукции (мелющих тел) и разных групп потребителей, и, в итоге, выбрать наилучшую стратегию. В комплексной модели, реализующей сразу несколько стратегий, существует возможность выявить дополнительный эффект от сочетания стратегий за счет наилучшего распределения потока заказов между ними.

Результаты. Анализ, планирование и контроль над сбытом и дистрибуцией продукции осуществляется на двух уровнях управления: верхний (стратегический и тактический) и нижний (оперативный и частично тактический). На первом уровне управления потребители разбиваются в группы приоритетных и неприоритетных. Заказы от субъектов первой группы рассматриваются персонафицировано или по подгруппам, тогда как заказы от субъектов второй группы объединяются в один общий заказ.

Изменения рыночных, экономических и организационно-технических условий вызывают колебания эффективности серийного производства мелющих тел, как при поточном, так и при партионном методах его организации (нередко противоположные колебания). Автоматная модель АТМ управления процессом обслуживания заявок при партионном методе его организации имеет модификации АТМ.1-АТМ.4. Эти модификации обладают следующими отличительными чертами:

— **АТМ.1** — формирование партии заявок по их количеству, независимо от объема каждой заявки; наличие переменной объема заявки в натуральном выражении и, соответственно, объема партии заявок для определения интервала времени ее обработки; отсутствие автомата изменения уровня запаса критического ресурса, который дополнительно ограничивает пропускную способность.

Переменная X_t^1 , отвечающая за формирование партии заявок (портфеля заказов), в модели АТМ.1 задается логическим уравнением вида:

$$X_t^1 = \begin{cases} x_t^1 & \text{if } X_{t-1}^1 \geq DOB^a(t) \\ X_{t-1}^1 + x_t^1, & \text{else} \end{cases},$$

т. е. после достижения порогового значения $DOB^a(t)$ начинает формироваться новая партия заявок (ПЗ), иначе новая заявка ($x_t^1 = 1$) включается в текущую ПЗ.

Автомат накопления и удержания текущей (невыполненной) партии заявок до момента ее запуска в «свободный» процесс (после окончания обработки предыдущей ПЗ) описывается переменной DOB_t^{nr} :

$$DOB_t^{nr} = \begin{cases} DOB_{t-1}^{nr} - DOB^a + \min\{DOB^a, BO_t\} & \text{if } (x_{t-1}^2 = 1 \wedge BO \geq 1) \\ DOB^a & \text{if } (x_{t-1}^2 = 0 \wedge DOB_{t-1}^{nr} \geq DOB^a) \\ X_t^1, & \text{else} \end{cases},$$

где BO_t — общее число заявок по сформированным, но не обработанным, партиям; x_t^2 — переменная запуска сформированной ПЗ в процесс выполнения:

— **АТМ.2** — используются дополнительные автоматы и переменные для учета объемов заявок и динамики объема ресурса, необходимого для их обслуживания;

— **АТМ.3** — накопление партии заявок до момента достижения общего по ней объема продукции до нужной величины с учетом блока управления запасами ресурса;

— **АТМ.4** — партии заявок накапливаются до момента достижения общего по ней объема продукции до нужной величины, но без превышения нормативного времени нахождения заявки в очереди, с учетом блока управления запасами ресурса.

Таким образом, модели АТМ.1–АТМ.4 позволяют обосновать пороговый размер накопления портфеля заказов, величину производственной мощности и параметры стратегии управления запасами, при которых достигается требуемый уровень надежности и качества продаж, что оценивается через средний срок выполнения заказов и отношение объема продукции по задолженностям к общему объему продаж. Кроме того, на основе данных моделей можно вычислить затраты на обеспечение рационального режима функционирования и прибыль от основной деятельности.

В имитационной модели процессов производства и сбыта продукции (**ИМТМ**) для верхнего уровня управления заложена гипотеза о том, что при росте спроса и образовании задолженностей перед потребителями по продажам продукции, система дистрибуции активизирует темп выполнения заказов, ограничивающим фактором которого выступает объем продукции в наличии (рис. 1).

Если нехватка продукции произошла на одном из распределительных складов, то ее устранение происходит посредством поставок от производителя или передачи продукции другими складами. Важно отметить, что передача продукции другими складами может осуществляться в системе дистрибуции только информационно без физического перемещения продукции на склад. В имитационной модели должен поддерживаться выбор источников восполнения запасов на локальных складах. Поставки продукции на эти склады могут осуществляться либо только от центрального склада, либо только от производителя, либо смешанно. Закупку продукции у производителя может осуществлять центральный склад, указывая локальный склад в качестве места доставки.

Сложность синхронизации системы дистрибуции с общим потоком заказов от потребителей заключается в определении способов и алгоритмов экономически целесообразного обмена продукцией между центральным и локальными складами, а также поставок от производителя. При таком обмене существует угроза переноса диспропорций с одного на другие склады и превышения затрат от увеличения числа и объемов внеплановых поставок над потерями от низкого уровня надежности обслуживания потребителей.



Рис. 1. Диаграмма причинно-следственных связей потоковых процессов в системе дистрибуции

Потоковая диаграмма модели функционирования системы дистрибуции (IMDS), входящей в общую модель IMTM, в терминах системной динамики представлена на рис. 2. Модель включает модули управления заказами от потребителей на центральном распределительном складе и управления заказами на локальных складах, стратегий управления запасами на центральном и локальных складах, стратегий восполнения запасов на локальных распределительных складах за счет запасов на центральном и выполнения заказов центрального за счет запасов на локальном. Дополнительными модулями для данной модели являются модули отгрузки и доставки продукции потребителям, а также модули учета затрат.

В табл. 1 представлено описание величин системно-динамической модели IMDS, определенных в ППП «iThink». Ниже приведена математическая формализация величин в модели IMDS без учета синтаксиса программных продуктов и языков программирования.

Текущие объемы продукции, требуемые для обслуживания заказов, поступивших на центральный склад от приоритетных и неперитетных потребителей, задаются соответственно уравнениями:

$$OB_t^i = OB_{t-\Delta t}^i + (OFC^i - FOC^i) * \Delta t \quad \forall i,$$

где OFC^i — объем заказов от потребителей i -й группы, поступивший за интервал времени Δt . При этом объем заказов от приоритетных потребителей K ($k = \overline{1, K}$) равен:

$$OFC_t^1 = \sum_{k=1}^K PO_{k,t}$$

где FOC^i — объем обслуженных заказов, поступивших от потребителей i -й группы за тот же интервал времени Δt ; $PO_{k,t}$ — объем заказа от k -го приоритетного потребителя:

$$PO_{k,t} = (\text{MOD}(\text{TIME}, PIO_{k,T})) \cdot PD_{k,t},$$

где MOD — оператор деления по модулю; TIME — текущее время; $PIO_{k,t}$ — интервал между двумя последовательными заказами от k -го потребителя; $PD_{k,t}$ — объем потребности в продукции, установленный в период времени t .

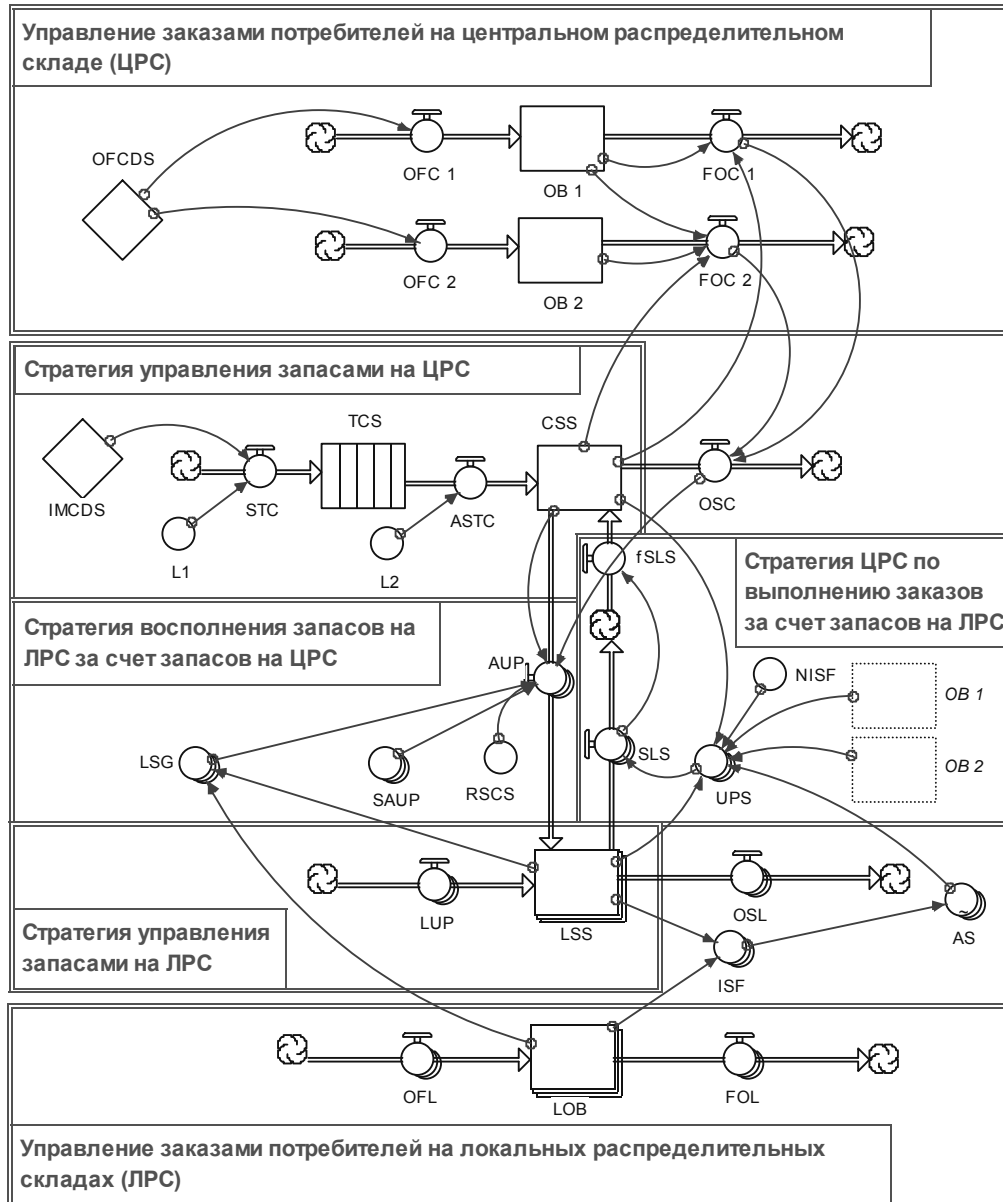


Рис. 2. Общая диаграмма системно-динамической версии модели IMDS

В компьютерной реализации (с помощью «iThink») системно-динамической версии модели IMDS (IMTM) множеству $\langle K \rangle$ потребителей соответствует массив [PriorCust_set]. Неприоритетные потребители рассматриваются в агрегированном планировании как один «агент»:

$$OFC_i^2 = NPO_i.$$

Параметры и переменные системно-динамической модели в ППП «iThink»

Величина [массив]	Описание	Формула / способ определения
SLS [LocalDC]	Поставки продукции с ЛРС на ЦРС	UPS [LocalDC]
UPS [LocalDC]	Объем продукции, выделяемый ЛРЦ для ЦРС	if (OB_1+OB_2)>= (CSS*NISF) then AS [LocalDC] * (LSS [LocalDC]) else 0
NISF	Параметр инициации выполнения заказов за счет запасов на ЛРС	Константа
AS [LocalDC]	Реакция на соотношение объемов продукции ЛРС к объему заказов	Graph (ISF [LocalDC])
ISF [LocalDC]	Соотношение объема запасов к объему заказов на ЛРС	if LOB [LocalDC]> 0 then (LSS [LocalDC]) / (LOB [LocalDC]) else 10
OB 1	Объем невыполненных приоритетных и неприоритетным заказов	OB_1 (t) = OB_1 (t-1) + (OFC_1 - FOC_1)*dt
OB 2		OB_2 (t) = OB_2 (t-1) + (OFC_2 - FOC_2)*dt
OFC 1	Поступления заказов приоритетных и неприоритетных потребителей	ARRAYSUM (PO [*])
OFC 2		NPO
PO [PriorCust_set]	Размер заказов от приоритетного потребителя	(MOD (TIME, PIO [PriorCust_set]))* (PD [PriorCust_set])
PIO [PriorCust_set]	Интервалы между заказами от приоритетного потребителя	Константа и случайная величина
PD [PriorCust_set]	Потребность в продукции у приоритетных потребителей	Graph (t)
NPO	Потребность в продукции в целом по группе неприоритетных потребителей	Graph (t)
SCS	Заказ производителю на поставку продукции на ЦРС	if CSS <= RP then CEOQ+OBRF* (OB_1+OB_2-CSS) else if mod (time, 12)=0 then max (0, MDI-CSS-OB_1-OB_2) else 0
MDI	Максимально желательный уровень запаса на ЦРС	Константа, динамический ряд
CEOQ	Размер заказа на закупку продукции	Константа, динамический ряд
OBRF	Кэф. реагирования на отклонение объема запасов от объема заказов	Константа, динамический ряд
PR	Пороговый уровень запасов на ЦРС	Константа, динамический ряд
STC	Объем продукции для отправки на ЦРС	delay (SCS, L1)
L1	Время обработки заказа и подготовки продукции к отправке	Константа, динамический ряд
TCS	Объем продукции «в пути» на ЦРС	TCS (t) = TCS (t - dt) + (STC - ASTC) * dt
ASTC	Объем доставленной продукции	TRANSIT TIME
FOC_1	Отгрузка продукции по приоритетным и неприоритетным заказам	min (CSS, OB_1)
FOC_2		min (max (0, CSS-OB_1), OB_2)
CSS	Объем запасов продукции на ЦРС	CSS (t) = CSS (t - dt) + (SLS [LocalDC] + ASTC - OSC - AUP [LocalDC]) * dt
OCS	Поставки потребителям с ЦРС	FOC_1+FOC_2
AUP [LocalDC]	Объем готовой продукции, отданной центральным складом локальному	if (CSS-OSC)> RSCS and LSG [LocalDC]> SAUP [LocalDC] then LSG [LocalDC] else 0
LSG [LocalDC]	Размер дефицита продукции на ЛРС	max (0, LOB [LocalDC] -LSS [LocalDC])
LOB [LocalDC]	Объем заказов на ЛРС	LOB [LocalDC] (t) = LOB [LocalDC] (t - dt) + (OFL [LocalDC] - FOL [LocalDC]) * dt
LSS [LocalDC]	Объем запасов продукции на ЛРС	LSS [LocalDC] (t) = LSS [LocalDC] (t - dt) + (LUP [LocalDC] + AUP [LocalDC] - OSL [LocalDC] - SLS [LocalDC]) * dt

Один из вариантов блока планирования потока заказов от потребителей на центральный склад изображен на рис. 3. а.

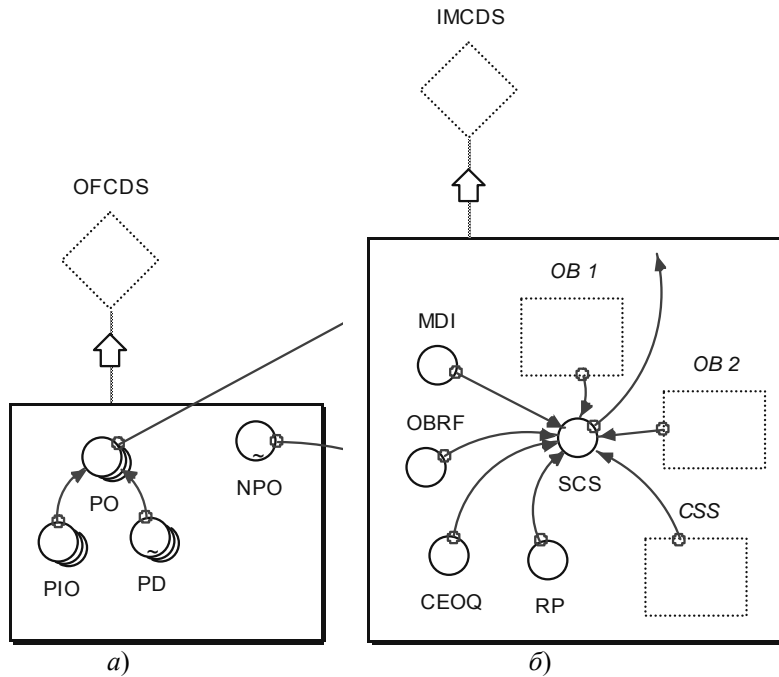


Рис. 3. Блоки планирования потока заказов от потребителей на центральный склад и расчета размера заказа производителю

Заказ производителю на поставку продукции центральному складу осуществляется в тот момент, когда объем запаса продукции на нем достиг или опустился ниже порогового уровня. Размер заказа производителю является экзогенной величиной — определяется на основе анализа эффективности закупочно-сбытовой деятельности. Но он может быть скорректирован прямо пропорционально разности между текущим объемом заказов от потребителей $((OB_t^1 + OB_t^2))$ и объемом запасов на складе CSS_t :

$$SCS_t = \begin{cases} CEOQ(t) + OBRF(t) \cdot (OB_t^1 + OB_t^2 - CSS_t) & \text{if } CSS_t \leq RP(t), \\ \max(0, MDI(t) - CSS_t - OB_t^1 - OB_t^2) & \text{if } MOD[TIME, OOU(t)] = 0, \\ 0, & \text{else,} \end{cases}$$

где $MDI(t)$ — максимально желательный уровень запаса продукции на центральном складе; $CEOQ(t)$ — экономически целесообразный размер заказа производителю на поставку продукции на центральный склад; $OBRF(t)$ — коэффициент реагирования на отклонения объема запасов на центральном складе от совокупного объема потребительских заказов; $PR(t)$ — пороговый уровень запасов на центральном складе.

Расчет размера заказа производителю SCS_t для пополнения запасов на центральном складе производится в блоке принятия решений $IMCDS$ системно-динамической модели $IMDS$ (рис.3. б). Для локальных складов размер заказа на закупку продукции у производителя $SLS_{j,t}$ может рассчитываться таким же способом с использованием аналогичных параметров $LMDI(t)$, $LEOQ(t)$, $LOBRF(t)$ и $LPR(t)$.

Объем продукции STC_t , подготовленный в период t для отправки на центральный склад, происходит с учетом временного лага L_1 — продолжительности обработки производителем заказа от центрального склада и подготовки продукции для поставки:

$$STC_t = SCS_t / L_1.$$

Объем продукции в пути на центральный распределительный склад:

$$TCS_t = TCS_{t-\Delta t} + (STC_t - ASTC_t / L_2) * \Delta t,$$

где $ASTC_t$ — количество продукции, доставленной на центральный склад; L_2 — срок доставки продукции на склад.

Объем отгрузки продукции в момент времени по приоритетным заказам ограничен объемом запасов продукции на центральном распределительном складе:

$$FOC_t^1 = \min(OB_t^1, CSS_t).$$

Количество продукции для отгрузки неприоритетным потребителям ограничено остатком продукции после выполнения заказов от приоритетных потребителей:

$$FOC_t^2 = \min\left[\max(0, CSS_t - OB_t^1), OB_t^2\right].$$

Темп потока продукции от локальных к центральному складу характеризуется величиной SLS , регулирование которого осуществляется в соответствии со стратегией UPS выполнения заказов за счет запасов локальных складов:

$$UPS_{j,t} = \begin{cases} AS_j \cdot LSS_{j,t} & \text{if } (OB_t^1 + OB_t^2) \geq CSS_t \cdot NISF, \\ 0, & \text{else,} \end{cases}$$

где $LSS_{j,t}$ — объем запаса продукции на j -м локальном складе в момент времени t ; OB_t^1 и OB_t^2 — объемы продукции по принятым центральным складом заказам по всем группам потребителей, соответственно; CSS_t — объем запасов на центральном распределительном складе; $NISF$ — параметр инициации выполнения заказов от потребителей за счет запасов в локальных распределительных складах, исходя из соотношения запасов CSS_t к объему заказов $(OB_t^1 + OB_t^2)$; AS_j — функция, отображающая реакцию системы дистрибуции на соотношение ISF :

$$ISF_{j,t} = \begin{cases} \frac{LSS_{j,t}}{LOB_{j,t}} & \text{if } LOB_{j,t} > 0, \\ 10, & \text{else,} \end{cases}$$

т. е. реакцию на соотношение объема продукции $LSS_{j,t}$ к объему заказов $LOB_{j,t}$ для выполнения заказов, поступивших на центральный склад.

При этом для включения в компьютерную модель в ППП «iThink» множества локальных складов $\langle J \rangle$ вводится массив [LocalDC]. Несмотря на то, что продукция может быть доставлена прямо потребителю, в модели соответствующий объем продукции включается в объем запасов центрального склада. Поэтому уравнение динамики запасов продукции на центральном складе имеет следующий вид:

$$CSS_t = CSS_{t-\Delta t} + \left(\sum_{j=1}^J SLS_{j,t} + ASTC_t - OSC_t - \sum_{j=1}^J AUP_{j,t} \right) * \Delta t,$$

где OSC_t — объем продукции, отправленной потребителям с центрального склада к моменту времени t :

$$OCS_t = FOC_t^1 + FOC_t^2;$$

$AUP_{j,t}$ — динамика предоставления продукции центральным складом j -му локальному складу для устранения задолженности последнего перед потребителями.

Для предоставления продукции локальному складу ($AUP_{j,t}$) требуется проверка условий на достаточное количество продукции на центральном складе и недопустимое образование нехватки продукции на локальном складе:

$$AUP_{j,t} = \begin{cases} LSG_{j,t} & \text{if } [(CSS_t - OSC_t) > RSCS(t)] \wedge LSG_{j,t} > SAUP(t), \\ 0, & \text{else,} \end{cases}$$

где $LSG_{j,t}$ — размер нехватки продукции для выполнения заказов; $RSCS(t)$ и $SAUP(t)$ — минимально допустимый размер остатков продукции на центральном складе и максимально допустимый размер задолженности на локальном складе, соответственно.

Следовательно, если на центральном складе объем запасов ниже требуемого для обеспечения им надежного удовлетворения спроса, или объем невыполненных локальным складом заказов не превышает нормативное значение, то центральный склад не предоставляет продукцию локальному, в противном случае — предоставляет.

Размер нехватки $LSG_{j,t}$ продукции для выполнения заказов:

$$LSG_{j,t} = \max(0, LOB_{j,t} - LSS_{j,t}),$$

где $LOB_{j,t}$ — объем продукции, требуемый для выполнения заказов; $LSS_{j,t}$ — запасы.

При этом в восполнении запасов $LSS_{j,t}$ задействованы как производитель, так и центральный склад (функции темпов $LUP_{j,t}$ и $AUP_{j,t}$, соответственно).

Таким образом, в модели **IMDS** проверяются параметры управления запасами $CEOQ(t)$, $LEOQ(t)$, $MDI(t)$, $LMDI(t)$, $RSCS(t)$, $PR(t)$, параметры управления заказами $NISF$, $SAUP(t)$, а также параметры соотношений запасов к заказам $OBRF(t)$, $LOBRF(t)$, AS_j , исходя из надежности выполнения заказов потребителей, поступающих на центральный и локальные склады. Кроме того, анализируется влияние временных параметров на деятельность распределительной сети.

Для производителей специальных металлоизделий и мелющих тел следует проверить целесообразность использования толкающего типа производственно-логистической системы, т. е. точек **DP1** и **DP2** — «продажи со склада производителя» и «производство на склад», соответственно. Авторская модификация дискретно-событийной модели производственно-сбытовой деятельности предприятия по типу «продажи со склада производителя» (модель **MDP1**) реализована в ППП «Arena» (рис. 4).

Основное внимание при разработке и применении моделей производственно-сбытовой деятельности должно быть уделено соответствию политике планирования производства. Для модели **MDP1** важно знать интервалы времени между запусками двух последовательных планов, а также плановые объемы производственного выпуска.

Для обеспечения равномерной загрузки производственных мощностей плановая интенсивность производства, период между двумя моментами начала реализации планов и объемы выпуска могут приниматься постоянными (или с небольшими отклонениями). Тогда в алгоритме реализации модели **MDP1** используются следующие модули: ProdPlan — генерирование заявок на производство продукции; Assign ProdQuant — модуль, в котором заявке на производство присваивается значение объема выпуска.

Поэтому в модуле процесса производства «Process Production» достаточно использовать время, необходимое на изготовление продукции в объеме, предусмотренном планом. Модуль разветвления сущностей «Output Record» используются для уче-

та числа выполненных планов и передачи изготовленной продукции под отгрузку потребителям. Для потока заказов в модуле «CustomerOrder» задаются период между двумя последовательными заказами и партия заказов, а в модуле «Assign CustOrders-Vol» — объем требуемой продукции для каждого заказа (переменная «VolumeCOrders»).

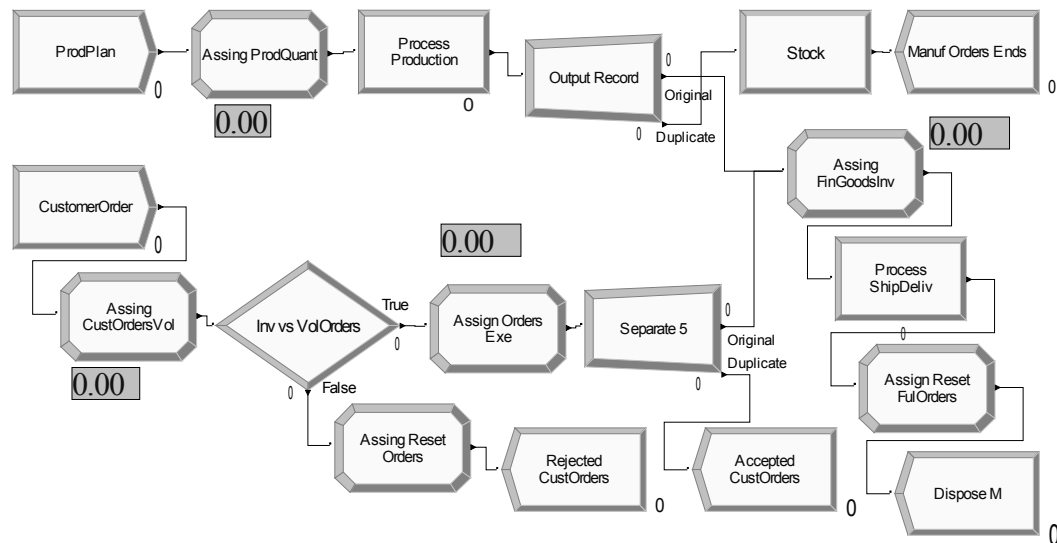


Рис. 4. Диаграмма дискретно-событийной модели производственно-сбытовой деятельности предприятия по типу «продажи со склада производителя» (MDP1)

Модель **MDP1** предназначена для проверки согласованности планирования производства ожидаемому потоку заказов во избежание случаев нехватки продукции для их выполнения. Поэтому для модели выбран тип системы без очередей, при этом частичное выполнение заказа исключено. Проверка достаточности запасов продукции для выполнения заказов происходит в модуле «Inv vs VolOrders».

3\$ BRANCH, 1:

If, Inventory >= VolumeCOrders + OrderAcc, 20\$, Yes:

Else, 21\$, Yes;

20\$ ASSIGN: Inv vs VolOrders. NumberOut True =
Inv vs VolOrders. NumberOut True + 1: NEXT (6\$);

21\$ ASSIGN: Inv vs VolOrders. NumberOut False =
Inv vs VolOrders. NumberOut False + 1

6\$ ASSIGN: OrderAcc = min (Inventory, VolumeCOrders)

где Inventory — объем запаса продукции на предприятии:

5\$ ASSIGN: Inventory = max (0, Inventory + VolumeProd – OrderAcc);

OrderAcc — объем продукции по уже исполняемым заказам, который в модуле «Assign Reset FullOrders» обнуляется после того, как продукция отгружена и объем запасов уменьшен на размер этой отгрузки (строка «5\$»).

В дискретно-событийной модели производственно-сбытовой деятельности предприятия (**MDP2**), диаграмма которой приведена на рис. 5, отличительной чертой является наличие модуля стратегии управления запасами.

Старт производства продукции для восполнения запасов продукции на складе осуществляется при снижении текущего уровня запасов (Inventory) до порогового уровня (Threshold). В модуле «CheckPeriod» задается периодичность проверки данного условия, которое записано в модуле «Inv vs Threshold».

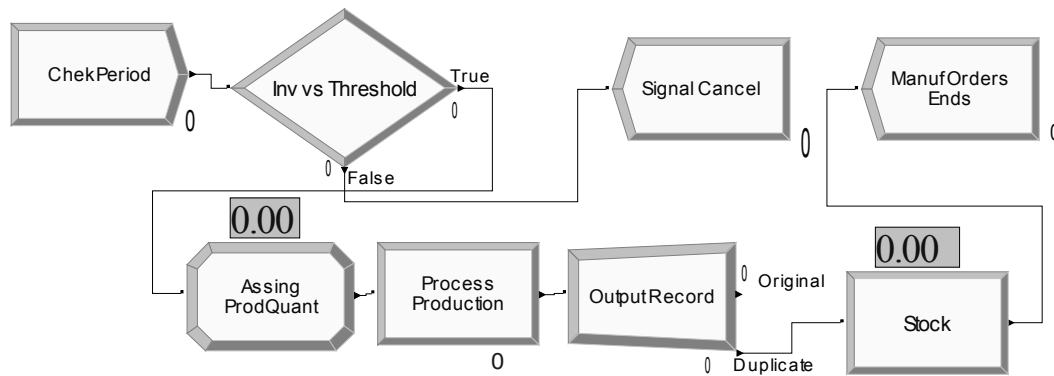


Рис. 5. Фрагмент диаграммы модели MDP2: «производство на склад» при снижении запасов до порогового уровня

Другие модификации модели MDP учитывают позицию точки DP, особенности механизма планирования, технологические карты производства и структуру потоков с контрагентами, а также алгоритмы взаимодействия с ними.

Вывод. Таким образом, имитационные модели позволяют проверить адекватность установленных параметров управления потоками ресурсов и работ в системах производства и сбыта для сложившихся экономических ситуаций на предприятиях в межфирменной сети, обосновать градацию их значений, исходя из ключевых критериев эффективности поставок и основной деятельности, сформировать резервы финансовых и материальных ресурсов для предотвращения сбоев в поставках.

Литература

1. Бакаев А. А. Автоматные модели экономических систем / А. А. Бакаев, Н. И. Костина, Н. В. Яровицкий. — К. : Наукова думка, 1970. — 192 с.
2. Балахнина Е. Е, Тенденции развития оборудования для тонкого измельчения горных пород / Е. Е. Балахнина, Ю. В. Дмитрак, Н. Н. Сычев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2006. — № 1. — С. 282–286.
3. Берулава Г. В. Влияние доверия на формы организации транзакций между промышленными фирмами и их дистрибьюторами / Г. В. Берулава, Д. Т. Лежава. — М. : EERC, 2007. — 54 с.
4. Букреев А. М. Экономический механизм антикризисного управления предприятием [Текст] : монография / А. М. Букреев, К. И. Кремер, О. Е. Дударев. — Воронеж : Научная книга, 2007. — 232 с.
5. Герасимчук В. Г. Маркетинг. Теорія і практика / В. Г. Герасимчук. — К. : Вища школа, 1994. — 328 с.
6. Доценко Н. П. Особенности потребления чугуновых мелющих тел железорудными предприятиями России / Н. П. Доценко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2008. — №8. — С. 385–387.
7. Копченев А. А. Маркетинг продукции производственно-технологического назначения: коммуникативные аспекты / А. А. Копченев. — Екатеринбург : УрГЭУ, 2004. — 160 с.
8. Косачев Ю. В. Экономико-математические модели эффективности финансово-промышленных структур / Ю. В. Косачев. — М. : Логос, 2004. — 248 с.
9. Кравченко В. Н. Модель функционирования розничного торгового предприятия на основе имитации поведения покупателей / В. Н. Кравченко, Д. А. Мельничук // Экономическая кибернетика: международ. науч. ж-л. — Донецк : ДонНУ, 2008. — № 3–4 (51–52). — С. 66–75.
10. Куш С. П. Маркетинговые аспекты развития межфирменных сетей: российский опыт / С. П. Куш, А. А. Афанасьев // Российский журнал менеджмента. — 2004. — № 1. — Т. 2. — С. 33–52.

11. Лысенко А. Ю. Анализ состояния рынка мелющих тел в Украине / А. Ю. Лысенко // *Економіст*. — Київ, 2009. — № 7. — С. 52–54.
12. Лысенко Ю. Г. Экономика и кибернетика предприятия: Современные инструменты управления : монография / Ю. Г. Лысенко. — Донецк : Юго-Восток, 2006. — 356 с.
13. Мищенко А. В. Методы управления ограниченными ресурсами в логистике / А. В. Мищенко. — М. : Инфра-М, 2011. — 184 с.
14. Никишкин В. В. Современные тенденции дистрибуции [Электронный ресурс] / В. В. Никишкин // *Управление каналами дистрибуции*. — 2007. — № 4. — Режим доступа: <http://www.grebennikov.ru/>.
15. Петруня Ю. Є. Маркетинг : навч. посіб. / Ю. Є. Петруня. — К. : Знання, 2007. — 325 с.
16. Попов С. Стратегические альянсы — дорога в будущее / С. Попов, И. Поповкин // *Нефть России*. — 2000. — № 5. — С. 15–21.
17. Поспелов А. М. Концептуальные основы формирования ресурсной стратегии промышленного предприятия / Поспелов А. М. // *БизнесИнформ*. — 2007. — № 8. — С. 89–92.
18. Сиваченко Л. А. Технологическое машиностроение — стратегический резерв развития промышленности Беларуси / Л. А. Сиваченко // *Вестник Белорусско-Российского университета*. — 2011. — № 3 (32). — С. 126–130.
19. Ткаченко А. М. Антикризове управління як засіб подолання кризових явищ на підприємствах машинобудування / А. М. Ткаченко // *Вісник Нац. техн. ун-ту «Харківський політехнічний інститут»*. — 2009. — № 38. — С. 3–12.
20. Толуев Ю. И. Имитационное моделирование логистических сетей / Ю. И. Толуев // *Логистика и управление цепями поставок*. — 2008. — № 2 (25). — С. 53–63.
21. Уотерс Д. Логистика. Управление цепью поставок / Д. Уотерс. — М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. — 503 с.
22. Almeder C. Simulation and optimization of supply chains: alternative or complementary approaches? / Christian Almeder, Margaretha Preusser and Richard F. Hartl // *OR SPECTRUM*. — 2009. — Vol. 31, № 1. — pp. 95–119.
23. Gooding G. Application of combined discrete-event simulation and optimization models in semiconductor enterprise manufacturing systems / G. Gooding, K. Kempf // *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*. — 2007. — Pp. 1729–1736.
24. Kleijnen J. P. C. Supply chain simulation tools and techniques: a survey / J. P. C. Kleijnen // *Int. J. of Simulation and Process Modelling*. — 2005. — Vol. 1. — Pp. 82–89.
25. Labitzke N. Applying decision-oriented accounting principles for the simulation-based design of logistics systems in production / Niklas Labitzke, Thomas S. Spengler, Thomas Volling // *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*. — p. 2496–2508.
26. Otto A. Does supply chain management really pay? Six perspectives to measure the performance of managing a supply chain / A. Otto, H. Kotzab // *European Journal of Operational Research*. — 2003. — Vol. 144. — Pp. 306–320.
27. Schneeweiss C. Hierarchical structures in organizations: A conceptual framework / C. Schneeweiss // *European Journal of Operational Research*. — 1995. — Vol. 86. — Pp. 4–31.
28. Vorst, van der J. G. A. J. A Simulation environment for the redesign of food supply chain networks: modeling quality controlled logistics / Jack G. A. J. van der Vorst, Seth Tromp, Durk-Jouke van der Zee // *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*. — Pp. 1658–1667.
29. Vorst, van der J. G. A. J. Innovations in logistics and ICT in food supply chain networks / Vorst, van der J. G. A. J., A. J. M. Beulens and P. Van Beek // *Innovations in Agri-Food Systems*; Eds. V. M. F. Jongen & M. T. G. Meulenberg. — Wageningen Academic Publishers, 2005. — p. 245–292.
30. Wang N. Multi-scale spatial modeling for logistics system reliability evaluations / Ni Wang, Jye-Chyi Lu and Paul Kvam // Online access: <http://www.cpbis.gatech.edu/research/findings/multiscale%20spatial%20modeling%20for%20logistics%20systems%20reliability.pdf>.