

**ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В  
ПРЕДПРОЕКТНОЙ ОЦЕНКЕ ВАРИАНТА РАЗМЕЩЕНИЯ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ПРОДУКЦИИ  
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

**А. А. Кайгородцев, А. Н. Рахмангулов (Магнитогорск)**

Динамичное развитие торговых отношений в России за последнее десятилетие обуславливает внедрение логистических технологий в процесс доставки грузов. Обеспечение качественного логистического сервиса для продвижения продукции промышленного предприятия на рынок и оптимизация транспортно-складских затрат по доставке готовой продукции потребителям возможны путем реализации стратегии организации сети распределительно-сервисных центров (РЦ) – мультимодальных терминально-логистических комплексов с развитой транспортной инфраструктурой и унификацией логистических процедур. Обладая широкой функциональностью, РЦ позволяет концентрировать входящие грузопотоки и эффективно их перерабатывать с использованием высокопроизводительной техники и автоматизированных технологий. Расширение использования РЦ в логистических цепочках позволяет существенно сократить логистические издержки (до 10–15%), сократить время доставки грузов потребителям (на 10–20%) и потери грузов (5–10%) в условиях значительных колебаний параметров грузопотоков не только в результате повышения качества продвижения и переработки грузопотоков, но и в результате стимулирования внедрения гибких систем управления запасами на складах промышленных и торговых предприятий-поставщиков и потребителей грузопотоков (снижение совокупных складских запасов на 30–40%). Однако неправильный выбор мест размещения РЦ может привести к неоправданным инвестиционным издержкам (капитальным затратам), а также существенно снизить эффективность функционирования сбытовой логистической системы (эксплуатационные затраты).

Функционирующая в реальных экономических условиях сбытовая логистическая система формирует свою структуру в зависимости от множества факторов, среди которых можно выделить:

- уровень спроса на региональных рынках,
- производственные возможности поставщиков,
- инфраструктурные ограничения (пропускная способность и вместимость складов, наличие подъездных путей и т.п.),
- ценовая политика поставщиков, арендодателей (в случае аренды складских площадок), транспортных компаний и других субъектов рынка,
- другие факторы внешней среды, воздействующие на компанию.

Сложность принятия управленческих решений, связанных с развитием филиально-складской сети в реальной, нелинейно функционирующей внешней среде, обоснована необходимостью учета:

- огромного количества параметров, внешних факторов (формируют критерии оценки, некоторые из которых представлены выше);
- сложных причинно-следственных связей между событиями (изменение цен, спроса и др.);
- стохастического (вероятностного) характера событий (поломки оборудования, простои, конъюнктурные колебания и др.).

Накопленный практический опыт применения имитационного моделирования в проектировании и исследовании логистических систем позволяет судить о высокой эффективности данного подхода при принятии решений, учитывающих множество параметров сбытовой логистической системы и воздействующих на нее факторов, а также

нелинейность, неравномерность процессов ее функционирования. Современные же средства, позволяющие строить имитационные модели, дают возможность достаточно легко создать несложную модель, с помощью которой анализируются различные варианты функционирования сбытовой логистической системы.

Разработанная авторами имитационная модель доставки готовой продукции промышленного предприятия до потребителей (на примере ОАО «ММК») представляет собой дискретно-событийную модель, описывающую в стиле потоковых диаграмм процессы, имеющие место в случае различных вариантов организации сбытовой цепочки предприятия. Для построения необходимой модели использовалась библиотека Enterprise Library пакета имитационного моделирования AnyLogic 5.4.

С помощью представленной модели предполагалось оценить результаты функционирования 2-х вариантов доставки готовой продукции до потребителей ОАО «ММК» в Уральском регионе: с использованием распределительного центра с возможным расположением в окрестностях города Екатеринбург и без использования такового, исходя из критериев пропускной способности и затрат на функционирование логистической системы. Для этого из элементов библиотеки Enterprise Library, имеющейся в инструментарии AnyLogic, построены потоковые диаграммы, задающие структуру моделируемой логистической системы (рис. 1, 2).

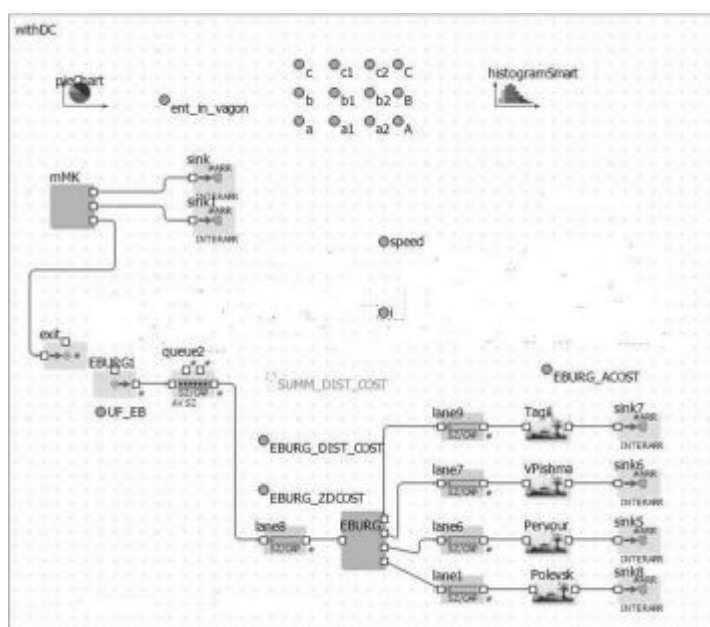


Рис. 1. Потоквая диаграмма варианта модели с использованием распределительного центра

Источником заявок (в данной модели под заявкой понимается грузовая единица: пачка, вагон, поезд и т.п.) в обоих вариантах модели выступает активный объект ММК, в котором, по определенному закону распределения, генерируется поток условной готовой продукции, формируются вагонные партии и поезда назначением в распределительный центр. Заявки продвигаются в первом варианте до активного объекта EBURG, в котором происходит их накопление, формирование грузовых партий и отправка потребителям в автотранспорте, во втором варианте заявки отправляются непосредственно от производителя потребителю.

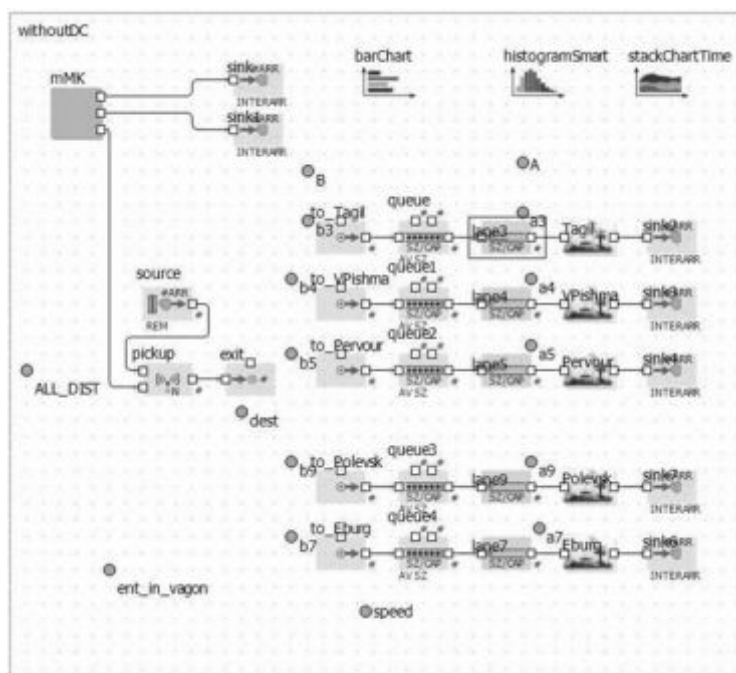


Рис. 2. Потокковая диаграмма варианта модели без использования распределительного центра

В модели используется ряд параметров, переменных и функций, задающих характеристики исходящего грузопотока, транспортной сети и перерабатывающих объектов (таблица). Количество параметров, переменных и функций, задающих характеристики моделируемого объекта (логистической цепочки), зависит от степени детализации (сложности) модели, а также требуемых «выходных» показателей, формирующих оценку эффективности реализации того или иного варианта проектирования.

#### Параметры, переменные, функции и действия, выполняемые в блоках Enterprise Library модели доставки готовой продукции с РЦ и без РЦ

Активный объект	Объект Enterprise Library	Параметр, переменная, функция	Описание	
ММК	source	$i$	Переменная, определяющая интенсивность производства готовой продукции предприятием в единицу модельного времени	
		$exponential(i)$	Функция распределения значений переменной $i$	
		$year\_prod$	Параметр, задающий объем годового производства предприятия	
			$mass$	Параметр – масса грузовой единицы – заявки, генерируемой объектом source
	toVagon	$l3$	Параметр, задающий размер партии при формировании из заявок «5 тонн» заявки «вагон», целое число	
	selectOutput	$export$	Параметр, задающий долю экспорта в общем объеме производства, доля ед.	
		$uniform()$	Функция распределения, по которой происходит «выбор» направления последующего движения заявки «вагон»: на внутренний рынок, либо на экспорт (равномерное распределение)	
$a, b, c$		Переменные, ведущие подсчет количества тонн, вагонов, поездов, отправленных на экспорт		

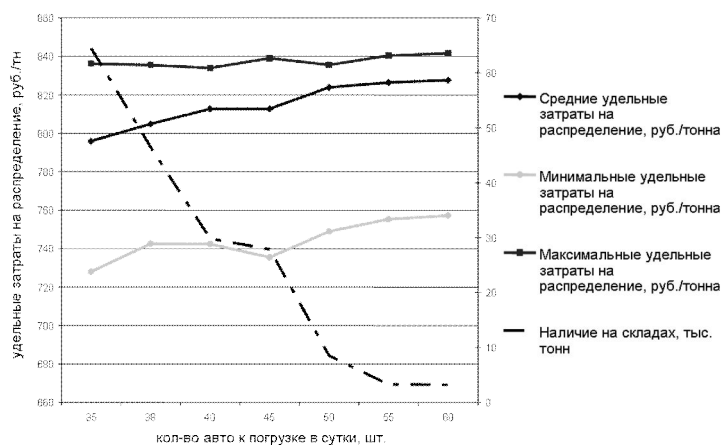
Активный объект	Объект Enterprise Library	Параметр, переменная, функция	Описание	
ММК	toTrain	<i>onEnter</i>	Функция генерации размера «формируемого» маршрутного поезда. Длина состава определяется по треугольному распределению с min, middle и max, равными 41, 43, 45	
	selectOutput2	<i>ural</i>	Переменная, рассчитывающая долю Уральского региона (окрестности Е-бурга) в общем объеме поставок на внутренний рынок	
		<i>Ural</i>	Параметр, задающий долю Уральского региона (окрестности Е-бурга) в общем объеме производства	
	selectOutput2	<i>uniform()</i>	Функция распределения, по которой происходит «выбор» направления последующего движения заявки «поезд»: в Уральский регион, либо на остальной внутренний рынок (равномерное распределение)	
		<i>a1, b1, c1</i>	Переменные, ведущие подсчет количества тонн, вагонов, поездов, отправленных на внутренний рынок	
<i>vagon</i>		Параметр, задающий грузоподъемность вагона		
withDC	exit	<i>UF_EB</i>	Переменная, принимающая значение из диапазона от 1 до 100, для разбиения потока заявок на заданные направления в зависимости от доли заданного направления в общем объеме заявок	
	lane8	<i>speed</i>	Переменная, ведущая расчет модельной скорости заявки, движущейся по направлению к распределительному центру	
		<i>Speed</i>	Параметр, задающий скорость движения маршрутного поезда на участке М-горск – Е-бург (норма суточного пробега)	
		<i>EBURG_ZDCOST</i>	Переменная для расчета затрат на доставку до РЦ железнодорожным транспортом	
		<i>vagon</i>	Параметр, задающий грузоподъемность вагона	
		<i>a2, b2, c2</i>	Переменные, ведущие подсчет тонн, вагонов, поездов в дороге по направлению к РЦ	
		<i>length</i>	Длина участка М-горск – Е-бург	
	lane9, 7, 6, 1	<i>avto_speed</i>	Параметр, задающий среднюю скорость грузового автомобиля	
		<i>length</i>	Длина участков от Е-бурга до пунктов назначения	
	EBURG	train_front	queue5	<i>capacity</i>
<i>D</i>				Переменная, считающая кол-во груза (тонн), поступившего в РЦ
delay			<i>delay Time</i>	Переменная, отвечающая за расчет времени задержки заявки в объекте на переработку, т.е. времени выгрузки вагонов прибывшего в РЦ поезда
			<i>unload_norm</i>	Параметр. Норма разгрузки вагона на фронте, мин
warehouse		queue1	<i>capacity1</i>	Параметр. Вместимость складской площадки «по прибытию», тонн
			delay	<i>delay Time</i>
		<i>prod_time</i>		Переменная, рассчитывающая производительность РЦ по переработке в единицу модельного времени (секунда)
		<i>productivity</i>		Параметр, определяющий годовую перерабатывающую способность РЦ, тонн

Активный объект	Объект Enterprise Library	Параметр, переменная, функция	Описание
EBURG	warehouse	batchQI <i>onEnter</i>	Функция генерации размера «формируемой» автомобильной партии. Размер партии определяется по треугольному распределению и зависит от <i>min</i> , <i>middle</i> и <i>max</i> величин партии, равных <i>q_min</i> и т.д.
		<i>q_min, q_mid, q_max</i>	Переменные, определяющие размер партии (заявок в партии) в зависимости от грузоподъемности автомобиля
		<i>qmin, qmid, qmax</i>	Параметры, задающие минимальную, среднюю и максимальную грузоподъемность автомобилей
		queue <i>total</i>	Переменная, пересчитывающая кол-во груза на складских площадках в текущий момент времени
		<i>DIST_COST</i>	Переменная, ведущая подсчет затрат на переработку груза в РЦ
		<i>dist_cost</i>	Параметр. Затраты на переработку одной тонны груза, руб./т
	source	<i>interarrival Time</i>	Генерация заявок – автомобилей по выбранному закону распределения
		<i>q</i>	Параметр – кол-во автомобилей к погрузке в сутки
	pickup	<i>dest</i>	Переменная, принимающая значение из диапазона от 1 до 100, для разбиения потока заявок на заданные направления в зависимости от доли заданного направления в общем объеме заявок
		<i>onPickup</i>	Действие, выполняемое при объединении заявки «автомобиль» с заявкой «партия». Т.е. происходит выбор дальнейшего направления движения заявки в зависимости от долей заданных направлений в общем объеме заявок.
port (пункт назначения)	queue1	<i>acost</i>	Переменная. Затраты на доставку автотранспортом
		<i>distance</i>	Параметр, задающий расстояние от РЦ до пунктов назначения
		<i>avto_cost</i>	Параметр, задающий среднюю стоимость километра пробега грузового автомобиля

В модель авторами заложена возможность сбора и анализа статистических данных об изменении значения итоговой переменной «удельные затраты на распределение» (*EBURG\_DIST\_COST*). С помощью встроенного в AnyLogic средства (Business Graphics Library) фиксируется, с определенным шагом, текущее значение переменной (ползунок на гистограмме со значением шага – 20 000 секунд), строится гистограмма распределения этого значения, подсчитывается среднее значение переменной и отклонение от среднего, а также фиксируется минимальное и максимальное значение.

Зависимости, построенные по результатам экспериментов с моделью (имеющие линейный вид в аналитических моделях), показывают, что удельные затраты на распределение имеют существенную (прямую или обратную) связь с параметрами, изменяемыми во время экспериментов с имитационной моделью: стоимость переработки в РЦ, грузоподъемность автомобилей, количество автомобилей к погрузке в сутки. Однако «стохастика», введенная в модель, приводит к нелинейным изменениям результирующих переменных (удельные затраты на распределение, текущий складской запас), что позволяет предсказывать ситуации, связанные с неравномерностью, ритмичностью, периодичностью и другими свойствами материального потока.

Например, моделирование при варьировании параметра, определяющего количество автомобилей, поставляемых под погрузку в сутки (*EBURG.source.q*), показало, что (рис. 3):



**Рис. 3. Динамика изменения удельных затрат на распределение и текущего наличия на складах РЦ при варьировании параметра «количество авто к погрузке в сутки»**

– при увеличении количества автомобилей, поставляемых под погрузку в сутки, происходит плавное увеличение средних удельных затрат на распределение;

– снижается текущий складской запас, что, при введении в модель такого параметра, как «затраты на хранение» (в данной модели не учитывался), повлияет на значение удельных затрат на распределение в сторону снижения;

– количество автомобилей к погрузке в сутки, применительно к заданным условиям, следует принимать из диапазона 38–45 единиц, что позволит обеспечить вывоз продукции из РЦ без его переполнения (с учетом неравномерности подачи авто под погрузку), сохранить текущий запас на уровне 30 тыс. тонн, затрачивая при этом на распределение около 810–820 руб./тонна.

Резюмируя сказанное, можно отметить, что используемые в настоящее время аналитические расчёты достаточно хорошо применимы для краткосрочного (оперативного) планирования, однако не способны учесть ни динамику развития событий, ни стохастическую составляющую, не обеспечивают необходимую точность прогнозов развития таких систем. В рамках стратегического развития логистической (сбытовой) системы промышленного предприятия актуальными являются вопросы выбора мест размещения складских площадок и распределительных центров, их количества, производительности; в рамках принятия тактических решений – управление запасами. Применение имитационного моделирования дает существенное повышение эффективности результатов решения этих задач.

### Литература

1. **Рахмангулов А. Н., Кайгородцев А. А.** Метод оценки вариантов размещения распределительного центра при создании логистической системы // Сб. материалов шестой всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы экономических наук». Новосибирск, 2009.
2. **Борщев А., Попков Т.** ООО «Экс Джей Текнолоджис» ([www.xjtek.ru](http://www.xjtek.ru)). Мировой опыт оценки стратегических решений и рисков при управлении транспортно-логистической инфраструктурой.