

Новыми корпусами
Бредила техника фабрик,
Повелевал небесами
Разум разведчиков храбрых,
И до соседней планеты
Въявь намечались полеты.
... Но почему-то и где-то
Щелкали старые счеты.

Тихо и вяло считали,
Меряли старым аршином,
И не хватало деталей
К самым простейшим машинам,
И становилось вдруг пусто
В складах огромных. И кисло
Где-то воняла капуста
Та, что сгноили без смысла.

Л. Мартынов. Старые счеты

Оглавление

Предисловие	12
Введение	14
1 Предмет и состояние логистики	19
1.1. Понятие о логистике	19
1.2. История логистики	20
1.3. Аппарат логистики	24
1.4. Математика и логистика	26
1.5. Как обучать логистике	27
2 Элементы модели управления запасами	28
2.1. Проблемы с запасами	28
2.2. Модель управления запасами и ее элементы	32
2.3. Из истории теории запасов	35
2.4. Классификация моделей УЗ	45
2.5. Выбор варианта модели	53
Контрольные вопросы	65
3 Экономические параметры модели	66
3.1. Экономика снабжения	66
3.2. Транспортные расходы	68
3.3. Расчет стоимости хранения	69
3.4. Стоимость поставки	75
3.5. Определение величины штрафа	78
Контрольные вопросы	81
4 Элементы теории вероятностей и теории очередей	82
4.1. Основные понятия теории распределений	82
4.1.1. Определения	82
4.1.2. Числовые характеристики	83

4.1.3.	Показательное распределение	84
4.2.	Аппроксимация распределений	85
4.3.	Типовые распределения	87
4.3.1.	Распределения фазового типа	87
4.3.2.	Гамма-распределение	89
4.3.3.	Распределение Вейбулла	90
4.3.4.	Дискретные распределения	90
4.4.	Преобразования распределений	92
4.5.	Задачи теории очередей	93
4.6.	Поток заявок	94
4.6.1.	Основные определения	94
4.6.2.	Число событий на фиксированном интервале	95
4.6.3.	Число событий на случайном интервале	96
4.6.4.	Случайное прореживание потоков	98
4.6.5.	Регулярное прореживание потоков	98
4.6.6.	Суммирование потоков	99
4.7.	Процесс обслуживания	100
4.8.	Организация и продвижение очереди	101
4.9.	Классификация и обозначение систем обслуживания	102
4.10.	Показатели эффективности	102
4.11.	Законы сохранения теории очередей	104
4.12.	Расчет марковских систем по законам сохранения	108
4.13.	Система $M/G/1$	109
4.14.	Многоканальные системы с фазовыми распределениями	110
4.14.1.	Многофазное представление сложных СМО	110
4.14.2.	Уравнения глобального баланса	112
4.14.3.	Итерационный метод	113
4.15.	Сети обслуживания	117
4.15.1.	Определения и допущения	117
4.15.2.	Разомкнутая сеть с однородным потоком	120
4.15.3.	Расчет сети с неоднородными потоками	121
4.15.4.	Замкнутая сеть	122
4.16.	Интегральные характеристики сети	123
4.16.1.	Среднее время пребывания	123
4.16.2.	Высшие моменты распределения времени пребывания	123
4.16.3.	Числовые результаты расчета разомкнутой сети	125
4.17.	Пакет МОСТ по расчету систем с очередями	127
4.17.1.	История ППП для расчета систем обслуживания	129
4.17.2.	«Персональный» МОСТ	130
4.17.3.	Профессиональная версия МОСТа	130

4.17.4. МОСТ/А — для «чайников»	132
Контрольные вопросы	132
5 Прогнозирование данных	134
5.1. Проблемы прогнозирования	134
5.2. Характеристики временных рядов	135
5.3. Метод скользящей средней	137
5.4. Экспоненциальное сглаживание	138
5.5. Аналитическое выравнивание	138
5.6. Определение качества прогноза	139
5.7. Корреляция	140
Контрольные вопросы	140
6 Однопродуктовые модели	141
6.1. Детерминированный спрос	141
6.1.1. Общий случай	141
6.1.2. Предельные варианты	143
6.1.3. Ошибки в параметрах и функция затрат	145
6.1.4. Зависимые параметры	147
6.1.5. Альтернативные поставщики	151
6.2. Хранение продукта при естественной убыли	152
6.3. Стареющий продукт	155
6.4. Объем заказа с учетом инфляции	156
6.5. Детерминированный нестационарный спрос	160
6.5.1. Постановка задачи	160
6.5.2. Динамическое программирование как метод решения	160
6.6. Случайный спрос, периодическая стратегия	164
6.6.1. Непрерывно распределенный спрос	164
6.6.2. Дискретный спрос	169
6.6.3. «Импульсные» расходы	170
6.6.4. Штраф по вероятности дефицита	172
6.6.5. Штраф по времени дефицита	173
6.6.6. Многопериодные обобщения	175
6.7. Учет погрешностей в параметрах	176
6.7.1. Погрешности стоимостных параметров	176
6.7.2. Незвестная интенсивность спроса	178
6.7.3. Робастная оптимизация	181
6.7.4. «Нечеткие» данные	181
6.8. Расчет пороговых стратегий	182
6.8.1. Модель без переноса дефицита	183
6.8.2. Модель с переносом дефицита	184

6.8.3.	Показательно распределенный спрос	185
6.8.4.	Гамма-распределенная задержка	185
6.8.5.	Две модели с очередями	186
6.9.	Комбинированные стратегии	186
	Контрольные вопросы	187
7	Многономенклатурные задачи	188
7.1.	Классификация номенклатур	188
7.2.	Детерминированный спрос	192
7.3.	Взаимозаменяемые продукты	203
7.4.	Планирование запасов при ограничениях	206
7.5.	Периодические поставки, вероятностный спрос	208
7.5.1.	Заданная периодичность	208
7.5.2.	Выбираемая периодичность	211
7.6.	Зонная стратегия	213
7.6.1.	Показательно распределенный спрос	215
7.6.2.	Дискретно распределенный спрос	215
	Контрольные вопросы	217
8	Системы снабжения	218
8.1.	Общие положения	218
8.2.	Факты и тенденции	220
8.3.	Специфика спроса в иерархии	225
8.3.1.	Особенности генерации заявок	225
8.3.2.	Составной пуассоновский поток	227
8.4.	Стратегии, отличные от $(S - 1, S)$	230
8.5.	Показатели эффективности	232
8.6.	Задержки	233
8.7.	Детерминированный спрос	235
8.8.	Синтез системы при детерминированном спросе	241
8.9.	Децентрализованная система при вероятностном спросе	246
8.9.1.	Однородный запас	248
8.9.2.	Многономенклатурный запас	254
8.10.	Линейные многокаскадные системы снабжения	258
8.10.1.	Особенности многокаскадных систем	258
8.10.2.	Базовая линейная модель	259
8.10.3.	Дальнейшие обобщения	262
8.11.	Введение в пирамидальные системы	264
8.12.	АСУ снабжением: опыт и проблемы	265
	Контрольные вопросы	268

9	Снабжение запасными частями	269
9.1.	Специфика проблемы	269
9.2.	Понятие о реверсивной логистике	274
9.3.	Системы обеспечения запчастями	276
9.3.1.	Структура систем	276
9.3.2.	Организация поставок	278
9.3.3.	Организация ремонта	281
9.4.	Экономические параметры	285
9.5.	Спрос на запчасти	289
9.5.1.	Общие соображения	289
9.5.2.	Распределение спроса для резервированных систем	293
9.6.	Расчет распределения времени ремонта	296
9.6.1.	О распределении длительности диагностики	297
9.6.2.	Учет организации рабочего цикла	299
9.7.	Политика заказов и процедуры управления	303
9.8.	Параметры моделей	304
9.9.	Общепромышленный опыт	305
9.10.	Военные системы снабжения	306
9.11.	Проблема штрафов для военных систем	308
9.11.1.	Авиация	309
9.11.2.	Ракетные комплексы	311
	Контрольные вопросы	316
10	Оптимизация систем обеспечения запчастями	317
10.1.	Задача о рюкзаке	317
10.1.1.	Постановка задачи	317
10.1.2.	Основная расчетная схема	322
10.1.3.	Ограничения и обобщения метода	323
10.1.4.	Варианты задачи о рюкзаке	325
10.2.	«Рюкзак» и двухуровневая система	326
10.3.	Лагранжевы методы для систем снабжения	328
10.3.1.	Постановка задачи для двухуровневой системы	328
10.3.2.	Процедура Фокса и Лэнди	329
10.3.3.	Половинное деление	330
10.3.4.	Метод Мукштадта	331
10.4.	Сатисфакционный подход	333
	Контрольные вопросы	336

11 Локальная задача о восстанавливаемом ЗИПе	337
11.1. Предварительные соображения	337
11.2. Основная модель	340
11.2.1. Общий случай	340
11.2.2. Однолинейная марковская система	341
11.2.3. Многолинейная марковская система	343
11.3. Учет дополнительных задержек	344
11.4. Восстановление в сети	345
11.5. Минимизация затрат за время эксплуатации	345
11.6. Порог включения и разогрев	346
11.6.1. Вложенная цепь Маркова	347
11.6.2. Переход к стационарным вероятностям	347
11.6.3. Распределение времени пребывания	349
11.7. Замкнутая система восстановления	351
11.7.1. Расчет вложенной цепи Маркова	352
11.7.2. Расчет стационарных вероятностей	352
11.7.3. Вероятности перехода	353
11.7.4. Многоканальная замкнутая система	356
11.8. Система M/G/1 со случайного объема пачками заявок	356
11.8.1. Трудоемкость пачки	357
11.8.2. Распределения числа пачек и времени ожидания	357
11.8.3. Задержки внутри пачки	358
11.8.4. Распределение числа заявок в системе	358
11.9. Многоканальная система с групповым прибытием заявок	360
11.9.1. Дополнительные задержки в пачках	361
11.9.2. Итерационный метод для модели $M^X/H_2/n$	361
11.9.3. Начальные приближения	363
11.9.4. Вероятности состояний	364
11.9.5. Результаты расчета	364
11.9.6. Распределение пачек и их задержек	366
11.10. Учет погрешности исходных данных	368
11.10.1. Однолинейная система со штрафом по вероятности дефицита	370
11.10.2. Однолинейная система со штрафом по ожидаемому дефициту	370
11.10.3. Многоканальные марковские системы	371
11.10.4. Пример	371
11.10.5. Интервальная оценка частных параметров	373
11.11. Многономенклатурная задача	374
11.11.1. Общая цель	374

11.11.2. Общее восстановление	376
11.12. Частично восстанавливаемый ЗИП	377
11.13. Система с «каннибализмом» и ее атрибуты	379
11.13.1. Введение в проблему	379
11.13.2. Цели	380
11.13.3. Решения	380
11.13.4. Атрибуты «каннибальской» системы	381
11.14. Информационные системы	382
Контрольные вопросы	383
12 «Метрический» анализ систем	384
12.1. Основы METRIC	384
12.2. Базовая METRIC	386
12.3. Модификации METRIC	388
12.4. Многоэшелонная «одиночная» модель	392
12.5. Многоэшелонная пачечная модель	393
12.6. Многоэшелонная модель с распределением	394
12.7. Многоэшелонная модель с очередями	395
12.8. Многоэшелонная имитация	397
12.9. METRIC реального времени	398
12.10. Двухэшелонная система с экстренными поставками	400
12.11. Трехуровневая METRIC	401
12.12. Децентрализованная система	403
12.13. Стратегия с непрерывным просмотром	405
12.14. Системный «каннибализм»	406
12.14.1. «Метрические» модели с каннибализмом	406
12.14.2. «Неметрический» каннибализм	412
12.14.3. Текущая «каннибальская практика»	418
Контрольные вопросы	420
Заключение	421
Литература	423
Приложения	447
А Расчет системы кратных периодов	448
Б Расчет зонной стратегии	453

Предисловие

Оптимизация сложных систем и процессов массового обслуживания, необходимость более эффективного использования имеющихся временных, сырьевых и производственных ресурсов требуют более разумного управления разнообразными запасами, составляющего предмет логистики как науки. Этот класс задач имеет свои характерные особенности, математические модели потоков событий, очередей и процессов обслуживания, методы анализа, контроля и управления запасами. Указанные отрасли математико-экономического знания имеют богатую историю (в 2009 г. научная общественность отметила столетний юбилей основополагающей работы А.К. Эрланга) и серьезное содержание, но крайне недостаточно используются в практике и в учебном процессе вузов.

В учебном пособии признанного классика управления запасами и теории очередей заслуженного деятеля науки РФ Ю.И. Рыжикова проведен полезный и стимулирующий к дальнейшим исследованиям критический анализ существующей учебной литературы по логистике; выполнены обзор, систематизация и обобщение известных к настоящему времени результатов, в том числе полученных лично автором; показаны перспективные направления развития и применения упомянутых теорий. Особый интерес вызывает обзор теории зарубежных систем логистической поддержки деятельности авиации и военно-морского флота («метрические» модели), сочетающих методы теории очередей и управления запасами и имеющих самое непосредственное отношение к профилю нашего вуза. Книга хорошо отработана методически и не требует предварительных математических сведений, выходящих за рамки стандартного вузовского курса.

Можно надеяться, что предлагаемая книга будет полезной для всех, кто изучает, исследует и использует на практике модели и методы совре-

менной логистики — от студентов-старшекурсников до будущих магистров, аспирантов, докторантов и менеджеров аэропортов и авиастроительных корпораций.

Первый проректор Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения,
заведующий кафедрой компьютерной математики и программирования,
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

В.И. Хименко

Введение

Необходимость ускорения темпов прироста совокупного общественного продукта требует преодоления ряда объективных трудностей, отражающих особенности современного уровня производства. Постепенно возрождаются прежние масштабы экономической системы, продолжающаяся специализация усложняет внутренние связи. Вместе с ростом масштаба производства и повышением производительной силы труда посредством кооперации, разделения труда, применения машин и т. д. увеличивается масса сырья и вспомогательных материалов, входящих в ежедневный процесс воспроизводства. На современных машиностроительных и приборостроительных предприятиях, выпускающих массовую или крупносерийную продукцию, синхронизация требуется не только при сборочно-транспортных, но и при всех остальных операциях, включая работу заготовительных цехов. Общеизвестно, что календарные планы производства и закупки начинают корректироваться, как только они составлены. Задержка с одной деталью ломает весь график сборки. Оснастка не оправдывает ожиданий. Изменения технологии, трудность освоения новой продукции, брак, переделки, прогулы, забастовки — все это будни промышленности. Равномерное обеспечение потребителей дает как прямой экономический эффект (снижение затрат на дополнительно привлекаемую в пиках нагрузки рабочую силу, в частности на оплату сверхурочных, и возможность избавиться от лишних фондов оборудования, простаивающего вне пиков), так и косвенный — через улучшение условий труда и качества продукции.

Неизбежная рассогласованность ритма производства поставщиков и потребителей, дискретность процесса поставок, возможность случайных колебаний в интенсивности потребления или длительности интервалов между поставками относительно среднего (расчетного) уровня вынуждают создавать в системах снабжения *запасы*. Хранение запасов

во многих случаях¹ обходится дешевле, чем любой другой способ обеспечения ритмичного производства: резервные производственные мощности (их лучше использовать для освоения новой продукции), трудовые ресурсы, экстренные поставки и т. п. В состав запасов могут входить сырье, материалы, полуфабрикаты, комплектующие изделия, готовая продукция, отходы производства. Отметим, что капитал тоже может рассматриваться как запас, причем цена его хранения определяется темпом инфляции.

Нельзя не согласиться с Ю.А. Беляевым [4] в том, что «без запасов никто и ничто существовать не может: ни машина, ни человек, ни государство, ни вселенная. Без запаса прочности мост разрушится, а парашют порвется при малейшей перегрузке. Надежность технической системы создается запасом прочности конструкций, дублированием элементов, приданием запчастей. Портфель заказов редакции обеспечивает равномерную загрузку сотрудников и работу типографии. Запас мудрости руководителей позволяет им предвидеть будущие заботы и разглядеть пророков в своем отечестве; оценить неординарные идеи и справедливую критику; понять пользу плюрализма мнений и гражданских свобод. Запасы скудоумия, инерции, профессиональной неграмотности могут привести к не менее поразительным результатам».

Колоссальный объем средств, вложенных в запасы, придает проблеме научного управления ими первостепенную важность. На рубеже 1990-х гг. суммарная стоимость запасов в СССР превышала 450 млрд. рублей в тогдашнем масштабе цен.оборот транспортно-логистических услуг в России в 2007 г. составил 48.5 млрд. долл. и за год увеличился на 21 % («Логистика», 2008, №4). Общий рынок логистического сервиса в Германии оценивается в 204 млрд. евро, по общему рынку ЕС в целом — вчетверо выше («Логистика», 2008, №2).

В США 90 % капитала фирм вложены в запасы. В 1976 г. товарные и производственные запасы США составляли 276 млрд. долл. — 17 % валового национального дохода [285]. В эту статистику не включены огромные запасы органов управления — местных, штатов и правительства, в том числе военные, которые в 1969 г. оценивались в 50 млрд. долларов [93].

¹ Существуют задачи (в электроэнергетике), где создание буферных запасов невозможно, а в газовой промышленности и гидроэнергетике — сложно. Здесь для покрытия меняющихся потребностей используется резерв мощностей.

Избыточные запасы были причиной многих неудач в бизнесе, оказывали дестабилизирующее влияние при кризисах. Они являются тормозом на пути научно-технического прогресса, поскольку переход на новый вид продукции обычно сдерживается требованием выработки всех имеющихся запасов или дорогостоящим списанием их. Все эти проблемы обострились в связи с ускорением научно-технического прогресса, диверсификацией спроса и индивидуализацией производства, сокращением сроков морального старения техники. Возросли сложность решаемых задач и цена ошибочных решений.

В таких случаях полезно вспомнить, что «нет ничего практичнее хорошей теории» (Л. Больцман). Принятие решений должно быть основано на *модели* реальной ситуации. Совокупность правил построения моделей и работы с ними образует соответствующую прикладную теорию. Общеизвестно (см. [138]), что из всех специализированных ветвей исследования операций *управление запасами* (УЗ) имеет наибольшие возможности для практического применения и в то же время — наиболее развитую теорию. Сегодня по УЗ ежегодно только на английском языке публикуется свыше 100 журнальных статей, монографии, учебники, труды конференций. Обсуждение проблем часто идет в более широком контексте (производство, логистика, транспортные аспекты). Разумеется, существует отставание практики от теории (и наоборот), но применение данной теории уже в течение 100 лет возможно и оправдано. Согласно [267], типичная компания может удвоить объем продаж при сохранении объема запаса или сохранить этот объем, уменьшив запасы вдвое. Ниже будут приведены многие другие примеры эффективного использования рекомендаций теории управления запасами (ТУЗ) в отечественной и зарубежной практике, а также обзор ее развития.

Автор стоял у истоков отечественной школы теории запасов [64] и надеется, что содержимое предлагаемой книги также окажется полезным широкому кругу преподавателей, студентов и организаторов производства. Ее отличием от [64] является более детальная проработка экономических аспектов и специфики систем снабжения военного назначения, а также обстоятельное рассмотрение проблемы восстанавливаемого ЗИПа с применением современных методов теории массового обслуживания (она же — теория очередей).

В сравнении с [73] в книгу дополнительно включены введение в логистику с указанием места в ней теории очередей и управления

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru