

УДК 004.942:519.872

Али Найф Халил Альхжуж, С.Ю. Игнатов

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО ПОРТФЕЛЕЙ ЗАЯВОК ДЛЯ МНОГОФАЗНЫХ ОБСЛУЖИВАЮЩИХ СИСТЕМ**

*В настоящей работе предлагается общая математическая модель статического и динамического портфелей заявок для многофазных обслуживающих систем, а также приводится определение и интерактивный алгоритм построения уравновешенных портфелей заявок.*

*портфель заявок, многофазные обслуживающие сети*

### **1. Определение многофазной обслуживающей системы**

Многофазной обслуживающей системой называется совокупность приборов (комплексов приборов), предназначенных для обслуживания определённого набора материальных или информационных требований. Каждое требование имеет заранее заданные последовательность, алгоритм и длительность обслуживания приборами (комплексами приборов) системы.

Многофазные обслуживающие системы всегда создаются, существуют и функционируют со вполне определённой целью. Этой целью является форми-

рование некоторого набора конечных (сборочных) пакетов из соответствующего набора исходных требований. Например, в цифровых управляющих системах в качестве исходных требований выступают пакеты телеметрии, характеризующие текущее состояние объектов управления (обслуживания), а целью обслуживания является анализ телеметрии и выдача соответствующих конечных пакетов управляющих воздействий. В сфере дискретных производств обслуживание требований есть обработка материалов, заготовок и комплектующих с целью изготовления деталей и узлов, которые в свою очередь предназначены для сборки готовых изделий

или отгрузки комплектов готовых деталей в соответствии с заказами. Кроме того, понятно, что обслуженное требование порождает не обязательно конечный результат, но и возможно включается в некоторые дополнительные, порождённые пакеты требований для других промежуточных обслуживающих комплексов и т.д. Все эти комплексы в совокупности представляют собой единую многофазную обслуживающую систему (Центр управления полётами, Центр управления блоками АС, станкостроительный или машиностроительный завод, специализированная мастерская и т.п.).

Итак, конечной целью функционирования обслуживающей системы в целом является выполнение некоторого *портфеля заявок*, т.е. перечня конечных (сборочных) пакетов (изделий) с указанием их количества и периода времени на их формирование (отгрузку).

И ещё несколько слов о дискретных производствах. В конце 70-х начале 80-х годов XX века в связи с бурным ростом темпов потребления и необходимостью быстрой переналадки на выпуск новых улучшенных модификаций бытовых товаров и, по этой причине, настоятельной необходимостью роботизации и автоматизации всех составляющих производственного процесса, возникла программа создания Гибких Производственных Систем (Flexible Manufacturing Systems). Эта программа предусматривала создание гибких производственных участков на базе групповых технологий (тела вращения, корпусные детали, пластмассовое литьё, сборка и т.п.) объединённых автоматизированными складскими и транспортными подсистемами в единую производственную систему. Но уже в 90-х годах стало очевидным, что задачи концентрации (укрупнения) производства и достижения его гибкости (переналаживаемости) во многом взаимно исключают друг друга.

В настоящее время имеется тенденция развития небольших специализированных производств (Job Shop), работающих по кооперации друг с другом или с крупными производителями-сборщиками готовой продукции. Термин же Flexible Manufacturing System сейчас чаще используется для обозначения отдельной автоматизированной единицы оборудования (модуля).

Необходимость определения и анализа портфелей заявок обусловлена тем, что в реальном производстве почти всегда речь идёт не о том, чтобы сделать что-то быстрее или медленнее, а о том, чтобы сделать это вовремя, т.е. именно тогда, когда надо.

Для систем управления несколькими геостационарными спутниками связи или несколькими блоками атомной электростанции, для сравнительно крупных производств характеристики портфелей заявок закладываются ещё на этапе проектирования и имеют достаточно фиксированный характер в течение длительного срока работы поэтому такие портфели естественно называть стационарными.

Для систем, связанных со вполне определённым информационным обслуживанием небольшого количества потребителей или в случае мастерской (Job Shop), которая состоит из нескольких производственных участков и одного сборочного, а то и просто до 1 – 3-х производственных, и которая может быть рассчитана, например, только на выпуск деталей типа тел вращения определенных габаритов, веса, параметров точности и из определенных материалов, маркетинговые исследования сводятся к поиску реальных или потенциальных заказчиков на подобные услуги (продукцию) и их результаты имеют тенденцию сильно меняться от периода к периоду. Поэтому состав и количество обслуживающих приборов для таких систем выбирается из соображений обслуживания достаточно «сложных» требований этого типа и в достаточно «большом» количестве, хотя в дальнейшем при плохой работе маркетинговой службы это может привести к неоправданным простоям приборов. Портфели заявок для таких систем имеют тенденцию к частым изменениям и называются динамическими.

## 2. Математическая модель портфеля заявок

Итак, и в статическом (Flexible Manufacturing Systems), и в динамическом (Job Shop) случае представим портфель заявок в виде пары множеств  $(P, K)$ .

Множество строк заявок  $P$  определяется как

$$P = \left\{ \left( Z_l, B_l, E_l, \left\{ (P_j, N_j) \mid j = 1..J \right\} \right) \mid l = 1..L \right\},$$

где  $Z_l$  – номер заявки, причём  $\exists l \neq m$  такие, что  $Z_l = Z_m$ ,  $\forall l, m = 1..L$ ;  $B_l, E_l$  – календарный срок начала и конца обслуживания строки заявки;  $P_j$  – код конечного (сборочного) пакета;  $N_j$  – требуемое количество пакетов  $P_j$  ( $N_j = 0$  если в заявке данный пакет отсутствует);  $J$  – общее количество пакетов в номенклатуре  $K$ ;  $L$  – количество заявок в множестве  $P$ .

Множество  $K$  или *номенклатура* конечных пакетов определяется в виде

$$K = \left\{ (P_j, K_j) \mid j = 1..J \right\},$$

где  $P_j$  – код конечного (сборочного) пакета;  $K_j$  – величина обобщённого ресурса обслуживания, требуемая для формирования одного пакета  $P_j$ ;  $J$  – количество различных конечных (сборочных) пакетов.

Для множеств  $P$  и  $K$  выполняется условие:  $\forall P_j \in P \exists P_j = P_j, P_j \in K$ .

Величина  $K_j$ ,  $\forall j = 1..J$  определяется при помощи экспертной оценки специалистами в технологии и/или экономике данных процессов обслуживания и может представлять собой, например, общие трудозатраты на формирование пакета  $P_j$  или его алгорит-

мическую или конструктивную сложность или себестоимость формирования и т.п. Величина  $K_j$  может измеряться в денежном выражении, нормочасах, машиночасах, а может быть безразмерной, т.е. определяемой экспертами в баллах, например 1 – 100.

Итак, и в случае статического и в случае динамического портфелей заявок имеется некоторый расчётный портфель заявок (P, K), который был определён инвесторами, маркетологами и экспертами ещё на этапе проектирования многофазной обслуживающей системы. Отметим, что в случае динамического портфеля номенклатура K может иметь тенденцию к постоянному изменению.

Как показано в работах [1 – 5] наиболее предпочтительной стратегией является стратегия равномерного обслуживания, которая заключается в том, что формирование конечных пакетов осуществляется на постоянном уровне во всех планируемых периодах, что, в свою очередь, позволяет избежать потерь на изменение производительности обслуживающей системы от периода к периоду.

С точки зрения приведенной выше модели, это означает, что при существенных отличиях отношений суммарных величин обобщённого ресурса к длительности периода для различных периодов планирования обслуживающая система может либо не справляться с объёмами обслуживания, либо её приборы и отдельные комплексы приборов могут вынужденно простаивать. Первое приведёт к невозможности выполнения соответствующих строк портфеля заявок, а второе к неоправданному увеличению себестоимости формирования конечных пакетов.

Назовём пару (P, K) *уравновешенным портфелем*, если отношения суммарных величин обобщённого ресурса к длительности периода для различных периодов планирования отличаются друг от друга не более, чем на 5 – 10%.

### 3. Интерактивный алгоритм расчёта уравновешенного портфеля заявок

1. Преобразовать портфель заявок (P, K) в таблицу T непересекающихся по времени интервалов обслуживания.

Для этого любую пару  $(B_l, E_l)$  и  $(B_m, E_m)$  пересекающихся по времени заявок из P (рис. 1) необходимо преобразовать в тройку непересекающихся временных интервалов планирования  $(B_1 = B_l, E_1 = B_m)$ ,  $(B_2 = B_m, E_2 = E_l)$ ,  $(B_3 = E_l, E_3 = E_m)$  и рассчитать для каждого из них количества  $N_{1j}^0, N_{2j}^0, N_{3j}^0$  конечных пакетов по принципу пропорциональности вхождения  $N_{lj}$  пакетов  $P_j$  и  $N_{mj}$  пакетов  $P_{mj}$ ,  $\forall j = 1..J$ , запоминая при этом номера соответствующих заявок  $Z_l$  и  $Z_m$ .

Операцию выполнить для всех  $l, m = 1..L$  строк из P и со всеми ранее полученными непересекающимися интервалами.

2. Сформировать таблицу T, отсортированную в порядке следования непересекающихся интервалов планирования. Для интервалов рис. 1 таблица имеет вид, представленный в табл. 1.

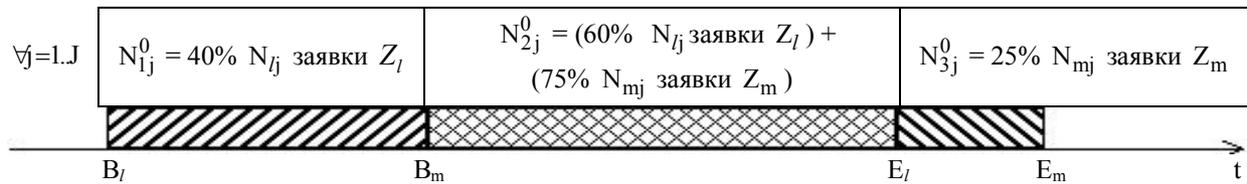


Рис. 1. Преобразование портфеля заявок

Таблица 1

Таблица отсортированных данных

Интервал	Конечный пакет				Интенсивность обслуживания интервала	Отношение к средней интенсивности всего периода планирования, %
	Код	Ресурс	Количество	Заявка		
1	2	3	4	5	6	7
$(B_1, E_1)$	...	...	...	...	$\frac{\sum_{j \in (B_1, E_1)} K_j \cdot \text{col.4}}{E_1 - B_1}$	$\frac{\text{col.6}}{\sum_{j \in (B_1, E_3)} K_j \cdot \text{col.4}} \cdot (E_3 - B_1) \cdot 100$
	$P_j$	$K_j$	$40\% N_{lj}$	$Z_l$		
	...	...	...	...		
$(B_2, E_2)$	...	...	...	...	$\frac{\sum_{j \in (B_2, E_2)} K_j \cdot \text{col.4}}{E_2 - B_2}$	$\frac{\text{col.6}}{\sum_{j \in (B_1, E_3)} K_j \cdot \text{col.4}} \cdot (E_3 - B_1) \cdot 100$
	$P_j$	$K_j$	$60\% N_{lj}$	$Z_l$		
			$75\% N_{mj}$	$Z_m$		
$(B_3, E_3)$	...	...	...	...	$\frac{\sum_{j \in (B_3, E_3)} K_j \cdot \text{col.4}}{E_3 - B_3}$	$\frac{\text{col.6}}{\sum_{j \in (B_1, E_3)} K_j \cdot \text{col.4}} \cdot (E_3 - B_1) \cdot 100$
	$P_j$	$K_j$	$25\% N_{mj}$	$Z_m$		
	...	...	...	...		

3. Проанализировать таблицу Т. Анализ выполняется специалистами (технологами и маркетологами). Если некоторые значения графы 7 выходят за пределы 90 – 110% то следует, пользуясь сохранёнными номерами заявок, внести, если это возможно, соответствующие коррекции в исходный портфель (Р, К) и повторить алгоритм.

4. Рассчитать величину максимальной интенсивности всего периода планирования

$$I_K = \max_i \frac{\sum_{j \in (B_i, E_i)} K_j \cdot \text{col.4}}{E_i - B_i}.$$

5. Конец алгоритма.

В результате анализа таблицы Т может оказаться невозможным произвести коррекцию некоторых строк портфеля (Р, К) по организационным соображениям. Естественно, что состав оборудования обслуживающей системы должен выбираться из соображений «достаточности» для обслуживания самого «нагруженного» интервала и понятно, что в остальных «недогруженных» интервалах могут происходить неоправданные простои некоторых обслуживающих комплексов и приборов системы.

Итак интерактивный алгоритм расчёта уравновешенного портфеля заявок первоначально используется для определения структуры обслуживающей системы и её компонент (комплексов) на этапе проектирования. Математическая модель и алгоритмы проектирования описаны в работе [6]. При этом следует учитывать, что первоначальная величина максимальной интенсивности всего периода планирования  $I_K$ , определяемая из таблицы Т, является качественной оценкой производительности обслуживающей системы в смысле выбранного обобщённого ресурса и превышение интенсивности  $I_K$  в процессе

дальнейшей эксплуатации системы вряд ли допустимо.

В дальнейшем для статического портфеля заявок повторять расчёты алгоритма нужно только при существенных изменениях номенклатуры К.

Для динамического портфеля заявок номенклатура К подвержена постоянным изменениям и в этих случаях использование интерактивного алгоритма расчёта уравновешенного портфеля позволяет оценить на качественном уровне возможность выполнения поступающих заявок.

#### 4. Интерактивный алгоритм повторного расчёта уравновешенного статического и динамического портфелей заявок

1. Убрать из таблицы Т все интервалы, срок действия которых истёк к текущему моменту времени.

2. Пропорционально откорректировать в таблице Т тот интервал, который истёк частично.

3. Для поступившего портфеля заявок ( $P^0, K^0$ ) и текущей таблицы Т повторить расчёт алгоритма раздела 3.

4. Сравнить полученную величину максимальной интенсивности нового периода планирования  $I_K^0$  с  $I_K$ , полученной на этапе проектирования данной обслуживающей системы. Если  $I_K^0 > I_K$ , то откорректировать поступивший портфель заявок ( $P^0, K^0$ ) и повторить алгоритм, иначе конец алгоритма.

#### 5. Типы обслуживающих систем

Ниже в таблице приведены типы обслуживающих систем и их характеристики с точки зрения расчётов портфелей заявок (табл. 2).

Таблица 2

Типы обслуживающих систем и их характеристики

Тип обслуживающей системы	Тип портфеля заявок	Количество типов конечных пакетов в номенклатуре К	Частота пересчёта уравновешенных портфелей заявок
Массового обслуживания или поточная	статический	< 10	1 раз в год и реже
Крупносерийная	статический	10 – 100	2 – 3 раза в год
Мелкосерийная	динамический	> 100	1 – 4 раза в месяц
Индивидуального обслуживания	динамический	неограниченно	ежедневно

Для систем массового обслуживания, поточных и крупносерийных характерно совмещение обслуживающих и транспортных операций, кроме того, 90 – 100% обслуживающих приборов проектируются и изготавливаются специально.

Для систем мелкосерийного и индивидуального обслуживания транспортные и обслуживающие операции, как правило, разделяются и используются универсальные (покупные) обслуживающие приборы.

#### Выводы

Математическая модель портфеля заявок (раздел 2) и интерактивные алгоритмы первоначального (раздел 3) и повторного (раздел 4) расчётов уравновешенного портфеля заявок используются для экспертной оценки равномерности обслуживания требований и принципиальной возможности обслуживания всего содержимого данного портфеля в заданные сроки. Применение разработанных моделей и

алгоритмов позволяет сократить время и увеличить адекватность принимаемых в процессе планирования обслуживания решений независимо от степени динамичности портфелей заявок.

### Список литературы

1. Уотерс Д. Логистика. Управление цепью поставок: Пер. с англ. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 216 с.
2. Игишев С.В. Преимущества логистического подхода к управлению производством, Логистика во взаимозависимом мире // Материалы междунар. научно-практ. конф. – Екатеринбург: Изд-во УГЭУ, 2003. – С. 195-197.
3. Kaplan R., Norton D. *The balanced scorecard: translating strategy into action.* – Boston: HBS Press, 1996. – P. 10.

4. Каплан Р., Нортон Д. Организация, ориентированная на стратегию. – М.: Олимп-Бизнес, 2004. – 182 с.

5. Бауэрсокс Д.Дж., Клосс Д.Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок: Пер. с англ. – М.: Олимп-Бизнес, 2001. – С. 55.

6. Али Найф Халил Альхжуж, Игнатов С.Ю. Моделирование многофазных обслуживающих комплексов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 6 (55). – С. 164-174.

Поступила в редколлегию 2.10.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Золотарев, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.