

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ПОЛИТИЧЕСКИХ ВОЛН

Часть 2

МОДЕЛИ

ГЛАВА 5. МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

5.1. Производство и рыночные процессы

Результатом функционирования экономики является производство и распределение благ, образующих потоки продукции.

Наблюдения показывают, что частота смены модификаций продукции, поставляемой отдельным предприятием на рынок, происходит в среднем с интервалом времени, приблизительно равным одному году.

Каждая смена модели производимой продукции вызывает изменения во внутренней среде предприятия. Эти изменения сопровождаются социальными процессами локального характера. Но они проявляются и на рынке, где реализуется продукция. Обычно реакция рынка на эти изменения имеет местное значение. Весь рынок благодаря большой инерции не может адекватно реагировать на скоротечные изменения. Только смена поколений продукции, влияющая на производственную деятельность целых отраслей, отражается на рыночной конъюнктуре, так как создание нового поколения продукции в любой отрасли коррелировано с коренной перестройкой предприятий. Оно сопровождается сменой основного производственного оборудования, на котором изготавливается продукция нового поколения. Производство новых типов основного оборудования стимулирует изменения в деятельности отраслей, производящих оборудование. Поэтому социальные последствия изменений в производстве товаров, вызванные созданием новых поколений изделий, влияют на рыночные процессы, задевают интересы широких кругов народа населения и провоцируют промышленные кризисы.

Изменения, вызванные изготовлением продукции нового назначения, в ряде отраслей влияют на деятельность многих предприятий и на экономику государств. Они задевают всю инфраструктуру промышленности и инспирируют изменение образа жизни народов.

Кризисы, вызванные перестройкой инфраструктуры экономики отдельных стран, распространяются на жизнедеятельность экономических блоков государств. Происходят изменения в образе жизни обширных регионов, где создаются новые производственные отрасли, изменяется транспортная система, система связи, изменяются жизненные стандарты.

Коррелированные изменения промышленного производства экономических блоков отражаются на развитии производственных отношений в планетарном масштабе. Ломка сложившихся экономических и социальных отношений сотрясает мировую экономику. Происходит перераспределение сфер влияния и накопленных богатств, зах-

ват природных ресурсов. Миграция населения ускоряется, вызывая смешение народов и рас. Обычно катаклизмы глобального масштаба, связанные с разрушением старого уклада жизни и производства, ускоряются сменой энергетической базы экономики. Перестройка, сопровождаемая взлетом и падением производства, определяет законы развития общества. Все противоречия, вызванные изменением образа жизни народов, выплескиваются на рынок. В рыночных процессах фокусируются все противоречия. Их многообразие диктуется жесткими законами экономики. Несмотря на это рынок не является автоматом, решающим целенаправленные задачи. Рынок – универсальный механизм, осуществляющий свои функции независимо от воли участвующих в его деятельности субъектов. В силу их универсальности изучение волновых явлений экономики рационально начать с рассмотрения производственных процессов.

5.2. Общая структура модели экономики

На рис.5.1 приведена предельно упрощенная модель производства и утилизации валового продукта, представленная в виде двух основных подсистем – среды и собственно экономики. Среда обеспечивает экономику ресурсами и реализует произведенный продукт, тем самым осуществляя ее управление.

Модель подсистемы «экономика» имеет иерархическую структуру. На самой нижней ступени этой структуры расположены предприятия. Их совокупность обеспечивает производство валового продукта в глобальном масштабе. Продукция, производимая на предприятиях, поставляется на рынок, где осуществляется ее распределение и обмен.

Рынок в модели представляется в виде четырехуровневой системы. Первый, нижний уровень, составляют национальные отраслевые рынки, где реализуется часть продукции одного назначения. Эта часть выводится во внешнюю среду, где она используется по назначению. Другая поступает для обмена на рынки более высоких иерархических уровней.

Множества отраслевых рынков объединяются в общегосударственные рынки, на которых осуществляется обмен товарами, предназначенными для межотраслевой торговли. Здесь одна доля продукции реализуется в стране и отводится для использования во внешнюю среду. Другая поступает для обмена на рынки экономических блоков, объединяющих рынки нескольких государств. Совокупность последних определяет рыночные процессы на уровне мировой экономики. Таким образом, производство и распределение продукции осу-

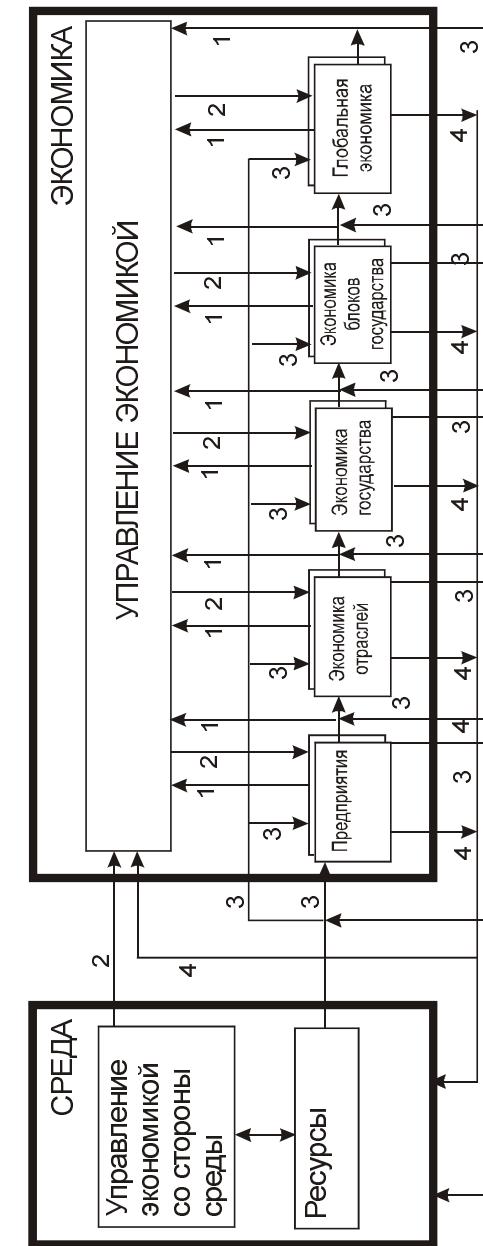


Рис 5.1. Общая структура модели экономики
1 – информация, 2 – управление, 3 – управление, 4 – ресурсы и продукты, 4 – отходы

ществляется в пятиуровневой системе, изображенной на рис.5.2, где горизонтальные связи реализуются через элементы верхних уровней. В этой системе возмещение стоимости ресурсов производится за счет реализации готовой продукции, отводимой в среду.

Многообразие физических параметров, характеризующих протекание процессов на различных уровнях, определяет множество потоков, посредством которых организуется взаимодействие отдельных элементов системы.

В дальнейшем, как это принято при экономических расчетах, множество разнородных параметров, участвующих в динамическом процессе, выражается через стоимость, что позволяет вместо разнообразных шкал измерения рассмотреть однородный параметр – цену. На рис. 5.2 представлена одна из ветвей экономической подсистемы предприятие – глобальный рынок. Как предприятия, так и рынки по своей сущности являются динамическими объектами, в которых происходят колебательные процессы, вызванные накоплением и преобразованием ресурсов, сопровождаемые выдачей готовой продукции в среду, где она используется по назначению.

В системе имеются как прямые, так и обратные связи. Прямые связи между элементами осуществляются через функциональные преобразователи, отсекающие обратные потоки, а обратные замыкаются через среду.

Все элементы, расположенные в двух смежных уровнях, образуют блоки, которые в дальнейшем называются эшелонами. В предложенной модели выделяются пять эшелонов, имеющих одинаковые структуры. Ими являются:

- эшелон 1-го уровня, состоящий из элементов среды, формирующих обобщенные силы – ресурсы, поступающие на предприятия, где производится продукция. Он представлен в модели блоками «среда» и «экономика» – элементами самого нижнего уровня иерархической подсистемы – «экономика»;

- эшелон 2-го уровня, состоящий из элементов, производящих материальные блага, и элементов – внутригосударственных отраслевых рынков;

- эшелон 3-го уровня, включающий в себя внутригосударственные отраслевые рынки, объединенные в единые государственные рынки;

- эшелон 4-го уровня, объединяющий рынки государственного уровня в рынки экономических блоков;

- эшелон 5-го уровня, состоящий из рынков экономических блоков, интегрированных в мировом рынке.

Все эшелоны состоят из звеньев. Звено содержит один элемент верхнего уровня и инцидентные ему элементы нижнего, см. рис.5.1–5.3. Большинство звеньев любого эшелона имеет идентичную структуру,

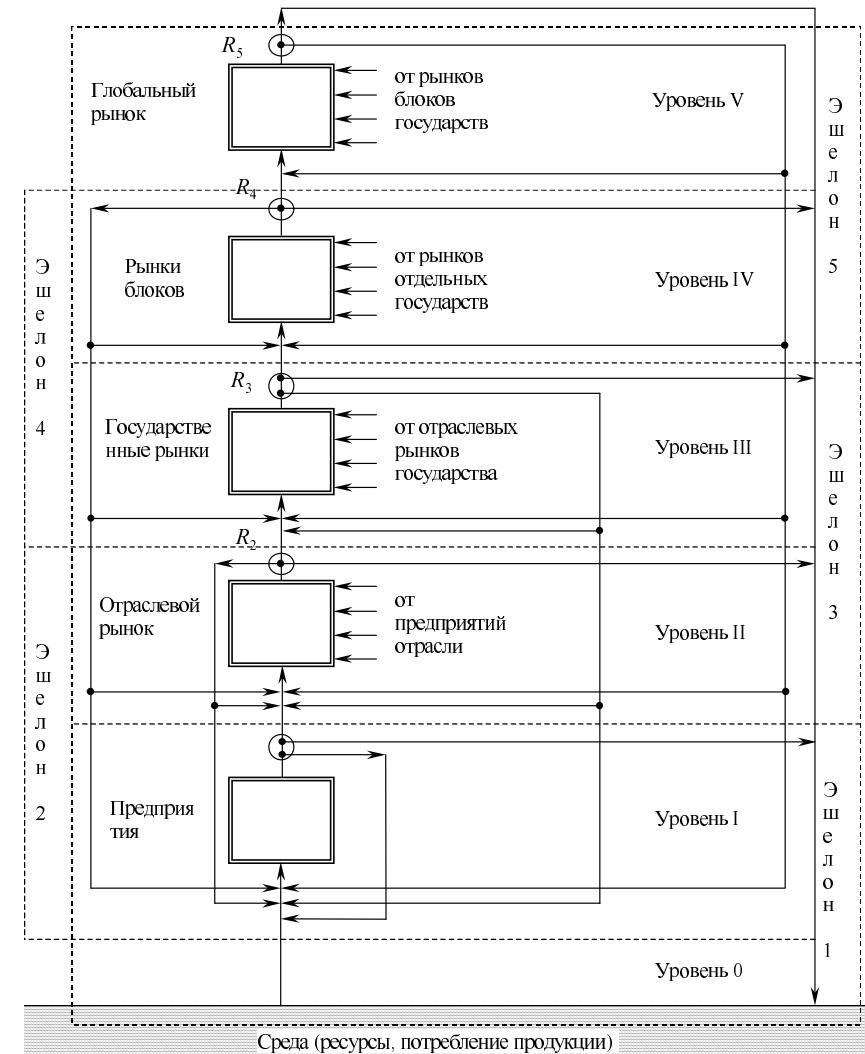
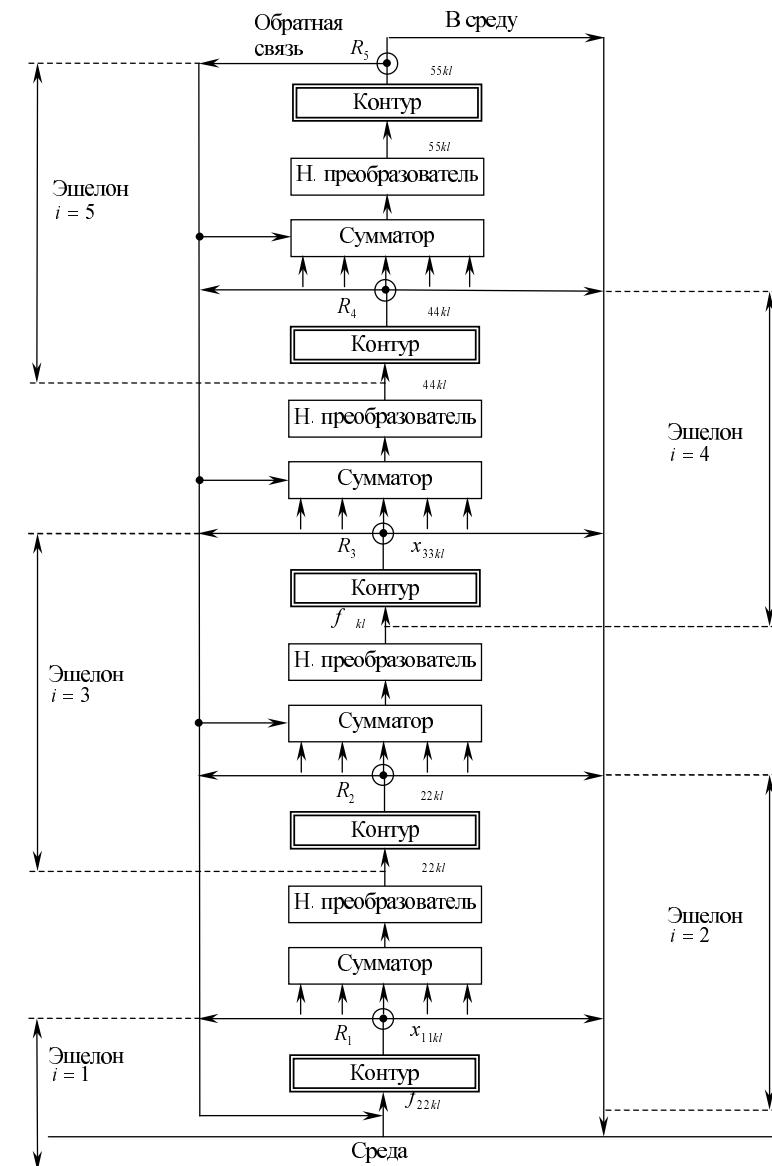
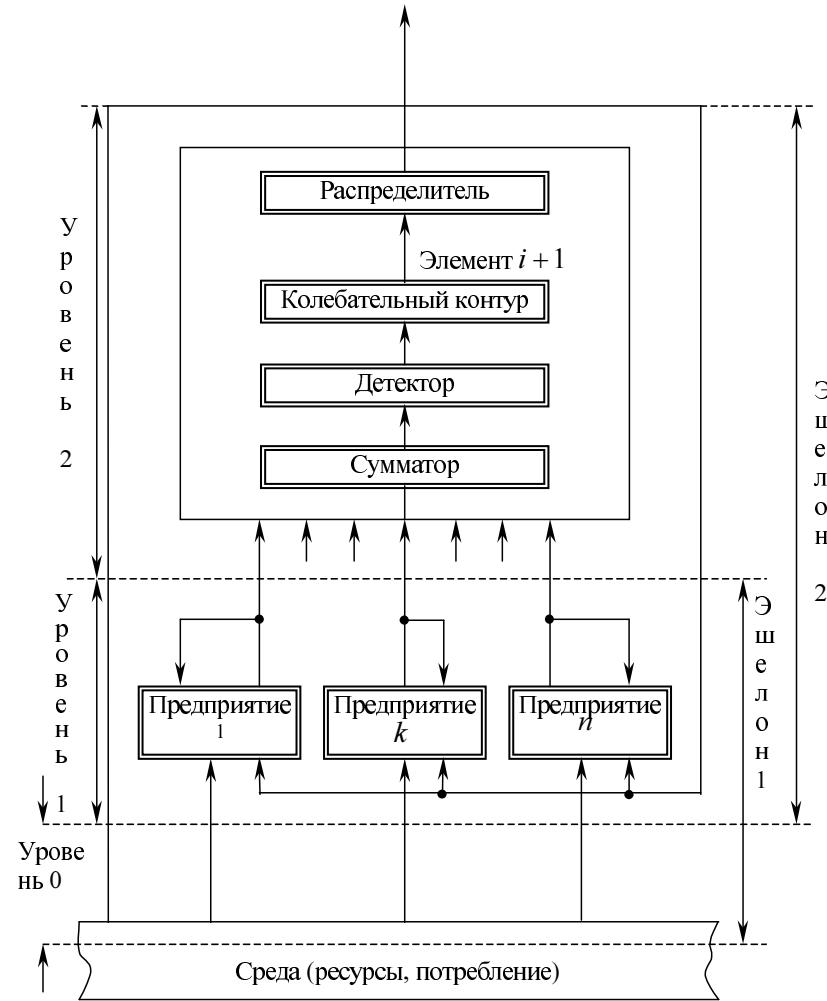


Рис. 5.2. Система экономика – среда



изображенную на рис. 5.3. Здесь звено верхнего уровня представляет-
ся в виде динамического преобразователя, состоящего из сумматора,
интегрирующего продукцию, поступающую из всех инцидентных эле-
ментов нижнего уровня, вентиля, моделирующего необратимость про-
изводственных или рыночных процессов, продукция которых выда-
ется в среду для удовлетворения потребностей на этом уровне, и эле-
ментов верхнего уровня. Кроме того, каждый элемент содержит колебательный контур, моделирующий производственные или рыноч-
ные процессы в его внутренней среде, и регулятор, производящий распределение ресурсов. Такое представление звена не требует специ-
альных комментариев. Оно подробно обосновано в [5.1].

Имеются и отличия, определяемые структурой входных каналов, через которые осуществляется передача ресурсов. На уровне производственных предприятий генерация потоков ресурсов происходит во внешней среде, структура которой будет рассмотрена специально. В звеньях же более высокого уровня они формируются во внутренней среде, см. рис. 5.4.

5.3. Жизненный цикл продукции и экономические волны малой длины (Два лица производимой продукции)

«Труд – целесообразная деятельность человека, направленная на видоизменение и приспособление предметов природы для удовлетворения своих потребностей».

В приведенном определении труда, взятом из энциклопедического словаря [5.2], предполагается, что труд – процесс, в котором участвуют две стороны: объект – предметы природы и субъект, оценивающий преобразующее воздействие, – человек.

Однако как и в любом процессе и объект и субъект по мере развития подвержены изменениям. Так предметы природы в процессе труда превращаются в предметы потребления, а человек на каком-то этапе процесса из производителя предметов потребления становится их потребителем.

Огромные множества предметов природы и способов их превращения в предметы потребления повторяются многократно. Повторяющиеся циклы производства и потребления однотипных продуктов являются материальной основой существования и развития человеческого общества.

Характерным для экономического процесса является двойствен-
ная природа его основных составляющих, являющихся вначале пред-
метом природы, а в конце под воздействием труда превращающихся в предмет потребления. В современном обществе преобразование предмета труда в потребляемый продукт происходит не мгновенно. На пути этого преобразования в процесс включаются многие субъек-
ты. Труд многих людей интегрируется в объекте на пути превраще-
ний. Каждый этап преобразования является результатом труда.

Несмотря на разнообразие и несходство преобразований, имею-
щих место в процессе превращения, им присущи общие закономер-
ности. Изучение этих закономерностей составляет предмет научной
disciplines – экономики.

Две формы труда участвуют в процессе превращения – труд живой, если в превращениях непосредственно участвует человек, и труд прошлый, аккумулированный в инструментах, машинах, сооружениях, автоматах, ресурсах и приспособлениях, применяемых для преобразования. Следо-
вательно, в каждом предмете потребления объединены два элемента – пред-
мет труда и труд, преобразовывающий его в предмет потребления.

Таким образом, в результате приложения труда потенциальный предмет потребления (предмет природы) превращается в реальный продукт потребления. В подавляющем большинстве случаев предме-
ты труда потребляются не их производителями. Поэтому готовый продукт имеет две оценки: первая – его полезность для потребителя и вторая – количество труда, в результате которого его потенциальная полезность реализуется в продукте потребления.

Длинная цепочка метаморфоз, происходящих с каждым продук-
том труда на пути его превращения в предмет потребления, заверша-
ется актом обмена между производителем и потребителем. Обмен происходит на рынке, где предметы природы, преобразованные в продукты труда, превращаются в товары.

Каждый товар имеет две оценки – оценку труда производителя, аккумулированную в нем, и оценку полезности для потребителя.
И та и другая оценки выражаются стоимостью.

Стоимость – мера количества общественного абстрактного труда товаропроизводителей, затраченная на его превращение в товар.

Стоимость для потребителя определяется тем трудом, который он считает возможным затратить с целью получения средств, необходи-
мых для приобретения продукта потребления.

Сопоставление оценок труда осуществляется на рынке, с помощью денег – особого вида товара, выполняющего роль всеобщего эквива-
лента стоимости, позволяющего осуществить ее измерение.

Рыночная стоимость товара – величина переменная. Она зависит от обстановки, которая складывается в сферах производства и потребления, определяющей конкретную ситуацию – конъюнктуру. Поэтому каждый товар, поступающий на рынок, должен оцениваться с позиции производителя и с позиции потребителя.

С позиции потребителя свойства товара определяются его качеством, а с точки зрения производителя – его техническим уровнем.

Проблеме качества и технического уровня производства посвящена специальная работа автора [5.3]. Здесь же в конспективной форме приведены некоторые определения, без которых дальнейшее изложение затруднительно.

5.4. Основные определения и общие положения

Предлагается следующая система определений:

1. Жизненным или генеральным циклом систем обслуживания (СО) серии комплекса технических средств (КТС) или серии изделий определенного типоразмера называется время от момента начала разработки проекта до момента снятия всей серии изделий с эксплуатации.

Генеральный цикл продукции состоит из ряда последовательных этапов, некоторые из которых могут частично накладываться один на другой.

2. Качеством продукции называется совокупность свойств, обуславливающая ее пригодность удовлетворить потребности в соответствии с назначением.

3. Абсолютной характеристикой качества, определяющей потребительскую ценность продукции, является степень адекватности свойств потребностям, которым она должна удовлетворять.

4. Уровень качества является относительной характеристикой, основанной на сравнении значений показателей качества оцениваемого объекта со значениями соответствующих показателей одновременно производимых образцов аналогичной по функции продукции.

5. Интегральной мерой для оценки качества оборудования и машин – важнейших видов продукции может служить абстрактный общественно-полезный труд, сохраненный в результате их применения при осуществлении производственного процесса.

В случае оценки предметов непосредственного употребления вместо сбереженного труда следует говорить о труде, который потребитель считает возможным затратить с целью получения средств, необходимых для приобретения продукции данного назначения и уровня качества.

6. Для сопоставления качества объектов различного типа «сохраненный» труд должен быть выражен через его денежный эквивалент – стоимость. Поэтому при практических расчетах определения относительной стоимости сбереженного труда, следует ориентироваться на минимальную (в течение периода, для которого производится оценка) цену продукции с аналогичными параметрами. Очевидно, что чем выше на международном рынке минимальная цена продукции, уровень качества которой равен уровню качества оцениваемой, тем выше ее качество.

7. Техническим уровнем производства продукции (сокращенно – техническим уровнем) называется совокупность ее конструктивных параметров, определяющих технологическую, ресурсную, организационную базу, необходимую для производства, экспедиции и эксплуатации данной продукции, при гарантированных значениях параметров, определяющих качество.

8. Интегральной количественной мерой для оценки технического уровня производимой продукции является абстрактный общественно-полезный труд, затраченный на ее производство, экспедицию и эксплуатацию.

Как и оценку сбереженного труда, оценку затраченного труда следует производить посредством его денежного эквивалента – себестоимости. Очевидно, что при одинаковом качестве продукции чем выше ее себестоимость, тем ниже технический уровень. При определении стоимости затраченного труда следует произвести его сопоставление с минимальными затратами на международном рынке (в течение периода, для которого осуществляется оценка), связанными с организацией производства и производством, экспедицией и эксплуатацией продукции, однотипной с оцениваемой.

9. Каждая отдельная работа, из всего множества однотипных, определяемых хозяйственной, общественной, индивидуальной потребностью, называется требованием. Требования определяются признаками и являются величинами векторными. Требования обозначаются

$$T_k = \left| \tau_{k_1}, \Lambda, \tau_{k_j}, \Lambda, \tau_{k_{(m-1)}} \right|^T,$$

где k – номер требования T_k , τ_{k_j} – j номер признака требования T_k .

10. Совокупность диапазонов значений признаков образует дискретные множества – градационные шкалы. Требования, отличающиеся хотя бы одним признаком или значением диапазона, к которому они принадлежат, относятся к различным классам. Требования, у которых признаки совпадают, а значения признаков относятся к одному и тому же диапазону, принадлежат одному классу.

11. Вся совокупность однородных требований, относящихся к одному классу и подлежащих обработке в течение заранее обусловленного промежутка времени, называется заявкой.

Заявка отличается от требований, включенных в эту заявку, одним дополнительным параметром – числом требований, подлежащих одновременному обслуживанию. Значения остальных параметров у заявки являются предельными для требований, объединенных в этой заявке.

Заявка представляется в виде вектора

$$\mathcal{Z}_k = \left| z_{\kappa_1}, \Lambda, z_{\kappa_j}, \Lambda, z_{\kappa_m} \right|^T,$$

где κ – номер заявки, j – номер параметра, m – число параметров. Подробнее понятие «заявка» см. в [5.3]. Параметры заявки определяются заказчиком или производителем. В последнем случае они обязательно согласуются с пожеланиями заказчика.

12. Удовлетворение пожеланий потребителей, представленных в виде требования, называется обслуживанием требований.

13. Совокупность всех заявок, подлежащих одновременному обслуживанию, образует поле заявок.

3

14. Для обслуживания требований необходимы обслуживающие устройства. В машиностроении в качестве обслуживающего устройства рассматривается оцениваемое изделие; обычно это комплексы машин и приспособлений, называемые оборудованием, способным автономно производить весь цикл работ по обслуживанию отдельного требования.

15. Комплекс технических средств, предназначенный для обслуживания требования, в дальнейшем сокращенно называется КТС. Совокупность КТС, способных обслужить всю совокупность однотипных заявок, называется системой обслуживания СО КТС, как и любое другое изделие, характеризуется группами параметров.

К первой группе относятся параметры, характеризующие его технологические возможности. В дальнейшем их совокупность определяется в виде вектора конструктивных параметров

$$X^k = \left| x_1^k, \Lambda, x_j^k, \Lambda, x_{m_1}^k \right|^T$$

Ко второй группе относятся параметры, определяющие технологию производства оцениваемого изделия, представленные в виде вектора технологических параметров производства оцениваемого изделия

$$\Xi^k = \left| \xi_1^k, \Lambda, \xi_j^k, \Lambda, \xi_{m_2}^k \right|^T$$

К третьей группе относятся параметры, определяющие технологию эксплуатации, обслуживание и ремонт оцениваемого изделия. Эти параметры представляются вектором эксплуатационных свойств

$$K^k = \left| \kappa_1^k, \Lambda, \kappa_j^k, \Lambda, \kappa_{m_3}^k \right|^T$$

Чтобы полностью охарактеризовать качество и технический уровень производства промышленной продукции, необходимо учесть ресурсы, без которых данная продукция не может быть создана и эксплуатируема.

16. Множество всех ресурсов, необходимых для производства и эксплуатации, в дальнейшем представляется вектором

$$P^k = \left| \rho_1^k, \Lambda, \rho_j^k, \Lambda, \rho_{m_4}^k \right|^T$$

Ресурсы, объединенные в векторе P могут быть представлены и в другой форме. Их, в зависимости от сферы применения, иногда будем включать в состав векторов X^k, Ξ^k, K^k .

17. Вектор, объединяющий все параметры $x_j^k, \xi_j^k, \kappa_j^k, \rho_j^k$ определяющий все оценочные параметры, характеризующие изделие, называется вектором технических свойств изделия. Вектор технических свойств изделия типа K .

$$X^k = X^k \cup \Xi^k \cup K^k \cup P^k = |X_1^k, \dots, X_{m_1+m_2+m_3+m_4}^k|^T$$

Группа составляющих вектора X , размерность которых совпадает с размерностью составляющих вектора заявки Z в дальнейшем обозначаются вектором Y .

18. Вектор Y^k , входящий в вектор X^k , содержащий все составляющие вектора Z_k , называется вектором качества изделия типоразмера K . Параметры вектора

$$Y^k = \left| y_1^k, \Lambda, y_j^k, \Lambda, y_{m_1}^k \right|^T$$

для того, чтобы изделие K могло обслужить заявку Z_k , должны удовлетворять условиям

$$y_j^k \geq z_{\kappa_j}, \forall j \in \{1, \Lambda, m_1\}$$

19. Все остальные параметры вектора X^k , обозначенные $=^k = k - Y^k$, определяют технический уровень оборудования. Они определяются вектором

$$Z^k = \begin{bmatrix} z_1^k, \Lambda, z_j^k, \Lambda, z_\mu^k \end{bmatrix}^T, j \in \{1, \dots, \mu\}$$

20. Обслуживание идеально только тогда, когда параметры, определяющие качество обслуживающего устройства, в точности совпадают с параметрами обслуживаемого требования. Такое обслуживание называется адекватным.

Адекватное обслуживание всех требований практически невозможно потому, что и однородные требования, включенные в одну заявку, отличаются значениями некоторых параметров. Следовательно, даже создав систему, где для обслуживания каждой заявки разработан специальный тип оборудования, нельзя обеспечить адекватное обслуживание всех требований этой заявки. Однако с точки зрения потребителя только адекватное обслуживание его требований оптимально. С другой стороны, стремление к адекватному обслуживанию вызывает неоправданно высокие затраты, связанные с необходимостью создать большое число типоразмеров обслуживающих устройств.

С целью уменьшения издержек, вызванных многотипностью обслуживающих устройств, приходится унифицировать конструкции оборудования и его основных частей. Унификация, способствующая уменьшению стоимости парка, влечет за собой увеличение неадекватности обслуживания и, следовательно, снижает его качество.

21. Как стремление к полной адекватности оборудования, так и полная его унификация не приемлемы. Оптимальная мера унификации определяется эффективностью использования затраченных средств и допустимой мерой отступления от адекватного обслуживания. Поэтому обычно число типоразмеров, составляющих оптимальную систему, типоразмерный ряд ТРР, больше единицы и меньше числа заявок, подлежащих обслуживанию.

22. Задача создания оптимального оборудования должна быть решена так, чтобы эффективность использования затраченных средств была бы максимальной: так как число типоразмеров созданной системы изделий меньше, чем число заявок, эффективность обслуживания заявок не одинакова. Отсюда следует, что определение эффективности нужно производить не для отдельного типоразмера, а для системы в целом. Оценку полного жизненного цикла удобно вести посредством определения эффективности, приведенной к стоимости единицы обслуживания (CEO), и представить как отношение среднего дохода, полученного за счет выполнения единицы обслуживания

$${}^Y S_{\kappa}^k = {}^Y S(Y^k, Z_{\kappa} T) \quad (5.1)$$

к себестоимости этого обслуживания

$${}^Z S_{\kappa}^k = {}^Z S(Z^k, Z_{\kappa} T) \quad (5.2)$$

23. За основной критерий оценки качества и технического уровня системы, переживающей полный жизненный цикл, предлагается принять среднюю эффективность единицы обслуживания, представляющую собой отношение

$$\mathcal{E} = \frac{\text{Средняя рыночная цена выполнения единицы обслуживания}}{\text{средняя себестоимость единицы обслуживания}} \quad (5.3)$$

при заданном качестве обслуживания

$$\mathcal{E}_{\kappa}^k = \frac{{}^Y S_{\kappa}^k}{{}^Z S_{\kappa}^k}$$

Усреднение производится на всем множестве заявок, подлежащем обслуживанию в течение полного жизненного цикла обслуживающего устройства.

Как видно из принятых обозначений, экономическая оценка качества ${}^Y S$ зависит от параметров обслуживающих устройств, объединенных в векторе качества Y^k , и параметров обслуживаемых заявок Z_{κ} , а также интервала времени, для которого производится оценка. (Время в отношении (5.4) в явном виде не включается).

Экономическая оценка технического уровня ${}^Z S$ зависит от значений параметров, определяющих вектор технического уровня обслуживающего устройства κ , и интервала времени, для которого производится оценка.

Таким образом, наиболее полная экономическая оценка эффективности изделия является скалярной функцией параметров векторов качества продукции, вектора параметров заявки Z_{κ} технического уровня обслуживающего устройства и времени. Числитель отношения (5.3) является функцией параметров, определяющих качество, а знаменатель – технический уровень обслуживающего устройства.

Поэтому важнейшей задачей, предопределяющей успех применения разрабатываемой методики, является создание математического аппарата, позволяющего выразить стоимостные оценки качества и технического уровня через соответствующие физические параметры системы.

Очевидно, что отношение, аналогичное отношению (5.3), может быть применено и для оценки любого этапа жизненного цикла, если усреднение числителя и знаменателя производить для числа единиц, обслужен-

ных в течение оцениваемого этапа. Однако при этом нужно учитывать амортизацию и остаточную стоимость. Подробности см. в работе [5.3].

Уже отмечалось, что числитель и знаменатель выражения (5.3) со временем уменьшаются. Их изменение происходит хотя и параллельно, но с различной скоростью. Это приводит к изменению эффективности со временем. Графики, изображающие изменение числителя ${}^Y S$, знаменателя ${}^Z S$ и их отношения приведены на рис.5.5.

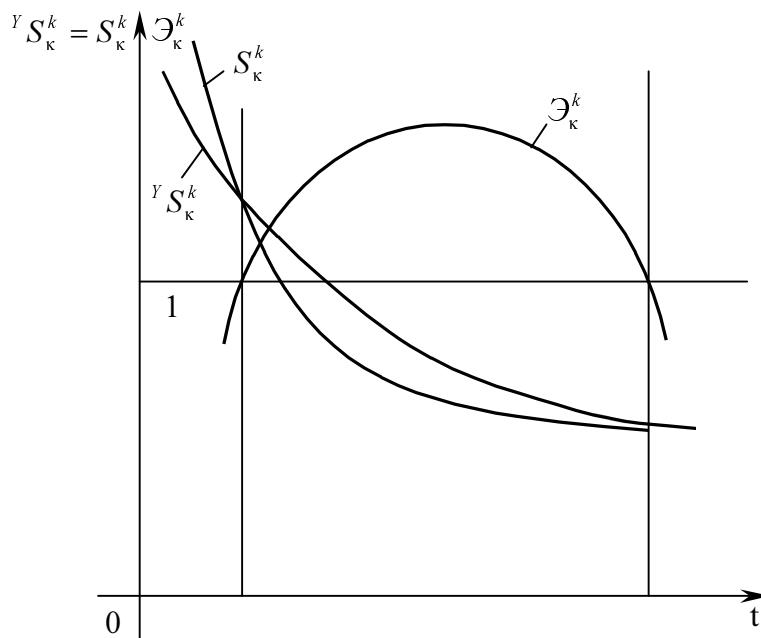


Рис. 5.5. Изменение параметров S_k^k , ${}^Y S_k^k$, ${}^Z S_k^k$, \mathcal{E}_k^k .

Уменьшение числителя сопряжено с появлением новых потребностей, которые не могут быть удовлетворены устаревшей техникой. Этот процесс выражает объективный процесс морального износа, вызванного развитием научно-технического прогресса.

Уменьшение знаменателя происходит за счет интенсификации процесса самоокупаемости, а также налаживания и упорядочения производства и эксплуатации оцениваемого оборудования. В результате эффективность затрат по мере развития жизненного цикла вначале стремительно возрастает, затем ее рост замедляется. После самоокупания она некоторое время остается почти постоянной, затем

падает. Следовательно, при необходимости сопоставления некоторых конструкций расчеты должны быть произведены для одного и того же интервала времени.

5.5. Состав векторов качества и технического уровня производства

В состав вектора технических свойств изделия K включены все составляющие векторов качества и технического уровня изделия типа K .

Параметры, характеризующие вектор заявки, определяющие качество оборудования, представляются в виде таблицы. Каждому параметру отводится отдельная строка.

Показатели технического уровня также сводятся в специальные таблицы, см. [5.3].

Для построения стоимостной таблицы необходимо представить технико-экономические показатели ${}^Y S$, ${}^Z S$, \mathcal{E}_k^k через параметры векторов Y , Z .

Трудность их регистрации и применения определяется тем, что они со временем меняются. Поэтому, производя расчеты, приходится делать ряд предположений:

- у каждой отрасли, выпускающей оборудование или изделия одного назначения, длительность жизненного цикла изделий примерно одинакова (если конструкции рациональны);

- законы изменения величин ${}^Y S$, ${}^Z S$, \mathcal{E}_k^k во времени, для разных изделий одного и того же назначения в отрасли, примерно одинаковы.

Эти предположения позволяют независимо идентифицировать функции ${}^Y S$, ${}^Z S$, \mathcal{E}_k^k для каждого этапа жизненного цикла отдельно и затем рассмотреть их изменения во времени. Одновременное рассмотрение динамического процесса во времени и в объединенном пространстве векторов Y , Z не может быть реализовано не столько из-за трудностей математического плана, сколько из-за отсутствия у конструкторов необходимой информации.

Помимо интегральных оценок, выражаемых величинами ${}^Y S$, ${}^Z S$, \mathcal{E}_k^k возникает необходимость сопоставления технических параметров сравниваемых конструкций. Такое сопоставление позволяет полнее представить свойства изделий. Это вынуждает искать эталоны.

Существует множество подходов к выбору эталона. Большинство авторов пытается представить эталон в виде совокупности максимальных значений параметров. При правильной организации службы ква-

лимитрии такой необходимости нет, так как свойства измеряемого объекта не зависят от величины единицы измерений. Достаточно, чтобы все параметры эталона были бы близки к параметрам оцениваемых объектов. Последнее требование вызвано желанием в процессе обработки вместо нелинейных моделей использовать линейные. Использование эталона с параметрами, близкими к параметрам измеряемого объекта, позволяет в процессе расчетов произвести линеаризацию модели. Вторым условием, предъявляемым к эталону, является достаточная надежность определения его параметров. Третьим – представительность эталона. Последнее, прежде всего, относится к временной координате. Для сопоставления необходимо, чтобы эксплуатация эталона и оцениваемого образца производилась в одно и тоже время.

В дальнейшем векторы и параметры, характеризующие эталон, будут отличаться верхним правым индексом Q . Например: S^Q , Z^Q , \mathcal{E}^Q .

5.6. Определение качества, себестоимости и эффективности при выполнении единицы обслуживания

Наряду с оценкой заказа в соответствии с рыночной конъюнктурой, необходимо уточнить оценку способности предприятия производить продукцию, качество которой не ниже заказанного. Предварительно полученные экспертные оценки должны быть уточнены расчетами и статистическим анализом накопленного опыта. Подробности см. в работе автора [5.3].

Производитель, кроме данных, характеризующих качество, должен иметь информацию для оценки своего технического уровня.

Чтобы оценка технического уровня объективно отражала возможности предприятия, необходимо, чтобы на предпроектном этапе расчета были представлены несколько конкурирующих вариантов и ретроспективные сведения об уже освоенных изделиях.

Данные о качестве и техническом уровне для каждого варианта КТС типа k , примененного для обслуживания заявок $K \in \{K\}$, сводят в таблицы, в которые кроме информации, предоставленной экспертами, включаются найденные расчетным путем данные. Важным источником информации могут быть деловые игры.

Помимо перечисленных выше параметров для определения себестоимости единицы обслуживания S_k из требования, включенного в заявку Z_k , обрабатываемую КТС типа k , нужно учесть коэффициент, характеризующий влияние величины партии производимых

изделий. С увеличением величины партии этот коэффициент уменьшается [5.3].

Завершая рассмотрение проблемы оценки качества изделий, было бы необходимо остановиться на следующем вопросе: как учсть фактор времени и последствия рациональной и нерациональной модернизации. Эти вопросы автором подробно рассмотрены в [5.3].

5.7. Жизненный цикл товара

Известно, что жизненный цикл продукта, представленного на рынке в качестве товара, составляет малую часть полного цикла его превращения в товар и реализации этого товара.

Как видно из рис. 5.5, продукт делается товаром только после завершения периода подготовки производства и заканчивается с его прекращением. На рис. 5.5 эта стадия обозначена в виде шестого этапа генерального цикла.

Предметом дальнейшего исследования является построение математической модели, позволяющей анализировать реальную рыночную ситуацию и принимать обоснованные решения о целесообразности выхода предприятия на рынок с предлагаемой номенклатурой товаров.

Важнейшей задачей этого плана, которую неизбежно должны решать менеджеры, является проблема модификации продукции и конверсия ее производства.

Рациональность принимаемых решений зависит от многих экзогенных и эндогенных факторов. Среди них решающими являются потребность в намечаемой к выпуску продукции, ее качество, технический уровень производства, достижимый на данном предприятии, а также организация экспедиции производимых товаров. В совокупности они определяются макроэкономической средой, в которой функционирует рассматриваемое предприятие.

Перечисленные факторы тесно коррелированы. Трудно в диалектическом единстве многих взаимообусловленных факторов, характеризующих развитие внешней и внутренней среды предприятия, охватить многообразие экономических и технических процессов, предопределяющих эффективность принимаемых решений. Это требует производить предварительное членение сложных явлений с целью выделения определяющих параметров.

Рассматривая экзогенные и эндогенные факторы, определяющие экономическую целесообразность решений, сделаем ряд предварительных замечаний.

№	ЭТАП	ГОДЫ (УСТОВОНО)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	Подготовительная стадия (маркетинг, НИР и др.)																										
2	Техническая подготовка производства, в том числе: жизненный проект, технический проект																										
3	Изготовление опытного экземпляра (образца)																										
4	Промаскирование, монтаж, пуск, пробная эксплуатация																										
5	Обработка конструкции для серийного производства																										
6	Серийное производство машин (изделий)																										
7	Промышленная эксплуатация (срок физической амортизации условно 10 периодов)																										
8	Период подготовки (условно)																										
9	Период экономической полноценности машины (условно)																										
10	Период экономической полноценности эксплуатации (условно)																										
11	Период морального старения																										

Рис. 5.6. Жизненный цикл изделия машиностроительной промышленности.

Длительность одноименных этапов жизненного цикла при производстве однотипных изделий различными предприятиями и срок жизни данной продукции на рынке могут отличаться. Отличия вызваны тем, что рыночная ситуация является результатом усреднения деятельности многих производителей.

Важнейшим параметром, характеризующим жизненный цикл продукции, выпускаемой конкретным предприятием, является общая конъюнктура, определяемая циклическими процессами экономики.

Кратковременные – высокочастотные циклы определяются колебаниями рыночной конъюнктуры. К этому классу относятся и колебания, вызванные сезонными изменениями моды. Они отражают процессы, неизбежно возникающие при смене продукции, даже в тех случаях, когда производится только модификация изделий.

Переход с производства одного вида изделий к новым базовым вариантам, если он осуществлен нормально, связан с коренной перестройкой производства. Во всех случаях смена серийной и особенно крупносерийной продукции на ее новую разновидность связана с рядом болезненных явлений, вызванных нарушением нормального производственного ритма.

Многочисленные возмущения, возникающие на многих предприятиях разных отраслей, вызванные научно-техническим прогрессом и рыночной конъюнктурой, требуют перераспределения ресурсов во внутритраслевом и в межотраслевом масштабах, что в конечном итоге начинает сказываться на экономике в целом. В самом деле, длины коротких волн, которые для товаров одинакового назначения имеют примерно одинаковые значения, распределены по стохастическому закону. Накладываясь друг на друга, они образуют биения, пучности и спады, аналогичные биениям морских волн.

Эти в общем-то стационарные процессы образуются на фоне нестационарных явлений, вызванных коренными изменениями как во внешней, так и во внутренней средах.

Во внешней среде нестационарность возникает из-за изменений ресурсной базы, экономической обстановки и научно-технического прогресса. Во внутренней среде она происходит за счет демографических сдвигов в обществе, научно-технического прогресса, новых открытий фундаментальных наук, создания более эффективных технологических процессов.

Совокупность этих процессов, интегрируясь в экономическом пространстве народного хозяйства, приводит в конечном счете к необратимым изменениям во всей социально-политической системе общества.

Жизненный цикл выпускаемой продукции предполагается кратковременным. Экзогенными факторами являются конъюнктура рынка и ограничения по ресурсам, предопределяющие объем выпускаемой продукции, что в свою очередь ограничивает развитие основных и оборотных фондов.

Весьма важным фактором, без учета которого невозможно рационально исследовать динамику процесса, является объем и порядок изымания государственных налогов.

Перечисленные экзогенные факторы в значительной мере предопределяют эндогенные свойства предприятий. Так, объем капиталов, вложенных в развитие технологического процесса, в конечном итоге определяет возможности технологического оборудования и, стало быть, количество и качество выпускаемой продукции.

Формирование планов развития производства начинается с анализа потребностей. Оценивая продукцию, нужно учитывать стадии ее рыночного развития, определяющие цену.

Идеализированная схема поэтапного изменения спроса на любой товар представлена графиком на рис.5.7.

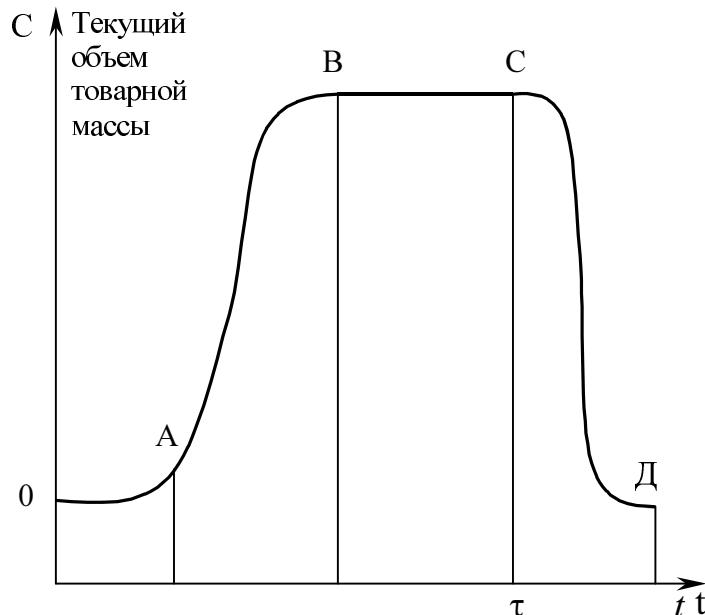


Рис. 5.7. Идеализированная схема поэтапного изменения спроса на товар

Первая стадия развития спроса на товары изображена участком ОА кривой, приведенной на рис. 5.7. Ее часто называют стадией внедрения. В течение этого промежутка времени рынок готовится к приему новой продукции, определяются ее качество, готовность покупателей приобрести новый товар, для рекламы тратятся значительные средства. Менеджеры окончательно выявляют емкость рынка и определяют предстоящие этапы жизненного цикла предлагаемого продукта. Одним словом, скрупулезно решается важнейшая задача маркетинга.

Следующую стадию принято называть стадией роста (участок АВ). Она наступает в случае, когда рынок принимает предложенную продукцию. Постепенно на рынке появляется массовый покупатель. На этой стадии происходит стремительный рост товарной массы. Продукция совершенствуется, устраняются замеченные дефекты.

Затем наступает стадия зрелости (участок ВС), когда происходит замедление темпа роста продаж. Эта стадия завершается медленным снижением спроса.

В конце жизненного цикла имеет место стадия спада (участок CD). Идет резкое падение объема продаж. Продукция снимается с производства. Основным покупателем остатков товара на рынке становятся потребители, располагающие весьма ограниченными денежными средствами.

График, изображенный на рисунке, довольно точно аппроксимируется функцией

$$P(t) = \begin{cases} \frac{p_1}{1 + p_2 e^{-p_3 t}}, & t \leq \tau \\ \frac{p_1}{1 + p_2 e^{-p_3 \tau}} + \frac{p_4}{1 + p_5} - \frac{p_4}{1 + p_5 e^{-p_6 t}}, & t > \tau \end{cases} \quad (5.5)$$

Как видно из рис.5.7, последовательность стадий динамического цикла имеет явно выраженный характер отдельной волны.

Говоря о спросе, нельзя игнорировать весьма примечательное явление. На стадии спада спроса иногда возникают один или несколько всплесков убывающей интенсивности. Всплеск наблюдается в тех случаях, когда продукт после насыщения рынка той страной, где он впервые производился, выходит на рынки за ее границей. Особенно часто повторные волны возникают тогда, когда мода на товар быстро меняется. Типичная для этого случая кривая изображена на рис.5.8.

Стремясь утвердиться на рынке, каждый из потенциальных поставщиков стремится точно определить ту часть спроса, которую он в состоянии удовлетворить.

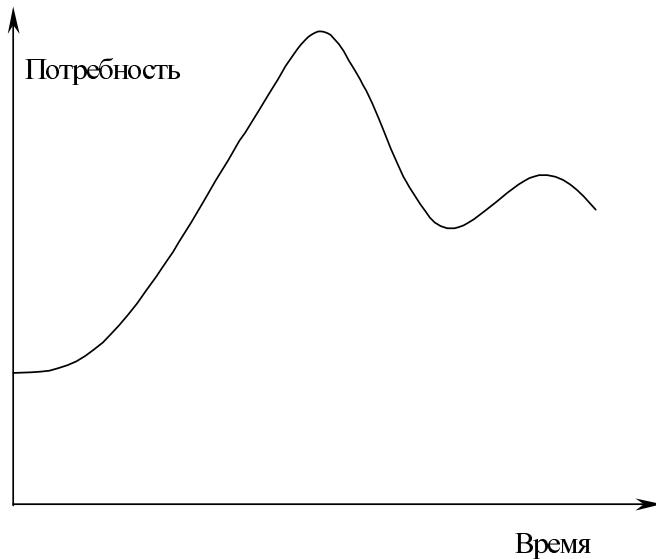


Рис. 5.8. Повторное увеличение спроса, вызванное запаздыванием моды в странах-импортерах новых товаров

Возникает игровая ситуация, определяемая режимом конкуренции. В зависимости от позиции, которую намеревается занять производитель на рынке, он должен вырабатывать свою стратегию:

- назначить цену, обеспечивающую достаточную прибыль и ущемляющую или разоряющую конкурентов;
- затянуть длительность или завершить жизненный цикл морально состарившейся продукции;
- подавить конкурентов массированным воздействием хорошо организованной рекламы.

Решающую роль играют:

- умение рационально организовать экспедицию своей продукции;
- умение точно оценить свои возможности;
- упрощение и совершенствование режимов эксплуатации;
- повышение надежности;
- способность в нужный момент времени осуществить модернизацию производства;
- умение рассчитывать оптимальный момент снятия устаревшей продукции с производства.

Таким образом, для менеджеров особенно важно умение согласовывать фазы волн жизненного цикла выпускаемой продукции и ее реализации на рынке в качестве товара, так как эти волны имеют

одинаковую частоту, но их фазы сильно отличаются. (Уравнивание частот происходит за счет различной степени наложения волны в сфере производства и волн товаров на рынке).

Часто наблюдается ситуация, когда один из маломощных конкурентов может стать временным монополистом, выйдя на рынок с продукцией, по основным параметрам существенно превосходящей свойства продукции остальных конкурентов. Это режим временной монополии. Рассматривая сравнительно небольшими ресурсами, конкурент, оказавшийся в таком положении, должен организовать свою стратегию так, чтобы в минимальное время суметь полностью реализовать свое преимущество.

Подробный анализ этих ситуаций является предметом маркетинга. Для нашего исследования пока достаточно предположить, что производитель в результате тщательного анализа верно определил сферу своей деятельности.

Отметим, однако, что в любом случае диаграмма спроса в конечном итоге будет иметь вид, изображенный на рис.5.7 или рис.5.8.

5.8. Рынок. Стационарный режим

Важнейшим этапом планирования производства является определение зависимости цены продукции от спроса и предложения. Классические исследования в этой области для стационарного режима выполнены А.А.Курно и А.Маршаллом [5.4].

Они formalизовали зависимость цен товара от спроса и предложения. Зависимость цены от спроса представлена в виде кривой на рис. 5.9а, а зависимость цены от предложения – в виде кривой, изображенной на рис.5.9б. Авторами было установлено, что эти функции непрерывны и их, соответственно, можно аппроксимировать гиперболой или параболой. В общем виде математические модели функций зависимости цены от спроса удобно представить в виде соотношения

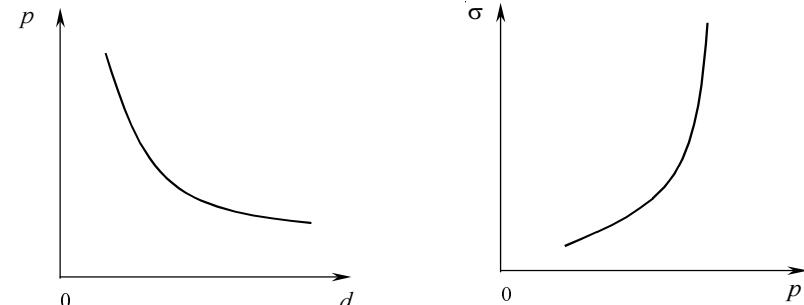


Рис. 5.9а. Зависимость цены от спроса

Рис. 5.9б. Зависимость предложения от цены

$$p_d = \phi(d) = \frac{a_0}{a_1 + a_2 d}, \quad a_i = \text{Constant} \quad (5.6)$$

где d – спрос, а цены от предложения – соотношением

$$p_s = \phi(\sigma) = b_0 + b_1 \sigma + b_2 \sigma^2, \quad b_i = \text{Constant} \quad (5.7)$$

или параболой, где σ – предложение.

Если наложить графики этих функций и принять масштабы такие, чтобы число единиц, отложенных по осям d и σ совпало, то нетрудно из рисунка 5.10 определить точку устойчивости равновесия, когда цены по спросу и предложению равны.

Как видно из рисунков 5.9а, 5.9б, 5.10, чем больше спрос, тем большую цену может запросить производитель товара. Чем меньше цена, тем меньше предложение. Из кривых, изображенных на рис. 5.10 можно найти устойчивую цену, удовлетворяющую обе стороны.

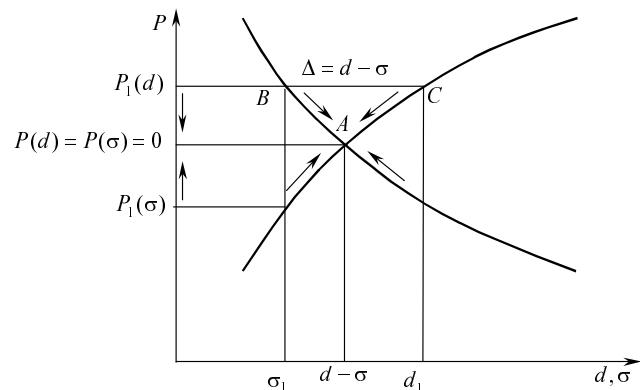


Рис. 5.10. Одновременное воздействие спроса и предложения на цену товара (A – точка устойчивого равновесия)

В самом деле, пусть производитель решил производить продукцию в объеме d_1 , и назначил цену $p_1(d)$. По такой цене его продукцию может купить только σ_1 покупатель. Производитель вынужден уменьшить выпуск продукции и снизить цену. При этом число покупателей увеличится. На графике 5.10 точки В и С сближаются. Отрезок $\Delta = d - \sigma$ изображающий разность между предложением и спросом, уменьшится. Такая ситуация будет продолжаться до режима, когда σ станет равной d (см. рис. 5.9в). Это и будет равновесная цена, когда спрос и предложение уравновешиваются. Нетрудно показать, что если начальная цена,

назначенная продавцом, будет ниже $p(d) = p(\sigma)$, продавец будет повышать ее до режима, когда цены $p(d)$ и $p(\sigma)$ совпадают.

5.9. Производственные функции

Одной из важнейших характеристик, определяющих возможностях предприятия, является его производственная функция.

Под производственной функцией в дальнейшем подразумевается зависимость между количеством произведенной продукции заданного качества и средствами, затраченными на ее изготовление. Она определяется как эндогенными, так и экзогенными факторами, управляемыми производственным процессом.

К эндогенным факторам относятся: оснащенность основным оборудованием и организация технологического процесса, обеспечивающая эффективность использования оборудования для переработки поступающих ресурсов, обеспеченность производственным персоналом.

К экзогенным – потребность в выпускаемой продукции, цены на продукцию и ресурсы, определяемые рыночной конъюнктурой, а также налоговая политика государства, а в исключительных случаях – государственный заказ, обычно распределяемый на конкурсной основе.

Методом деловых игр возможно произвести распределение бюджетных ассигнований (см. главу 12).

Для описания производственной функции в игровую модель необходимо ввести:

- параметр, характеризующий стоимость и качество основного оборудования. В наиболее общей форме он определяется величиной амортизационных издержек;
- параметр, характеризующий величину оборотных средств, в частности, цену ресурсов, затраченных на производство продукции i -го типа;
- обеспеченность кадрами.

Примечание. Для производства любой продукции необходимо использовать ресурсы нескольких типов; цена каждого из них в дальнейшем обозначается двумя индексами: индексом $-i$ - типом выпускаемой продукции, и индексом $-j$ - номером используемого ресурса. Так как рассматривается рыночная система экономики, фактор-дефицит ресурсов различного типа несущественен. Он автоматически учитывается в величине рыночной цены ресурса, поэтому учитывается только абстрактный ресурс – денежные средства, необходимые для приобретения любого ресурса на рынке;

- цена производимой продукции на рынке;
- параметр, характеризующий рациональность организации технологического процесса при производстве i -го продукта;

- коэффициент, определяющий моральный износ выпускаемой продукции на различных этапах ее жизненного цикла;

- коэффициент морального и физического износа основного оборудования на различных этапах его жизненного цикла.

Совокупность этих параметров позволяет определить важнейшие экономические показатели исследуемого объекта:

- себестоимость продукции;
- доход от ее реализации;
- прибыль и норму прибыли.

Идентификация производственной функции отчасти осуществляется на основе обработки статистических данных, собранных службой маркетинга, и частично в процессе деловой игры.

5.10. Идентификация производственной функции (идеализированная модель)

Рассматривается однопродуктовое предприятие, где в качестве единственного ресурса принята цена всех оборотных средств, условно названная обобщенным ресурсом. В экономике весьма часто зависимость между стоимостью продукции и ценой затраченного обобщенного ресурса выражается зависимостью

$$\Pi = \frac{k_1}{1 + k_2 e^{-k_3 \rho}} \quad (5.8)$$

где Π - текущая стоимость продукции; ρ - цена ресурса; $k_i, i = 1, 2, 3$ - постоянные коэффициенты.

График функции 5.8 представлен на рис.5.11 (кривая I) где Π_0 – стоимость минимального количества продукции, выпускаемого предприятием после запуска Π_1 – стоимость продукции в режиме, когда завершился пусковой режим и предприятие начинает стablyно функционировать; Π_2 – стоимость продукции, когда предприятие работает в оптимальном режиме; Π_3 стоимость продукции в режиме максимального перегруза, когда рентабельность предприятия в результате нарушения технологии делается равной нулю.

Соответствующие значения цены ресурсов – $\rho_0, \rho_1, \rho_2, \rho_3$ отложены по оси абсцисс.

С достаточной для ориентировочных расчетов на стадии проектирования системы точностью, на рабочем режиме функционирования предприятия график 5.11 может быть аппроксимирован степенной функцией

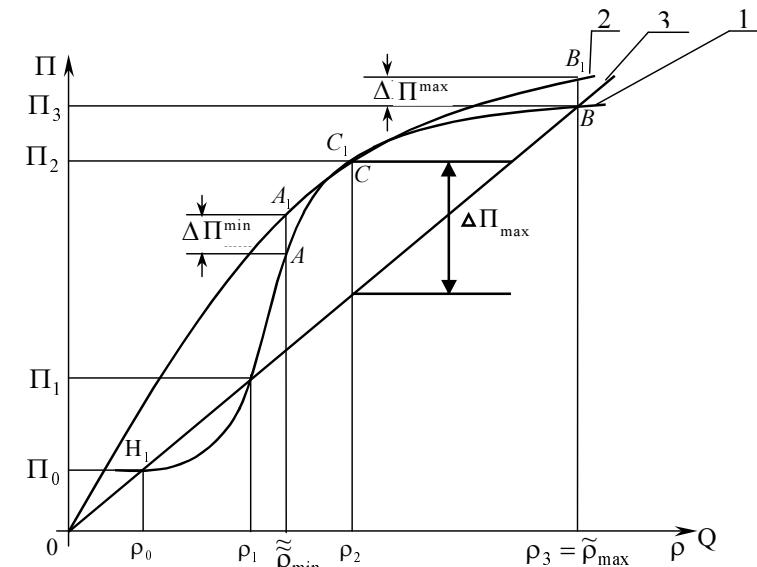


Рис. 5.11. Производственная функция – 1; ее модель – 2; затраты на оборотные средства – 3

$$\Pi = a\rho^\alpha \quad (5.9)$$

на рисунке линия 2.

Примечание. При моделировании производственной функции равенством (5.9) параметры a и α следует выбирать так, чтобы кривая проходила через точку С (см. рис. 5.11) и наилучшее приближение имело место на участке

$$\rho_{\min} - \rho_{\max}$$

Прежде чем перейти к основной задаче, связанной с определением оптимальных режимов работы, остановимся на возможности использования простейшей модели, представленной функцией (5.9). В этой функции коэффициенту a поставим в соответствие величину амортизационных расходов, характеризующих повышение качества и производительность основных средств производства, а параметру α – качество технологического процесса – его целесообразность и организованность. При одном и том же основном оборудовании эффективность применения данного процесса определяется организацией всего технологического цикла. В случае рационально построенной

технологии при недогрузе оборудования любое, даже незначительное, увеличение количества вводимых ресурсов, приводит к увеличению количества произведенной продукции. В то же время, если в точно согласованный технологический процесс ввести излишнее количество ресурсов, произойдет нарушение производственного цикла и в результате резко уменьшится рентабельность.

Эти особенности производства четко представлены на рис. (5.11). На характеристиках 1 и 2, изображенных на рисунке, участки АВ и A_1B_1 соответствуют рабочему режиму. Точка А отображает режим, когда предприятие после запуска производства начало работать по полному технологическому циклу, но еще не загружено оптимально. Точка С(C_1) отображает режим нормальной (оптимальной) нагрузки, когда предприятие дает максимальную прибавочную стоимость. Точка В изображает режим предельной загрузки, когда в результате чрезмерного перегруза технологического оборудования нарушается ритм производства настолько, что прибыль делается равной нулю. На рисунке, кроме производственной функции, представленной в виде логистической функции (5.9), изображен луч 3, представляющий соотношение

$$\Pi = c\rho = \sigma$$

выражающее цену затрачиваемых оборотных средств и основного оборудования в режиме, когда прибавочная стоимость равна нулю. Как видно из рисунка, в оптимальном режиме величина прибавочной стоимости определяется максимальным значением разности

$$a\rho^\alpha - c\rho = (\Delta\Pi)_{\max} \quad (5.10)$$

Примечание. При таком представлении производственной функции издержки на амортизацию основных фондов включены в член $c\rho$, что означает их линейную зависимость от количества переработанных ресурсов. Очень часто при квазистационарном режиме функционирования их учитывают отдельно. В ином случае производственную функцию нужно заменить на

$$\Pi = a\rho^\alpha - c\rho - \Pi_0 \quad (5.11)$$

где $\Pi_0 = Const$ – средняя величина амортизации при квазистационарном режиме функционирования предприятия.

Здесь необходимо отметить одно фундаментальное обстоятельство – производственная функция, записанная в формуле (5.9), выражает важнейший экономический закон, закон прибавочной стоимости.

Разность (5.10) отображает повышение стоимости готовой продукции за счет рациональной организации труда, в результате чего стоимость готовой продукции выше величины издержек на ее производство. В то же время стоимость не является полной рыночной оценкой произведенного продукта.

Как уже отмечалось, рыночная стоимость продукции определяется не только эндогенными параметрами производящей системы. Решающим фактором, определяющим рыночную стоимость продукции, является конъюнктура.

В условиях стабильной конъюнктуры рыночная стоимость (доход), который в дальнейшем обозначается буквой d , должна удовлетворять условию

$$d = \Pi. \quad (5.12)$$

В общем случае доход отличается от средней стоимости произведенной продукции, определяемой конъюнктурой. Таким образом, готовая продукция имеет две оценки: стоимость Π , определяемую эффективностью производственного процесса, и доход d – оценку, учитывающую реальную ситуацию на рынке. (Степенная функция, изображенная на рис.5.11 (кривая 2), отображает только особенности производственного процесса). Колебания, вызванные изменениями конъюнктуры при определении стоимости, пока не учитываются, так как здесь рассматривается квазистационарный режим.

В самом деле, внутренняя рентабельность предприятия зависит от разности между стоимостью продукции и издержками. У предприятий, где издержки равны доходу, прибавочная стоимость равна нулю. Условие равенства прибавочной стоимости 0 соответствует состоянию, когда производственная функция пересекается с прямой, см. рис. 5.11.

Прежде всего отметим, что включать в рабочий участок характеристики участки, расположенные правее точки В или левее точки А, не следует. Этим участкам соответствуют режимы, где прибавочная стоимость отрицательна.

Поэтому в дальнейшем под производственной функцией подразумевается только отрезок АВ .

Теперь рассмотрим, в каких пределах могут меняться коэффициент a и показатель степени α – с тем, чтобы они могли объективно отражать реалии рационально функционирующего предприятия. Для этого в выражении (5.9) примем $a=1$, $\alpha=1$. Тогда степенная функция обратится в уравнение прямой

$$\Pi = \rho = \sigma.$$

Пусть производится модернизация основного оборудования. Это означает, что параметр a принимает ряд значений $\{a\} = a_1, a_2, \dots, a_n$, таких, что $a_1 < a_2 < \dots < a_n$. Получим пучок лучей, проходящий через начало координат. Чем больше значение a , тем быстрее растет функция Π . Это свойство модели хорошо интерпретирует тривиальную истину: чем выше качество технологического оборудования, тем эффективнее перерабатываются ресурсы и тем больше производится продукции (см. рис. 5.12).

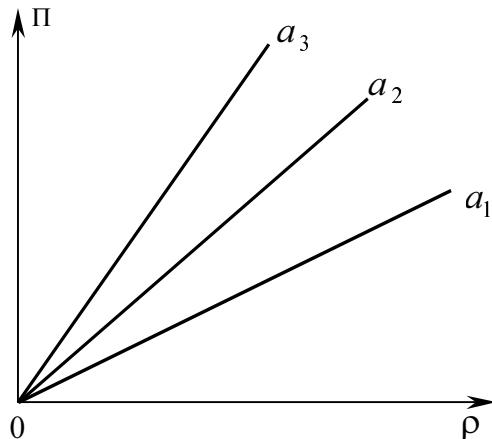


Рис. 5.12. Зависимость производственной функции от параметра a

$$a_1 < a_2 = 1 < a_3$$

Для выяснения значения параметра α – положим в функции (5.9) $a = 1$ (качество, а значит и стоимость, основного оборудования неизменны). Тогда формула имеет вид

$$\Pi = \rho^\alpha.$$

Рассмотрим три случая $\alpha_1 < 1; \alpha_1 = 1; \alpha_1 > 1$. Для всех трех случаев функция изображена на рис. 5.13.

Очевидно, что в случае, когда $\alpha \geq 1$, на всем рабочем участке характеристики предприятия работает в убыток. Когда $\alpha = 0$, предприятие не дает прибавочной стоимости, и только в случае $\alpha < 1$ предприятие ее создает.

Следовательно, останавливаясь на модели, представленной уравнением (5.9), нужно выбирать такую организацию производственно-

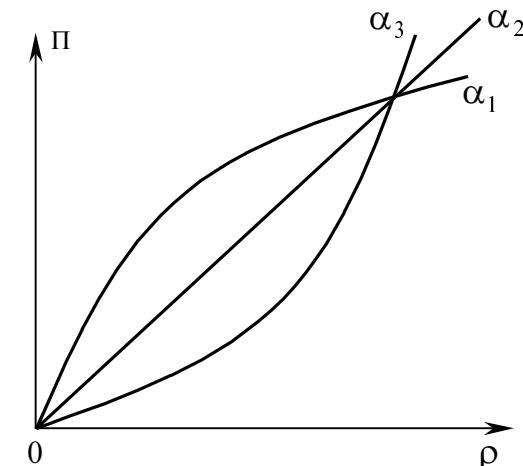


Рис. 5.13. Зависимость производственной функции от параметра α

$$\alpha_1 < 1; \alpha_2 = 1; \alpha_3 > 1$$

го процесса, когда параметр a наибольший, а параметр α лежит в диапазоне $0 < \alpha < 1$ имеет минимальное значение.

Учитывая, что a – и α являются функциями векторов Y, Z и ряда других факторов, определяемых эндогенной и экзогенной средами, эти параметры, если они зависят от менеджеров, должны быть выбраны так, чтобы по возможности величина a была бы максимальной, а α – минимальной в пределах $0 < \alpha < 1$.

В дальнейшем для описания производственного процесса i -го, $i \in \{i\}$, предприятия будет использоваться модель предприятия, представленная производственной функцией.

$$\Pi_i = a_i \rho^{\alpha_i}$$

Совокупность параметров a , α представляется в пространстве этих параметров, где величины a и α откладываются вдоль декартовых осей координат. Величина $r = \sqrt{a^2 + \alpha^2}$ характеризующая i -е предприятие, называется модулем вектора производственных параметров.

И коэффициент a , и показатель степени α являются сложными функциями параметров векторов Y, Z и многих внешних факторов. Под-

робно о векторах качества Y и технического уровня Z см. работу [5.3]. Уместно, однако, заметить, что некоторые из них, например, величины налогов, рыночные цены многих ресурсов, цена основного оборудования – величины более или менее определенные. С некоторым риском можно считать и рыночную стоимость готовой продукции среднего качества величиной в какой-то мере определенной. Но среди большого числа параметров, характеризующих общую конъюнктуру, с которой может столкнуться производитель товаров на рынке, есть и такие, о которых он имеет весьма и весьма приблизительное представление. К этим факторам прежде всего относятся параметры, характеризующие технический уровень производства конкурентов и качество продукции, которую они могут представить на рынок. Пока рассматриваются общие соображения, можно считать, что среди факторов, характеризующих значения параметров $a = \varphi_1(Y, Z)$ и $\alpha = \varphi_2(Y, Z)$, для каждой из функций существуют две группы значений. Первая – более или менее определенная, вторая – преимущественно мало известная менеджерам предприятия, планирующего производство новой разновидности традиционной продукции. В этой далеко неоднозначной ситуации лицо, принимающее решение, поставлено в неопределенное положение, когда приходится принимать решения в условиях риска.

5.11. Оптимизация режима функционирования предприятия

Выбирая оптимальный режим функционирования предприятия, сделаем ряд предположений.

Пусть в результате предварительной подготовки информации аналитику, оптимизирующему режим загрузки предприятия, известны значения параметров производственной функции. Тогда, исходя из принятых соглашений, модель производства можно представить соотношениями

$$\Pi = a\rho^\alpha; \quad \sigma = \rho; \quad \Delta\Pi = a\rho^\alpha - \rho \quad (5.13)$$

$$a > 1; \quad 0 < \alpha < 1 \quad (5.14)$$

Оптимальным считается режим, при котором прибавочная стоимость $\Delta\Pi$ получает максимальное значение (на этой стадии оптимизации емкость рынка считается неограниченной).

Следовательно, в рассматриваемом случае вопрос сводится к решению элементарной математической проблемы – задаче определения экстремума функции

$$\Delta\Pi = a\rho^\alpha - \rho \rightarrow \max \quad (5.15)$$

при условиях (5.14), когда емкость рынка неограничена.

Искомый экстремум определяется из условия

$$\frac{d\Delta\Pi}{d\rho} = 0 \quad (5.16)$$

откуда

$$\rho^* = \left(\frac{1}{a\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}}$$

и

$$\Pi^* = a \left(\frac{1}{a\alpha} \right)^{\frac{\alpha}{\alpha-1}}$$

Полученные таким образом значения Π^* и ρ^* обеспечивают максимум прибавочной стоимости

$$(\Delta\Pi)_{\max} = a \left(\frac{1}{a\alpha} \right)^{\frac{\alpha}{\alpha-1}} - \left(\frac{1}{a\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}}, \quad (5.17)$$

где

$$a > 1; \quad 0 < \alpha < 1.$$

Значительный интерес представляет выбор соотношений параметров a и α и количества ресурсов ρ при которых достигается оптимальное значение прибавочной стоимости $\Delta\Pi^*$. Для определения этих соотношений рассмотрим выражение (5.17), которое запишем в окончательной форме.

$$(\Delta\Pi)_{\max} = \left(\frac{1}{a\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) \quad (5.18)$$

Экстремальное значение (5.18) было получено при заданных значениях параметров a , α .

Планируя производство новой продукции, лица, принимающие решения, как правило, должны заботиться не только о выборе надлежащего плана, но должны совершенствовать и производство. Располагаемые средства должны быть выделены на оборотные фонды, на преобразование производства и улучшение технологического процесса.

Для решения этой задачи располагаемые денежные средства нужно использовать так, чтобы прибавочная стоимость в результате рационального распределения инвестиций стала максимальной.

При решении этой задачи исходными данными являются:

1. Производственная функция существующего процесса, представленная равенством

$$\Pi_0 = a_0 \rho_0^{\alpha_0}$$

и прибавочная стоимость, равная

$$\Delta\Pi_0 = a_0 \rho_0^{\alpha_0} - \rho_0$$

2. Стоимостные характеристики, определяемые функциями:

- себестоимостью оборудования – $S_a(\bar{a}, \bar{\alpha}, \bar{\rho})$, где $\bar{a} = a_0 + a$; $\bar{\alpha} = \alpha_0 + \alpha$; $\bar{\rho} = \rho_0 + \rho$; (a, α, ρ) – малые приращения параметров;

- себестоимостью модернизации технологического процесса $S_\alpha(\bar{a}, \bar{\alpha}, \bar{\rho})$;
- себестоимостью оборотных средств $S_\rho(\bar{a}, \bar{\alpha}, \bar{\rho})$;
- суммарной себестоимостью производственного процесса

$$S = S_a(\bar{a}, \bar{\alpha}, \bar{\rho}) + S_\alpha(\bar{a}, \bar{\alpha}, \bar{\rho}) + S_\rho(\bar{a}, \bar{\alpha}, \bar{\rho}).$$

Предполагается, что:

- основной капитал состоит из двух частей:

$$S = S_0 + \Delta S,$$

где S_0 – стоимость существующего процесса; ΔS – возможный объем новых инвестиций;

- приращения составляющих a, α, ρ малы по сравнению с их начальными значениями a_0, α_0, ρ_0 .

$$(a < a_0; \quad \alpha < \alpha_0; \quad \rho < \rho_0) \quad (5.19)$$

Требуется:

распределить инвестиции ΔS так, чтобы в результате совершенствования производства прибавочная стоимость $\Delta\Pi$ достигала максимума.

Учитывая принятые положения, функцию можно представить в виде

$$\Pi = (a_0 + a)(\rho_0 + \rho)^{(\alpha_0 + \alpha)}$$

Тогда прибавочная стоимость

$$\Delta\Pi = (a_0 + a)(\rho_0 + \rho)^{(\alpha_0 + \alpha)} - (\rho_0 + \rho) \quad (5.20)$$

и ограничение представится равенством

$$S = S_0 + S_a + S_\alpha + S_\rho$$

Для оптимизации функционала введем множитель Лагранжа и запишем оптимизируемый функционал в виде

$$\Delta\Pi = (a_0 + a)(\rho_0 + \rho)^{(\alpha_0 + \alpha)} - (\rho_0 + \rho) + \lambda [S - (S_0 + S_a + S_\alpha + S_\rho)] \rightarrow \max$$

Согласно принятому положению о малости приращений a, α, ρ функционал допустимо линеаризовать. Но предварительно определим условия экстремума. Они имеют вид

1. $(\rho_0 + \rho)^{(\alpha_0 + \alpha)} - \lambda \frac{\partial}{\partial a}(a, \alpha, \rho) = 0$
2. $(a_0 + a) \ln(\rho_0 + \rho) (\rho_0 + \rho)^{(\alpha_0 + \alpha)} - \lambda \frac{\partial}{\partial \alpha}(a, \alpha, \rho) = 0$
3. $(a_0 + a)(\alpha_0 + \alpha)(\rho_0 + \rho)^{[(\alpha_0 + \alpha) - 1]} - 1 - \lambda \frac{\partial}{\partial \rho}(a, \alpha, \rho) = 0$
4. $S - [S_0 + (S_a + S_\alpha + S_\rho)] = 0 \quad (5.21)$

$$\frac{\partial S_a}{\partial a}; \quad \frac{\partial S_\alpha}{\partial \alpha}; \quad \frac{\partial S_\rho}{\partial \rho}$$

Система 1-4 нелинейная. Учитывая принятые предположения о малости величин a, α, ρ , эти уравнения можно линеаризовать.

После исключения λ и линеаризации получится система

$$k_{12}\alpha + k_{13}\rho = k_{10};$$

$$k_{21}a + k_{22}\alpha + k_{23}\rho = k_{20}; \quad (5.22)$$

$$k_{31}a + k_{32}\alpha + k_{33}\rho = k_{30},$$

где

$$k_{ij} = k_{ij}(a_0, \alpha_0, \rho_0);$$

$$i, j \in \{1, 2, 3\}.$$

Решив систему (5.22), нетрудно определить значения a^*, α^*, ρ^* и λ^* , доставляющие экстремум функционалу $\Delta\Pi$ в точке, где прибавочная стоимость максимальна.

Теперь мы получим возможность определить значение оптимального выпуска. Согласно выражению (5.20) оно равно

$$\Delta\Pi = (a_0 + a^*) (\rho_0 + \rho^*)^{(\alpha_0 + \alpha^*)}.$$

Иногда организатору производства приходится решать задачу, как следует вкладывать располагаемые средства. Только ли:

- в совершенствование нового оборудования?
- в улучшение организации технологического процесса?
- в расширение производства?

Или предпочтительней вкладывать средства:

- одновременно в оборудование и технологический процесс?
- одновременно в технологический процесс и оборотные средства?
- одновременно в оборотные средства и оборудование?

Или же в изменение всех трех составляющих параметров $\bar{a}, \bar{\alpha}, \bar{\rho}$?

С помощью полученной системы (5.22) нетрудно рассмотреть все варианты и ответить на все эти вопросы.

Полученные решения ориентировочные, так как модель не охватывает всего многообразия реальных процессов, однако она полезна тем, что позволяет оценить возможные пути развития. Располагая этими данными и имея в виду факторы, не охваченные моделью, организатор производства может принимать более обоснованные решения.

Резюме

Предложена и обоснована иерархическая модель глобальной экономики. В первый уровень модели включено все множество предприятий, на которых производится валовой продукт мировой экономики. На втором, третьем, четвертом и пятом представлено множество отраслевых рынков, множество рынков государств, множество рынков экономических блоков и рынок глобальной экономики, функци-

онирующих в среде, откуда Система черпает ресурсы, и куда отводится произведенный продукт.

Сформулированы основные понятия и определены взаимные отношения между элементами модели.

Цитированные источники

5.1. Дабагян А. В. Модель образования волновых процессов в социально-экономических процессах//Проблемы машиностроения и автоматизации, 1996, №3–4.– С.35–48.

5.2. Энциклопедия.

5.3. Дабагян А. В. Качество, технический уровень, унификация и эффективность развивающихся технико-экономических систем.– М.: Издательство стандартов, 1992.– 172с.

5.4. Ланге О. Введение в экономику.– М.: Прогресс, 1964.– 295 с.

ГЛАВА 6. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ (СТАТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ)

6. 1. Экзогенные и эндогенные факторы, определяющие развитие технико-экономических систем

Развитие научно-технического прогресса сопровождается рядом волновых процессов на всех уровнях экономики. Процесс преобразований начинается на отдельных предприятиях, производящих материальные и духовные блага и, затем, распространяется на всю отрасль. Развитие сопровождается непрерывным изменением средств производства. Изменяются как орудия производства, так и трудовой потенциал популяции. Некогда благополучные предприятия и отрасли, поставлявшие на рынок продукцию, вполне удовлетворявшую взыскательные вкусы потребителей, в связи с возникновением новых технических идей и новых технологических возможностей устаревают. Это вынуждает менеджеров непрерывно модернизировать производимую продукцию и совершенствовать производственный процесс. Перед лицом, принимающим решение, непрерывно возникают задачи совершенствования производимой продукции и снижения ее себестоимости.

Из широкого спектра задач, которые рыночная конкуренция ставит перед руководителем, решающим проблему максимизации своей прибыли, рассмотрим важнейшие, определяющие его техническую и финансовую политику. Этими задачами являются:

- достоверный маркетинг;
- оптимизация качества производимой продукции;
- оптимизация режима поставок продукции;
- своевременная модернизация продукции;
- своевременная модернизация производства.

Изучению проблемы маркетинга посвящены многие работы (см. например [6.1]). Автор далек от мысли рассматривать эту проблему в полном объеме. Свои соображения по поводу организации маркетинга я изложил в монографии [6.2], где поставлена и решена важнейшая задача формирования критерия оптимума для проектирования и составления заказа.

Изучение волновых процессов целесообразно начать с рассмотрения проблемы синтеза отдельных волн.

Эта задача обычно сводится к оптимизации типоразмерных рядов комплексов технических средств (ТРР КТС) и отдельных элементов, членов этих рядов.

Хотя КТС имеют динамическую природу, их структуры формируются на статических моделях. В этой главе излагается оригинальная методика проектирования, позволяющая строить ряды с помощью статических моделей. Динамические модели технико-экономических волн рассматриваются в главах 7, 10 и 11.

Проблема проектирования оптимальной системы продукции не исчерпывается разработкой методов аналитического построения оптимального типоразмерного ряда. Чтобы типизация КТС, образующих оптимальные ряды, обеспечила эффективность разрабатываемой системы, необходимо расширить границы технико-экономической среды, в пределах которой рассматривается инженерная задача. Одновременно в самой системе следует искать факторы, влияющие на ее развитие.

Остановимся на проблеме определения исходных данных, положенных в основу экономического и ситуационного анализа среды, в которой должна функционировать проектируемая система.

Речь идет о надежном прогнозировании потребностей и возможных путях их удовлетворения. В литературе проблеме прогнозирования посвящено большое число работ ([6.3] и др.). Известны два взаимно дополняющие подхода к решению проблемы.

Один из них основан на математическом анализе статистического материала. Другой ориентируется на экспертные оценки, базирующиеся на интуитивных представлениях специалистов.

Строгие формализованные методы анализа позволяют не только экстраполировать наметившиеся тенденции, но и определить доверительные интервалы, ограничивающие достоверность полученных решений.

Обладая достоинствами количественного анализа, эти методы оказываются беспомощными, когда в процессе развития прогнозируемых систем происходят разрывы функций, вызванные факторами мало или вовсе не отраженными в статистическом материале. Именно с такой ситуацией сталкивается проектант, разрабатывающий продукцию длительного пользования. Это имеет место потому, что развитие научной мысли, стимулирующей новые технические идеи, подвержено спонтанным колебаниям, происходящим по плохо изученным стохастическим законам. Немалую роль в неопределенности путей развития играет конкуренция, вынуждающая производителей скрывать все значительные технические новинки. Наконец, существенное влияние оказывает эволюция интересов потребителей.

Поэтому в математических моделях, основанных на статистической информации, очень часто отсутствуют факторы, предопределяющие оптимальную траекторию развития. Решения, принятые на основе таких технико-экономических моделей, чреваты грубыми просчетами.

В то же время, если в строгую математическую модель удается ввести факторы, значения которых на первый взгляд мало влияют на развитие системы, но сильно отражаются на градиентах ее эндогенных и экзогенных параметров, прогнозы оказываются толерантными.

Экспертные оценки, опирающиеся на ограниченный статистический материал, в котором малозаметные, но определяющие факторы не подчеркнуты, в отличие от полученных на формализованных моделях, могут быть весьма правдоподобными.

Деятельность эксперта от деятельности специалиста, оперирующего с математической моделью, отличается тем, что, обращаясь к интуиции, эксперт в состоянии найти ассоциации, источник которых, даже для него, не всегда очевиден.

Заключения экспертов, на первый взгляд, не подкрепленные строгими законами математической логики, опирающиеся на нечетко определенные ассоциации, оказываются более продуктивными, чем выводы, полученные на мало адекватных математических моделях.

Можно привести несметное число примеров, иллюстрирующих преимущество того или иного подхода к решению задачи прогноза.

Не вдаваясь в тонкости выявления оптимальных сфер применимости этих подходов для решений нашей задачи, целесообразно привести пример блестящего анализа развития технико-экономической системы, выполненного в 1975 г. Речь идет о перипетиях конкурентной борьбы двух гигантов автомобильной промышленности – «Дженерал Моторс» (ДМ) и «Форд. Моторс Корпорейшн» (ФМК), исследованной в работе Мак Дональда «Игра называется бизнес» [6.4]. Ниже приводится краткий пересказ этой работы.

К началу очередной схватки в конкурентной борьбе, в 1921 г. ФМК была лидером и производила более половины всех автомобилей, ДМ была второй. Она производила около 10 % машин. При этом денежная сумма продаж обеих фирм была примерно равна. Форд производил самые дешевые в то время автомобили. Их конструкция, созданная еще в 1908 г. в течение последующих 15 лет не претерпела существенных изменений. Ориентируясь на базовую «Модель Т» в течение многих лет, Форд вводил только локальные коррекции, направленные на всемерное повышение надежности деталей, уточнение хорошо отработанной технологии производства, совершенствование отдельных узлов и их отладку.

Вступая в борьбу с фирмой ФМК, ДМ к началу 1921 г. выпускала машины разных категорий, начиная с дешевых, по классу близких к модели Т, и кончая самыми фешенебельными. Более надежная машина «Модель Т» в начале 1921 г. стоила 415 долл., тогда как машина

«Шевроле» корпорации ДМ типа «Фаэтон», того же класса, стоила 820 долл.

Начиная борьбу за рынки, экономисты ДМ, возглавляемые Альфредом Слоуном, прежде всего проанализировали потребности и финансовые возможности покупателей. Ими была построена эвристическая модель рынка, которая по своему смыслу эквивалентна понятию «поле заявок», введенному нами в работах [6.5-6.7]. Было установлено, что различные группы потребителей в соответствии со своими денежными доходами в состоянии приобретать автомобили разной степени комфортабельности. В США покупатели того времени были согласны платить за автомобиль от 450 до 3500 долл. и выше. Потребности покупателей аналитиками ДМ были объединены в шесть классов заявок, которые по шкале стоимости автомобилей распределялись следующим образом:

1-й класс – покупатели, согласные платить от 450 до 600 долл. (самые массовые потребители);

2-й класс – от 600 до 900 долл.;

3-й класс – от 900 до 1200 долл.;

4-й класс – от 1200 до 1700 долл.;

5-й класс – от 1700 до 2500 долл.;

6-й класс – от 2500 до 3500 долл. и выше.

(Это покупатели, способные приобретать машины, изготовленные по специальному заказу).

Предметом конфликта был рынок покупателей, способных платить за автомобиль до 600 долл. К началу рассматриваемых событий этим рынком безраздельно владела ФМК.

Сопоставив стоимости своего самого дешевого автомобиля со стоимостью «Форд Модель Т», ДМ пришел к выводу о необходимости снизить его стоимость при существенном совершенствовании качества.

Вступая в борьбу с Фордом, ДМ должна была либо идти по пути снижения цены до уровня Форда, либо повысить качество и техническое совершенство своих автомобилей до такого уровня, при котором покупатели машин 1-го класса согласились бы платить до 600 долл. за более комфортабельную и технически совершенную машину. ДМ, учитывая экономическую ситуацию в стране, а также понимая, что будущее за прогрессивными техническими решениями, выбирала стратегию, основанную на коренном совершенствовании машин. В качестве компромисса на начальном этапе борьбы ДМ дошла на снижение рыночной цены своего более совершенного автомобиля с целью потеснить Форда. При этом она была готова на неизбежные потери с тем, чтобы довести число проданных машин до 200000 в

год. Продажа большого числа машин по расчетам ДМ должна была обеспечить фирме стабильную прибыль.

Эксперты ДМ, наряду с анализом экономической ситуации в стране, тщательно проанализировали тенденции развития самого автомобиля. Было установлено, что двигатель с воздушным охлаждением не перспективен и ДМ отказалось от идеи создания такого двигателя для машин массового спроса. В то же время была доказана необходимость создания жесткого кузова с закрытым верхом, установка электростартера, замена жестких колес съемными и т. д.

В результате, рыночная цена «Шевроле» при себестоимости 820 долл. была снижена до 525 долл. Реакцией ФМК на этот ход было снижение цены. Автомобили модели Т продавались по цене 355 долл.

Учитывая новшества, установленные на «Шевроле» типа «Фаэтон», фактическая разница себестоимости и цены стала равной 90 долл. Доллары были затрачены на установление стартера, замену жестких колес на съемные и ряд других новшеств, повышающих комфортабельность автомобиля. Модель Т осталась неизменной.

Доведя продажу своих автомобилей до 70000 шт. в год, ДМ понесла значительные убытки, но подготовила более совершенную конструкцию новых машин, чем привлекла многих покупателей.

Демпинговое снижение цен на «Шевроле» привело к тому, что новый более совершенный и комфортабельный автомобиль немного потеснил Форда. Форд настойчиво продолжал выпуск «Модели Т» и за счет глубоко продуманной технологии снизил стоимость до 300 долл. ДМ же, привлекая покупателей машин 1-го класса, продолжала совершенствование продукции и добилась того, что в 1927 г. более дорогие автомобили «Шевроле» повсеместно предпочитались фордовской «Модели Т». ФМК была вынуждена приостановить выпуск продукции и срочно приступить к разработке новой модели. Таким образом, на этом этапе борьбы она потерпела полное поражение. К тому времени, когда ФМК начала выпускать новую модель, на рынке дешевых автомобилей первенствовала ДМ.

Кратко изложив основную коллизию начальных этапов борьбы соперничающих фирм, мы имеем возможность рассмотреть ее дальнейшие перипетии.

Но прежде подведем итоги рассмотренному примеру.

Из работы Мак Дональда видно, что стратеги ДМ, возглавляемые А. Слоуном, произвели четкое разделение внешних и внутренних факторов, определяющих успех борьбы.

Из экзогенных параметров решающими были сочтены: повальное увлечение американцев автомобилями; основная тенденция раз-

вития экономики; рост благосостояния населения; финансовые возможности отдельных групп потенциальных покупателей.

Изучение макроэкономических процессов позволило определить структуру будущего рынка автомобилей.

Не менее строгому анализу были подвергнуты эндогенные процессы, имеющие место в сфере производства автомобилей. Исследовались основные пути развития конструкции автомобиля. Оценивая множество кардинальных и второстепенных по последствиям предложений, ДМ разработала для шести классов покупателей шесть классов автомобилей: «Шевроле», «Понтиак», «Олдсмобиль», «Бюик», «Кадиллак» и машины, производимые по специальному заказу.

Шкала относительных значений определяющих параметров автомобилей массового производства пяти типов, разработанная еще в 1921 г., сохранилась до сих пор.

Между прочим, последнее говорит о стабильности социальной структуры США.

В наше время, не выходя за рамки значений определяющих параметров автомобилей пяти классов, ДМ стремится максимально удовлетворить требования отдельных групп покупателей «... до недавнего времени ДМ выпускала 172 модификации автомобилей пяти классов» [6.3]. При всей широте спектра свойств производимых автомобилей» ... «ДМ вложила немало денег, стремясь каждой марке придать свое лицо. «Олдсмобиль», к примеру, только тогда имел право на существование, когда покупатель уверен, что это не «Понтиак» в обличии «Олдсмобиль» [6.8].

Другая группа эндогенных факторов определяет технологию производства. Стремление повысить технический уровень вынудило, несмотря на желание максимально удовлетворить запросы покупателей, произвести предельную унификацию. Согласно [6.8], «с целью достижения большей экономии с конвейера снимаются неконкурентоспособные модели. К 1992 г. концерн предлагает клиентам Северной Америки всего 132 модификации, тогда как два года назад их было 172...» Уменьшив число дополнительных удобств и произведя стандартизацию некоторых комплектующих, ДМ снизила число деталей, необходимых, к примеру, для сборки седанов «Понтиак сандбэрд» до 2727, в то время как два года назад их было 3883....Группа инженеров, находящихся на почасовой оплате, придумала, как снизить число используемых штампов с 93 до 38, а число прессов – с 93 до 10. Ежегодная экономия на этих нововведениях поистине захватывает дух: 52 миллиона долларов».

Совершенствование технологии, уменьшение номенклатуры деталей способствовали повышению качества. ... «ДМ почти удалось сравнять-

ся с «Фордом» по такому показателю, как число дефектов на 100 проданных автомобилей. В этом отношении она догоняет и японцев: в 1982 г. на единицу продукции ДМ приходилось 2,7 дефекта против 1 на каждой японской машине; в прошлом году соотношение стало 1,4 к 1» [6.8].

Рассмотренные аспекты проблемы проектирования машин вынуждают искать новые для нашего машиностроения пути, впрочем, давно пройденные зарубежными фирмами.

6.2. Некоторые общие соображения о построении поля заявок

Опыт коллектива, с которым долгие годы работает автор, занимающийся проблемой построения развивающихся технико-экономических систем, свидетельствуют о том, что при формировании прогноза на основании только математических моделей, как правило, не обеспечиваются эффективные решения. Не всегда удовлетворительны и результаты экспертных оценок.

По нашему мнению наиболее эффективен комбинированный подход, где предложения экспертов сочетаются с математической моделью.

Но и при такой постановке у нас в стране камнем преткновения является полное отсутствие необходимой статистической информации. Ее не хватает даже для ретроспективного определения относительных весов данных, полученных из статистических таблиц и оценок экспертов. В этой связи автор считает необходимым отметить безразличие к проблемам статистики официальных органов, управляющих развитием техники.

Игнорирование статистики и отсутствие системы в ее сборе, сортировке и первоначальной обработке препятствует маркетингу, предопределяющему успех деятельности многих тысяч работников, проектирующих и производящих системы машин.

Может быть не совсем канонизирован в написании монографий прием – включать в книгу полемические эмоции, но уж очень уместно сослаться на печальный опыт автора. С 1972 г. наш коллектив ведет исследования в области проектирования развивающихся технико-экономических систем. Начиная с 1979 г., после издания монографий [6.5–6.7], автор делал неоднократные попытки предложить использовать разработанный метод проектирования оптимальных типоразмерных рядов машин. Однако эти попытки, к сожалению, ничем не увенчались. Метод был проигнорирован.

Убедившись в несостоятельности попыток заинтересовать наиболее компетентные государственные органы, ответственные за выбор стратегической концепции отечественного машиностроения, мы вновь

пытались найти необходимую информацию в «открытой» печати. На основе скучной информации, почерпнутой из каталогов, ценников, описаний на страницах «открытой» печати вследствие ее фрагментарности, создать сколько-нибудь достоверную картину о потребности и возможных путях ее удовлетворения не удалось. Пришлось возвратиться к первым попыткам, относящимся к началу работы над созданием концепции. Еще в 1975 г. ученик автора, тогда студент дипломник, к сожалению, рано скончавшийся, Г. А. Звенигородский в течение двух лет собирая материал, позволявший в самом первом приближении решить проблему построения типоразмерного ряда грузовых железнодорожных вагонов. Построение ряда было осуществлено методом дихотомии, разработанным автором данной работы [6.5, 6.6].

В результате расчетов Г. А. Звенигородским (см. [6.5]), было доказано, что рационально построенный типоразмерный ряд железнодорожных вагонов позволил бы сократить ежегодные издержки на перевозку основных народнохозяйственных грузов на 41%, что тогда составило 1 млрд 400 млн. руб.

Повторное решение задачи было выполнено методом прикрепления заявок, подробно изложенным в настоящей работе и впервые опубликованным в книге [6.7]¹. Решения, полученные обоими методами, почти полностью совпали, отклонения не выходили за принятую точность расчета. Однако алгоритмически это решение оказалось более простым и не требовало включения в процесс решения человеко-машинных процедур.

К сожалению, как и в первом расчете, из-за отсутствия достоверного материала о динамике потребностей и производственных возможностях предприятий, производящих подвижной состав железнодорожных вагонов, пришлось ограничиться только построением типоразмерного ряда в стационарных условиях.

Автор вполне отдает себе отчет в том, что замена существующего парка машин на оптимальный вариант не может быть выполнена мгновенно. Несмотря на это возможный экономический эффект, определяемый суммой порядка полутора миллиарда рублей только в одной из машиностроительных подотраслей, заставляет обратить пристальное внимание на предложенный подход.

Огромные дополнительные возможности по повышению эффективности проектируемой системы связаны с последовательным внедрением принципов унификации и стандартизации. Этой проблеме посвящены следующие разделы.

¹Повторное решение методом прикрепления заявок было выполнено инженером И. К.Стратиенко в 1987 г.

Остановимся на проблеме проектирования. Приступая к решению задачи, конструктор, прежде всего, должен решить проблему – собирается ли он создать обслуживающее устройство, предназначенное для удовлетворения отдельной заявки, или проектируемому объекту предстоит обслуживать все поле заявок?

Колебания самой высокой частоты возникают на предприятиях, производящих устройства, предназначенные для обслуживания отдельных заявок. В деятельности предприятий, предназначенных для обслуживания всего поля, производящих типоразмерные ряды, колебания имеют более низкую частоту. Однако, в среднем, частоты смеси модификаций обслуживающих систем различаются мало, так как необходимость совершенствовать выпускаемые изделия объективно диктуется экзогенными условиями.

Согласно энциклопедии, под «унификацией» подразумевается «... рациональное сокращение числа объектов одинакового функционального назначения; в технике под унификацией понимают приведение различных видов продукции и средств ее производства к наименьшему числу типоразмеров, марок, форм, свойств и т. п.».

Другим кардинальным понятием техники является «стандартизация». В той же энциклопедии стандартизация определяется как « ... процесс установления и применения стандартов», а под «стандартом» в «широком смысле слова (подразумевается – *Прим. А. Д.*) образец, эталон, модель, принимаемые для сопоставления с ними других объектов».

«Стандарт определяется как нормативно-технический документ, устанавливающий комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации и утвержденный компетентными органами».

Кроме этих общеизвестных понятий, необходимо для дальнейшего изложения использовать ряд специальных терминов (см. [6.7] и главу 1 настоящей работы).

Системой обслуживания (СО) условимся называть совокупность машин, устройств или сооружений, предназначенных для выполнения всего множества работ или услуг, определенных на уровне решения однотипных задач экономики в масштабе всего народного хозяйства.

Для осуществления взаимосвязанного поведения частей системы она должна иметь определенную структуру, которая может быть расчленена на декомпозиционные множества компонент в КТС, подсистемы, агрегаты, узлы (сложные и простые) и элементы, т. е. является совокупностью отношений между частями декомпозиционного множества, обеспечивающего его целостность, организацию и функционирование.

Морфологическая структура – порядок вхождения отдельных частей в целое.

При анализе СО ее морфологическую структуру удобно изобразить в виде древовидного графа входности. На этом графе всю СО, представленную как целое, изображают корневой вершиной – узлом нулевого уровня. Узел нулевого уровня отражает все возможные варианты полностью укомплектованных СО данного назначения, представляемые как целое.

На следующем уровне иерархического графа (первый уровень) располагаются узлы, отображающие КТС. Каждый уровень содержит описание полного множества КТС одного и того же назначения. Из совокупности КТС, описание которых включено во все узлы первого уровня, возможно синтезировать любую СО, включенную в узел нулевого уровня. Следовательно, на первом уровне графа, как и на нулевом, имеется описание всех вариантов СО, детализированное до уровня КТС.

На втором уровне каждому узлу первого уровня, изображающему КТС одного назначения, инцидентны узлы, изображающие множества подсистем, из которых можно синтезировать соответствующий КТС. Следовательно, в узлах второго уровня, как и в узлах двух предыдущих, содержится информация, достаточная для синтеза любой СО, включенной в узел нулевого уровня. Однако в отличие от информации, содержащейся в узлах верхних уровней, здесь информация СО детализирована до уровня подсистем, из которых состоят КТС.

Граф морфологической структуры разворачивается вплоть до достижения элементов по всем ветвям.

Элементом называют компонент любого уровня, который в процессе анализа рассматривают как неделимый.

При построении графа морфологической структуры (МС) по различным его ветвям можно достичь элементов на самых различных уровнях. Поэтому, как только хотя бы в одной из ветвей будет достигнут уровень элементов, на следующих уровнях свойство графа морфологической структуры содержать все части, образующие СО, будет нарушено.

Для сохранения единства при построении графа элемент на всех последующих уровнях изображают в виде единственного узла следующего уровня, инцидентного узлу, изображающему элемент. Построение графа считают завершенным после достижения уровня, на котором все узлы отображают только элементы.

Строго иерархический граф, полученный в результате морфологического анализа, называют графиком входности. Узлы любого уровня графа входности нагружаются информацией о конструктивном выполнении всех вариантов соответствующего компонента, отображенными данным узлом.

Примечание. В дальнейшем термин «узел» может означать и узел графа, и узел конструкции. Эта неопределенность вызвана объединением в одном тексте терминологии, принятой в двух научных дисциплинах. Автор надеется, что неопределенность каждый раз будет сниматься дополнительной информацией, содержащейся в тексте.

Граф может быть построен и для одного КТС и его отдельных узлов.

Для построения морфологической структуры, представленной в виде графа входности, введем обозначения: $v \in \{0,1,K,N\}$ – множество уровней древовидного графа иерархии подсистем; B^0 – все возможное множество СО, представленных как одно целое; B^v – все множества подсистем v -го уровня, включенных во все возможные структуры СО на v -м уровне членения конструкций; ${}_v\beta = \beta^1, \beta^2, K, \beta^i, K, \beta^{v-1}, \beta^v$ – многозначный номер подсистемы конструктивного выполнения узла уровня v . В обозначениях номеров β^v означает номер узла на уровне v а ${}^v\beta$ – перечень всех узлов, включенных в одну из ветвей иерархического графа, проходящую от узла β^v к узлу β^0 – k -й вариант КТС, описанный на уровне v ; $k \subset K$ – номер варианта КТС; $k = \{0,1,K,K\}$ – множество вариантов, β^{vk} – k -й вариант узла β^v .

В дальнейшем считается, что каждый узел β^{v-1} из B^v непосредственно входит в ${}^v\beta$ из ${}^v\beta$.

Это означает, что любая ветвь ${}^v\beta^k$ содержит ветвь ${}^{v-1}\beta^k$.

Граф входности всегда имеет древовидную форму. Следовательно, любой узел или элемент нижнего уровня v непосредственно входит только в одну подсистему $v-1$ -го уровня.

Рассмотренная выше МС отражает пространственно-содержательные отношения, определяющие геометрическую целостность разрабатываемого изделия. В процессе конструирования проектировщик должен так подобрать единственную совокупность элементов и узлов, чтобы они обеспечили конструктивную и функциональную целостность объекта, гарантирующую его оптимальное функционирование. Однако граф МС не содержит всей информации, необходимой и достаточной для обеспечения функциональной работоспособности проектируемого КТС. Дополнительная информация, позволяющая отобразить функциональную целостность объекта, представляется функциональной структурой (ФС), которая при решении задачи оптимизации в дальнейшем отображается в форме алгоритмических ограничений.

Но и этой информации недостаточно, так как ни МС ни ФС не содержат данных о влиянии основных параметров объекта на тех-

нико-экономические характеристики проектируемых систем и их узлов.

Для исчерпывающего представления о параметрах, влияющих на оптимальность проектируемой системы, необходимо, помимо информации, включеной в МС и ФС КТС, располагать данными о существующих новых технологических процессах производства компонент СО и о системах, обеспечивающих нормальную экспедицию и эксплуатацию намечаемых к производству КТС. Оптимальная совокупность всех перечисленных параметров должна обеспечить максимальную экономическую эффективность СО при условии удовлетворения ограничений по качеству.

В этой связи представляет интерес создание единой информационной системы, включающей в себя все множество параметров, необходимых для синтеза оптимальной конструкции проектируемой СО, обеспечивающей максимальную эффективность затраченных средств.

На наш взгляд, информационной основой для автоматизированного проектирования технико-экономических СО и их узлов является система оптимальных стоимостных характеристик (ОСХ).

Исходная информация о проектируемой системе содержится в графах МС и в модели ФС, а также в статистических данных о себестоимости отдельных элементов, узлов, агрегатов, КТС, обобщающих ретроспективный опыт.

МС содержит информацию, необходимую для комплектования, производства и сборки отдельных КТС и всей СО в целом. Но в процессе синтеза решающее значение имеет и функциональная целостность СО. Задача состоит в составлении моделей, объединяющих МС, ФС и технико-экономические параметры в единую математическую систему, гарантирующую максимальную эффективность.

В дальнейшем предполагается, что ФС и граф МС приведены к древовидной структуре.

Рассмотрим вектор технических параметров k -го варианта СО. Обозначим ${}^0\mathbf{X}^k = [{}^0x_1^k, K, {}^0x_j^k, K, {}^0x_m^k]^T$, что означает – вектор ${}^0\mathbf{X}^k$ содержит $\{{}^0x_j^k\}$ составляющих.

Каждую из подсистем или элементов можно описать также в виде векторов ${}_{\beta^v}\mathbf{X}^k$ состоящих из $\{{}_{\beta^v}\mathbf{x}_j^k\}$, где $j \in \{1, K, m\}$ – номер параметра; k – номер варианта; v – уровень иерархии; β^v – номер

узла уровня v . Тогда можно утверждать, что для каждого из вариантов системы, если она представлена в виде строго иерархического графа входности, справедливы условия:

$$\begin{aligned}\beta^{v-1} \mathbf{X}^k &= \Psi \left\{ \beta^{v-1} \mathbf{X}_j^k \right\} = \phi \left\{ \beta^v \mathbf{X}_j^k \right\}, \\ \beta^{v-1} S^k &= \Psi_1 \left\{ \beta^{v-1} \mathbf{X}_j^k \right\} = \phi_1 \left\{ \beta^v \mathbf{X}_j^k \right\},\end{aligned}$$

где S^v стоимость для $\forall \beta^v$, удовлетворяющих условию $\beta^{v-1} \in^v \beta$.

Предполагается, что на всех уровнях от уровня 0 до N в узлы включены только такие варианты, составляющие которых могут функционировать совместно, то есть, соответствуют графу ФС.

Построение иерархического графа отнюдь не является панацеей, избавляющей конструктора от необходимости согласовывать параметры функционально коррелированных узлов и элементов. Чтобы учесть взаимное влияние звеньев не только по вертикали, но и по горизонтали, граф следует дополнить рядом условий, констатирующих взаимное влияние элементов, звеньев, узлов и т. д. Эти условия отображают возможность представления системы в виде целого. С точки зрения математика, разрабатывающего структуру СО, они должны представлять ограничения, предопределяющие возможность отбора такого сочетания элементов, которое обеспечит оптимальное выполнение функций проектируемой системы и ее частей. В связи с этим возникает проблема построения функционала, позволяющего произвести оптимальную оценку разрабатываемой системы. Выше было отмечено, что при решении подавляющего большинства технико-экономических проблем универсальным критерием оптимума является максимум эффективности затраченных средств.

По мнению автора адекватным способом, позволяющим объединить все указанные выше аспекты проблемы автоматизированного проектирования, является метод оптимальных стоимостных характеристик (ОСХ).

6.3. Стоимостные характеристики

Для пояснения понятия ОСХ и концепции, базирующейся на методе ОСХ, рассмотрим нижний уровень графа МС, где все множество возможных конструкций системы детализовано до элементов – конечных узлов графа МС. Выделим один из концевых узлов. Этот узел содержит множество всех возможных вариантов элементов од-

ного и того же назначения. Например, описание всех конденсаторов, которые возможно использовать для синтеза одного из колебательных контуров сложной радиотехнической системы.

Каждый из таких элементов в расчетных схемах представлен вектором технических параметров $\beta^v \mathbf{X}^k = [\beta^v x_j^k, \mathbf{K}, \beta^v x_j^k, \mathbf{K}, \beta^v x_m^k]^T$, а его стоимость может быть представлена в виде функции $\beta^v \sigma^k = f_1(\forall \beta^v x_j^k)$.

На более высоких уровнях иерархии вместо стоимости узла $\beta^v \sigma^k$ предпочтительнее рассматривать стоимость единицы обслуживания. Это позволит производить более предметное сопоставление эффективности сравниваемых объектов.

Стоимость единицы обслуживания, как и стоимость изделия, является функцией технических параметров –

$$\beta^v S^k = f(\forall \beta^v x_j^k).$$

Вектор технических параметров любого узла, как и система в целом, представляется в виде объединения вектора качества Y с вектором технического уровня Z . Поэтому, говоря о стоимости одного компонента или его CEO, следует отдельно рассматривать две формы стоимости – потребительскую, являющуюся функцией вектора качества Y , и себестоимость – функцию вектора технического уровня – параметров вектора Z , объединенных в векторе технических параметров \mathbf{X} .

Так как рассматривается себестоимость изделия, то применительно к комплектующим узлам и элементам речь идет о цене покупных изделий, которая для производителя КТС равна их рыночной – потребительской стоимости. Эта величина является функцией вектора качества узла или элемента и в дальнейшем в соответствии с ранее принятыми обозначениями записывается в виде $\beta^v S_k^k(Y^k, Z_k)$.

В тех случаях, когда производится оценка узлов собственного изготовления, стоимость единицы обслуживания определяется как функция всех параметров, характеризующих технический уровень производства узла. Что касается сложных узлов, куда кроме покупных комплектующих входят детали собственного изготовления, при определении их стоимости следует учесть себестоимость труда, затраченного на собственное производство. Эти узлы будут оцениваться суммой функций от составляющих вектора технического уровня

S^z – стоимость деталей и работ, непосредственно производимых на данном предприятии, и величины S^y – цены покупных изделий.

Рассмотрим стоимостные характеристики комплектующих, приобретенных на стороне.

Рассчитать аналитически зависимость между параметрами покупной детали или узла и их стоимостью весьма затруднительно. Задача обычно решается методом статистического анализа. На основании фактических данных формируют статистику, отражающую стоимость узла, и параметры, определяющие вектор технического уровня. Результаты статистических наблюдений по стоимостным характеристикам узла β^v представляют в виде табл. 6.1.

Таблица 6.1.

№ п/п	Технические параметры					$\beta^v S$	ОСХ
	x_1	...	x_j	...	x_m		
1	$1x_1$	...	$1x_j$	...	$1x_m$	$1S$	$S = A \prod_{\forall j} x_j^{\alpha_j}$
...	
i	ix_1	...	ix_j	...	ix_m	iS	
...	
n	nx_1	...	nx_j	...	nx_m	nS	

$$\sigma = C \prod_{j=1}^{m_1} x_j^{\alpha_j} \quad (6.1)$$

где σ – стоимость изделия; C – константа; x_j – значение параметра j ; α_j – показатель степени, характеризующий вес параметра x_j . В дальнейшем иногда для упрощения записи, если это не затрудняет чтение, индексы, введенные для нумерации узлов, опускаются.

Стоимость единицы обслуживания при использовании покупных деталей через вектор технических параметров определяется формулой

$$S = \frac{C}{N} \prod_{j=1}^m x_j^{\alpha_j} = A \prod_{j=1}^m x_j^{\alpha_j}, \quad (6.2)$$

где N – число единиц обслуживания, которое в состоянии выполнить данное обслуживающее устройство единовременно. Для идентификации функции S используется способ наименьших квадратов, желательно в рекуррентной форме (подробнее см. [6.5]).

Исходная информация, сведенная в табл. 6.1, как и формула (6.1), в дальнейшем называется стоимостной характеристикой объекта, которой могут быть элементы и материалы, узлы любой сложности, вплоть до КТС и целой СО, в зависимости от уровня отображения соответствующего узла на графике входимости.

Построенные таким образом стоимостные характеристики содержат оценку СЕО для множества объектов одинакового назначения, включенных в граф МС.

6.4. Система оптимальных стоимостных характеристик

Любой сложный узел состоит из некоторого множества комплектующих. На рис. 6.1 приведен фрагмент графа морфологической структуры, где изображены все элементы, определяющие возможные конструк-

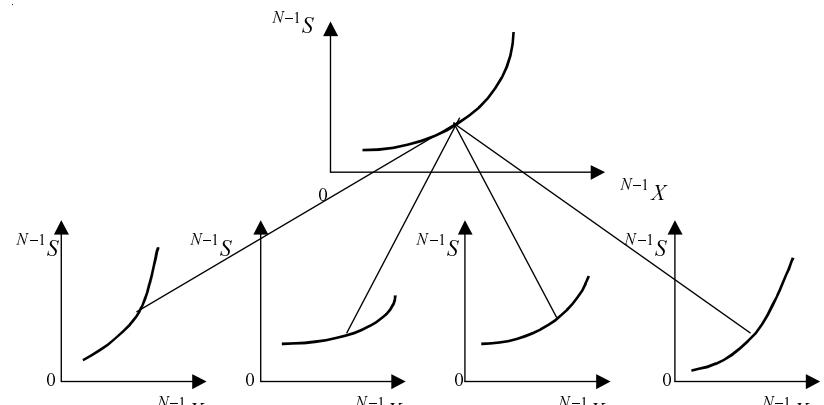


Рис.6.1. Фрагмент графа стоимостных характеристик

ции узла верхнего уровня. Узлы графа нагружены стоимостными характеристиками входящих элементов (на рис. 6.1 изображены три входящих элемента). Для того, чтобы изготовленный узел мог функционировать как целое, элементы, из которых он скомплектован, необходимо объединить. Для осуществления процесса сборки предприятие должно затратить определенное количество труда и материальных средств. Собственные затраты на осуществление производственного процесса в диаграмме входимости представляются в виде еще одного звена, которое условно можно назвать узлом «собственных работ». В стоимость собственных работ включены приведенные к единице продукции расходы, связанные с созданием и осуществлением технологического процесса сборки узла верхнего уровня из элементов. Таким образом, можно утверждать, что стоимость устройства верхнего уровня

$$\beta^{N-1} \sigma^k = \beta^N \sigma_{cp}^k + \sum_{N=1}^3 \beta^N \sigma^k$$

где $\beta^{N-1} \sigma^k$ – стоимость β^{N-1} -го звена верхнего уровня; $\beta^N \sigma_{cp}^k$ – стоимость производства собственных работ, затраченных на изготовление k -го варианта звена уровня $N-1$; $\beta^N \sigma$ – стоимость β^N -го звена уровня N ; ($v = N, \beta^N = 1, 2, 3$ К – номера звеньев уровня N входящих в звено $N-1_k$).

Обозначив $\beta^N \sigma_{cp}^k = 4 \sigma^k$ стоимость звена верхнего уровня можно записать в виде

$$\beta^{N-1} \sigma^k = \sum_{\beta^v=1}^4 \beta^N \sigma^k \quad (6.3)$$

Последнее означает – стоимость звена уровня $N-1$ равна «сумме стоимостей всех комплектующих плюс издержки (собственные расходы) на процесс синтеза из звеньев уровня $v = N$ звена уровня $N-1$.

Этот принцип, если его последовательно применять ко всем узлам графа, начиная с уровня $v = N$ и до уровня $v = 0$, позволяет осуществить оценку обслуживающей системы.

Производя оценку стоимости звена верхнего уровня, в издержки необходимо, кроме стоимости комплектующих, включать всю сумму затрат на его сборку, производство, испытание, хранение, экспедицию, эксплуатацию и приобретение материалов.

Синтезируя звенья высшего уровня, необходимо обеспечить их работоспособность и максимальную технико-экономическую эффективность. Последнее достигается путем удовлетворения условиям совместного функционирования входящих узлов, отраженным в графе МС.

Располагая графиком морфологической структуры, условиями совместного функционирования и стоимостью единицы обслуживания для всех элементов, входящих в синтезируемый узел, мы можем сформулировать следующую оптимизационную задачу:

подобрать комплектующие элементы и технологические процессы производства и эксплуатации узла верхнего уровня из комплектующих так, чтобы при удовлетворении условиям совместного функционирования элементов и заданном качестве узла, приведенная себестоимость единицы изделия или СЕО, выполняемого этим изделием, были минимальны.

В дальнейшем для экономической оценки изделия вместо стоимости единицы продукции мы всюду, если не оговариваются специальные условия, будем пользоваться стоимостью единицы обслуживания S .

Для решения оптимизационной задачи рассмотрим стоимостные характеристики узлов фрагмента графа, приведенного на рис. 6.1. Пусть стоимостные характеристики каждого из множеств элементов,

входящих в один узел, заданы в форме таблиц, аналогичных табл. 6.1, а содержащуюся в них информацию желательно аппроксимировать степенными функциями

$$\beta^N S = \beta^N A \prod_{j=1}^m \beta^N x_j^{\alpha_j} \quad (6.4)$$

где β^N – номера элементов уровня N , входящих в узел уровня $N-1$.

Используя характеристики элементов, зададимся целью построить стоимостную характеристику звена на уровне $N-1$. Здесь возможны два случая:

количество вариантов элементов одного назначения, включенных в состав узла, велико и для оценки множества объектов возможно использовать аппроксимирующую формулу, представленную в виде степенной функции (6.4).

число элементов мало и тогда стоимостная характеристика элементов, включенных в узел уровня $N-1$, представляется только в табличной форме.

Рассмотрим первый случай. Учитывая, что в узел уровня $N-1$ входит β^N элементов (в нашем случае $\beta^N = \{1, 2, 3, 4\}$), стоимостную характеристику узла запишем

$$\beta^{N-1} S^k = \sum_{\beta^N=1}^4 \beta^N S^k,$$

При непрерывных стоимостных характеристиках нижнего уровня можно составить бесчисленное множество сочетаний этих узлов, обеспечивающих различные значения вектора качества узла.

Ограничениями возможности синтеза искомых сочетаний является удовлетворение условиям совместного функционирования. Заметим, что для узлов различных уровней и различного назначения ограничения имеют различную структуру и не могут быть формализованы в общем виде. Но нас интересует не любое сочетание, способное функционировать, а такое, которое при заданном качестве доставляет минимум функционалу

$$S_{N-1}^k = \sum_{\beta^N=1}^4 \beta^N S^k \rightarrow \min, \quad (6.5)$$

составленному для узла самого верхнего уровня 0 полного графа МС, частью которого является рассматриваемый фрагмент. Чтобы определить экстремум, производится подготовительная работа: задаются некоторым значением вектора проектных параметров узла уровня $N-1$ и решают задачу — какой набор входящих элементов

уровня N и какой технологический процесс комплектования элементов 1—3 обеспечат заданное значение вектора $\beta^{N-1} X^k$ и доставят минимум функционалу (6.5). В качестве ограничений рассматриваются условия совместного функционирования. Оптимизационная задача может быть решена одним из численных методов. Однако выбор производственной функции в виде простейших позиномов делает предпочтительным метод геометрического программирования.

Предположим, что решение найдено. Обозначим его $N-1 S^k = f(\beta^{N-1} X_1^k, \dots, \beta^{N-1} X_m^k)$, где $N-1 S^k$ — минимальная себестоимость узла с заданными параметрами $(\beta^{N-1} X_1^k, \dots, \beta^{N-1} X_m^k)$. Полученному значению стоимостной характеристики узла $N - 1$ -го уровня соответствуют единственные значения векторов, определяющих свойства элементов, из которых сформирован узел. Решение единственно.

Для регистрации результатов расчетов составим таблицу, аналогичную табл. 6.1. В пространстве вектора проектных параметров синтезируемого узла вектор, полученный из расчета, представляется точкой, и в таблице, составленной для верхнего уровня, его составляющие заполняют одну строку.

Задав достаточно большое число значений вектора технических параметров узла верхнего уровня $N - 1$, результаты расчетов сводят в таблицу. Полученная таким образом таблица является аналогом дискретной стоимостной характеристики элемента, но она построена для множества вариантов узла уровня $N - 1$. Эта характеристика отличается от стоимостных характеристик узлов нижнего уровня тем, что каждой ее точке соответствует оптимальное сочетание комплектующих элементов и оптимальный технологический процесс синтеза, обеспечивающие заданные значения параметров качества узла верхнего уровня.

Геометрическое место точек, соответствующих оптимальным сочетаниям узлов для различных значений составляющих вектора качества узла верхнего уровня, назовем оптимальной стоимостной характеристикой (ОСХ) узла верхнего уровня. Как и стоимостные характеристики элементов, эта характеристика может быть аппроксимирована степенной функцией.

Сглаженной ОСХ узла будем называть характеристику, представляющую в виде аппроксимирующей функции

$$\beta^v S^v = A \prod_{j=1}^m \beta^v x_j^{a_j^v}.$$

Формально полученная оптимальная стоимостная характеристика верхнего уровня совершенно идентична стоимостной характеристике любого из узлов, построенной для входящих элементов. Однако имеется содержательное отличие. В то время, как стоимостная характеристика элемента отражает конъюнктуру рынка, где покупаются комплектующие, ОСХ является результатом расчетного определения себестоимости узла оптимальной конструкции, синтезируемого на данном предприятии.

По аналогии для всех узлов уровня $N - 1$ графа, фрагмент которого рассматривался выше, строятся ОСХ.

Поднимаясь по уровням графа МС, последовательно строятся ОСХ для всех узлов. Процедура построения завершается по достижении узла нулевого уровня.

ОСХ узла нулевого уровня является совокупностью всех оптимальных вариантов СО, синтезированных из существующих элементов и технологических процессов их производства, и эксплуатации, включенных в морфологическую структуру СО.

Каждой точке ОСХ нулевого уровня соответствует совокупность точек узлов всех уровней, которая образует оптимальное сочетание конструкций технологических процессов и ресурсов, доставляющих экстремум функционалу эффективности, при заданном качестве обслуживания и заданном техническом уровне поля заявок. Вся информация о структуре этих СО включена во множества ОСХ, представленных в виде табл. 6.1.

Располагая системой ОСХ, нетрудно определить единственную оптимальную конструкцию СО, качество которой указано в техническом задании на проектирование.

Принципиально задача решается на основании алгоритма, с помощью которого построена вся система ОСХ.

Но прежде чем перейти к более подробному изложению решения задачи конструирования КТС, образующих СО, рассмотрим ряд проблем, связанных с уточнением понятия ОСХ. Такими проблемами являются: многовариантность возможных решений; преемственность существующих решений; недостаточность элементной базы; учет существующего конструкторского опыта. Кроме того, необходимо рассмотреть проблему в том случае, когда число располагаемых элементов невелико.

Рассмотрим первую — выбор оптимальных вариантов входящих узлов при наличии принципиально отличающихся технических решений.

При построении ОСХ узлов высшего уровня не учитывались возможности использования конкурирующих, принципиально отличающихся решений. Однако, несколько расширив понятие ОСХ, предло-

женный метод нетрудно распространить и на этот случай. Пояснить суть предлагаемой модификации удобно на примере.

Пусть один из конечных узлов графа может иметь несколько принципиально различающихся вариантов исполнения. Для наглядности предположим, что СХ конкурирующих вариантов элемента выражает зависимость стоимости единицы обслуживания от надежности его работы p .

Стоимостные характеристики различных типов конструкций элемента изображены на рис. 6.2. Из рисунка видно, что предполагается наличие четырех СХ, соответствующих четырем типам элементов. Предполагается, что при проектировании узла можно использовать элемент, работающий по любому из конкурирующих типов, характеризуемых соответствующей СХ.

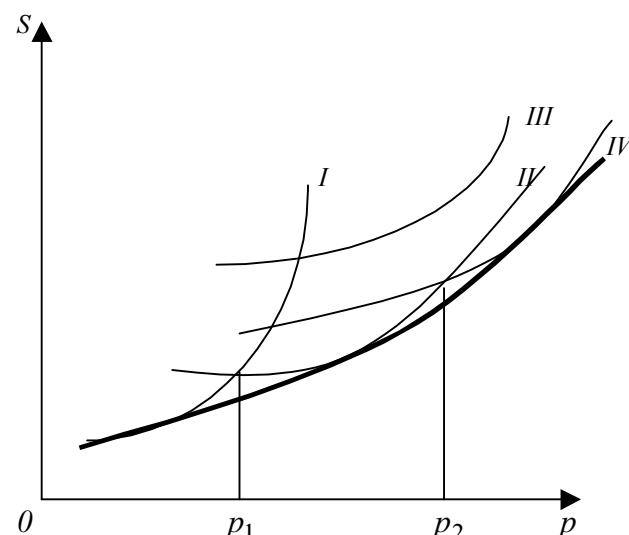


Рис.6.2. Обобщенная стоимостная характеристика (утолщенная линия)

Нетрудно согласиться с тем, что если при построении узла можно использовать любой из указанных типов, то очевидно при требуемой надежности $p < p_1$ рационально использовать конструкцию, которой соответствует характеристика I. (В этом диапазоне заданную надежность можно обеспечить при минимальной стоимости, только выбрав тип I). При необходимости обеспечить надежность в

интервале от p_1 до p_2 рационально применять тип II, а для обеспечения надежности, превосходящей p_2 , следует предпочесть вариант IV. Тип III непригоден ни в одном из указанных диапазонов, так как стоимость элемента, работающего по этому принципу, для всех рабочих диапазонов больше стоимости других, имеющих заданные параметры. С целью упрощения порядка построения системы оптимальных стоимостных характеристик узла, в который входит рассматриваемый, вместо четырех характеристик, определяющих свойства четырех вариантов конструкции, введем понятие обобщенной стоимостной характеристики.

Обобщенной СХ узла называется характеристика, состоящая из оптимальных участков стоимостных характеристик различных вариантов технического решения конструкторской задачи.

Оптимальным участком стоимостной характеристики узла называется участок характеристики варианта конструкции узла, в диапазоне которого применение данной конструкции экономически эффективнее конкурирующих.

Обобщенная стоимостная характеристика элемента на рис. 6.2 представлена утолщенной линией. При аналитических исследованиях обобщенные стоимостные характеристики, представленные разрывными функциями, могут быть сглажены и аппроксимированы степенными функциями. Однако при этом, конструируя изделие, нужно учитывать, какому варианту соответствует выбранная на СХ точка.

Рассуждения приведены для построения обобщенной СХ элемента, характеризуемого одним техническим параметром. Нетрудно видеть, что результаты возможно распространить и на многомерный случай. Однако это сопряжено со значительными техническими трудностями.

Производя практические расчеты, можно было бы рекомендовать перебор вариантов, но в случае прямого перебора потребуется значительное машинное время и практически не реализуемо.

Используя обобщенные стоимостные характеристики для конструирования узла верхнего уровня, необходимо помнить, что в зависимости от выбранного участка СХ входящих элементов конструкция узла может измениться в принципе. Формально это выразится в системах ограничений, обеспечивающих возможность совместного функционирования. Поэтому участки характеристики верхнего уровня, кроме информации, содержащейся в таблицах стоимостных характеристик, должны содержать информацию о том, какой принципиально отличающийся вариант конструкции они отражают.

6.5. Учет в системе ОСХ ряда факторов, определяющих технический уровень

Рассмотрим СХ узлов «собственные затраты». Выше отмечалось, что в стоимость узлов изделий, КТС и СО необходимо включать узел «собственных затрат», характеризующий издержки средств и труда на их производство. Включение в морфологическую структуру КТС этих узлов позволяет при проектировании оптимизировать не только конструкцию, но и технологический процесс производства узлов и всей системы. Информацию, зарегистрированную в картах технологического процесса, также можно представить с помощью иерархической структуры, для которой по уже описанным алгоритмам несложно составить оптимальные стоимостные характеристики. Правила построения систем ОСХ для технологического процесса аналогичны правилам построения ОСХ для конструкций.

На самом нижнем уровне рассматриваются начальные операции. Для каждого типа операции в качестве параметров указываются затраты труда и тип оборудования, на котором эта операция осуществляется. Для каждого типа оборудования указывается возможный технологический эффект по одному или нескольким параметрам и стоимость технологической операции, приведенная к единице обслуживания.

Для учета технологического процесса в состав вектора технических параметров нами введены векторы технологических параметров Ξ и ресурсов P (см. [6.7]). Эти векторы составляются для каждой технологической операции, причем вектор каждого последующего этапа процесса определяется векторами предыдущих операций. Но имеется и ряд особенностей. Прежде всего, технологические операции производятся, как правило, последовательно. Поэтому граф технологического процесса может содержать участки ветвей, состоящие из последовательно включенных узлов, где на графике нет ветвлений. В графике входимости подобные ветви имеются только в их конечных участках, где для достижения самого нижнего уровня детализации конструкции иногда приходится на последних уровнях несколько раз повторять информацию об элементах. Но даже в этой части имеется отличие. На графике входимости, построенном для конструктивных элементов, информация, нагружающая последовательные узлы, повторно изображающие один и тот же элемент, неизменна, тогда как информация, нагружающая повторяющиеся узлы графа последовательного технологического процесса, различна. Она определяется сутью технологической операции, отраженной в данном узле.

В состав графа морфологической структуры следует включить и ветви, которые отображают эксплуатацию проектируемого объекта. В эти ветви естественно ввести и узлы, характеризующие экспедицию. Ветви, отображающие процесс эксплуатации, как и ветви, отражающие любой технологический процесс, могут быть представлены в виде иерархических графов, подключенных к узлу, КТС и СО в зависимости от назначения проектируемого объекта.

Вследствие аддитивности расходов стоимостная составляющая полного вектора параметров узла

$$\beta^{v-1} S = \beta^v S_I + \beta^v S_{II} + \beta^v S_{III},$$

где β^v — стоимость, приведенная к единице обслуживания, характеризующая конструктивные параметры узла (стоимость комплектующих); $\beta^v S_{II}$ — СЕО технологического процесса синтеза узла из входящих элементов; $\beta^v S_{III}$ — СЕО эксплуатационных расходов, включая экспедицию, амортизацию и ремонт.

При определении величин S_{II} и S_{III} необходимо учесть коэффициенты величины партии π как в сфере производства, так и в сфере эксплуатации.

Если график МС для любого объекта всегда имеет иерархическую структуру, то график ФС очень часто содержит петли. В этом случае путем дублирования информации возможно произвести разрыв петель.

6.6. Учет преемственности элементов и узлов при составлении стоимостных характеристик

Разрабатывая конструкции новой серии изделий, КТС и систем машин, когда расчеты ориентированы только на ОСХ, инженер каждую конструкцию вынужден разрабатывать заново. Такой подход вынуждает отказываться от непосредственного применения уже осуществленных технических решений, что во многих случаях является недопустимым расточительством уже существующего производственного потенциала КБ и предприятия.

В самом деле, чем больше узлов и элементов, не имеющих прообразов в прошлом, тем больше вероятность ошибиться, выбирая «оптимальные» решения. В связи с этим принимать решение о производстве нового изделия или КТС нельзя, не сопоставив возможности, связанные с преемственностью имеющихся разработок или приобретением соответствующего объекта на рынке.

Для рационального решения задачи напомним, что в оптимальных стоимостных характеристиках отражается полная расчетная СЕО.

В то же время стоимость изделий того же типа, уже освоенных производством, существенно ниже, так как большинство издержек, связанных с проектированием, разработкой конструкции и технологического процесса, организацией производства уже имели место и частично возмещены. Следовательно, в доходах уже реализованных партий себестоимость тиражирования данного типа изделия существенно ниже, чем стоимость хотя и оптимального, но еще не проработанного варианта.

Чтобы выявить предпочтительность того или иного решения, рассмотрим множество стоимостных характеристик уже осуществленных технических вариантов.

Дискретные множества СЕО, отображающих фактическую стоимость всех осуществленных технических решений, будем называть стоимостными характеристиками осуществленных конструкций. Эти характеристики, как и оптимальные и оптимальные обобщенные, образуют иерархические структуры. На рис. 6.3 изображены одномерные ОСХ некоторого узла, на которые наложены стоимостные характеристики осуществленных решений (светлые точки). Каждой

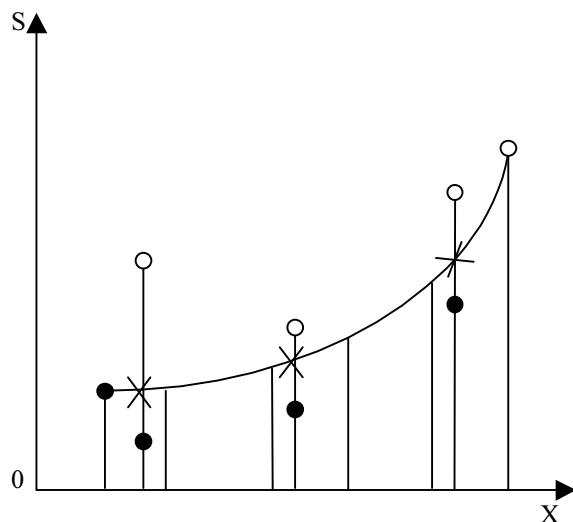


Рис.6.3. Дискретные характеристики обозначены: «оптимальные» – крестиками; осуществляемых решений – светлыми кружками; реальные – темными кружками

такой точке соответствуют уже освоенные производством изделия. Если для оценки эффективности оптимального и существующего решения сопоставить СЕО этих решений с СЕО соответствующих оптимальных решений (на рисунке они обозначены крестиками), то преимущество оптимальных решений очевидно. Но такая оценка экономически несостоятельна. Реальная СЕО осуществленных решений в действительности значительно ниже. Для обоснованной оценки необходимо из СЕО осуществляемых решений вычесть затраты, произведенные к моменту начала реализации этих решений в новых партиях КТС. Для этого при расчетах нужно произвести уточнение СЕО. Уточненные характеристики отличаются тем, что из их стоимостной составляющей вычитаются затраты, реализованные в прошлом.

Разность расчетной стоимости реализованных конструкций определяет реальную стоимость решений, которые могут служить альтернативой вновь проектируемым.

Уточненные СХ, как и СХ осуществленных решений, образуют дискретные множества.

Дискретные множества точек в многомерном пространстве параметров, отражающие векторы, отображающие технико-экономические свойства изделий с учетом реализованных издержек, в дальнейшем называются реальными стоимостными характеристиками (РСХ). РСХ, как и СХ осуществленных решений, представляются в виде таблиц.

Совокупность стоимостных характеристик СО, из которых исключены уже реализованные издержки, связанные с предварительной проработкой конструкций, технологии производства, организацией производства, называют системой реальных стоимостных характеристик соответствующего узла. В реальные характеристики элементов, узлов и КТС следует включать точки, отражающие и возможность импорта. При этом, естественно, СЕО импортируемых изделий должна быть указана в сопоставимой валюте.

На рис. 6.3 реальные СХ представлены темными точками.

Из рисунка очевидно, что не всегда «оптимальные» решения по эффективности превосходят уже осуществленные.

Нельзя также не обратить внимание на то, что при выполнении операций синтеза узлов верхнего уровня возникает весьма сложная проблема – согласование функций входящих узлов и элементов. Задача согласования должна быть решена с учетом физических свойств проектируемого объекта. Поэтому процесс согласования и отбора работоспособных вариантов не может быть описан в общем виде.

В разрабатываемой методике условия согласования предлагаются выполненными, а результаты анализа для дальнейших рас-

четов представляется в виде системы ограничений, без удовлетворения которых синтез узла верхнего уровня невозможен.

Для синтеза оптимального типоразмерного ряда с учетом реальных характеристик при большом числе возможных решений и значительном техническом опыте, накопленном в конструкторских бюро, производится повторное построение уточненной системы ОСХ. В качестве исходной информации при уточнении континуальных ОСХ, представленных в виде произведения степенных функций, полученных при решении оптимизационной задачи, используются множества реальных характеристик осуществленных решений. Они объединяются с множеством вариантов, полученных в результате построения ОСХ соответствующего назначения, и только после этого объединенное множество СХ аппроксимируется степенными функциями.

Уточненная таким образом система ОСХ используется для построения оптимального типоразмерного ряда методом дихотомии. Подробно метод изложен в работе [6.5]. Здесь же разрабатывается способ направленного перебора дискретных вариантов систем СХ, основанный на методе прикрепления заявок. Для применения этого метода предполагается, что характеристики всех узлов, составляющих граф входности, представляются в виде таблиц.

6.7. О построении оптимальных систем обслуживания

Основой предлагаемого метода построения типоразмерного ряда (ТРР) КТС и конструирования отдельного типоразмера и его узлов является поле заявок, которое должно быть обслужено проектируемым объектом.

Процедура, предлагаемая ниже, предполагает, что конструктору известны системы СХ всех узлов любого уровня. В свою очередь эти системы могут быть окончательно построены только после завершения процесса синтеза ТРР.

Чтобы разорвать порочный круг, предлагается произвести ряд последовательных приближений. С этой целью в первом приближении строятся системы реальных СХ для элементов и с их помощью синтезируются варианты узлов всех уровней, вплоть до узла уровня $v = 0$. Задачу решают методом направленного перебора.

Детальное изложение предлагаемого метода перебора удобно начать с простого примера. Рассмотрим систему СХ фрагмента графа многоуровневой системы, изображенного на рис. 6.4, где приведены стоимостные характеристики двух типов элементов, уровня $v = N$, входящих в узел уровня $v = N - 1$. Сделаем предположение — пусть

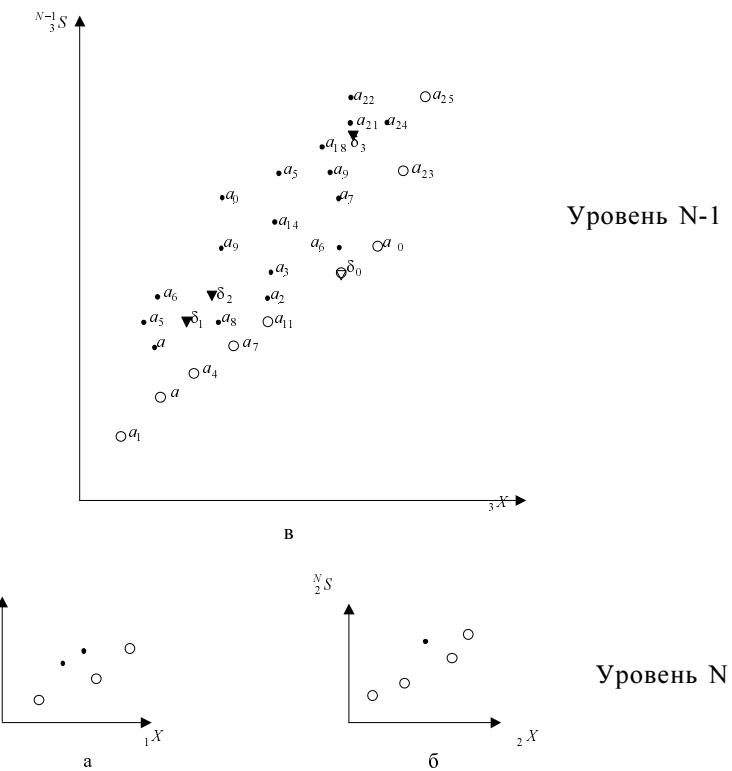


Рис. 6.4 . Дискретные стоимостные характеристики двухуровневой системы вектор технических параметров каждого из элементов узла уровня $v = N$ содержит только один параметр и поэтому их характеристики могут быть представлены на плоском чертеже (см. рис. 6.4).

Пусть также известно уравнение функционирования узла $\beta^{N-1}, N - 1$ -го уровня. Оно имеет вид:

$${}^N_3 X^k = {}^N_1 X^k + {}^N_2 X^k,$$

Как видно из рисунка, для узла верхнего уровня $N - 1$ можно построить 25 согласованных вариантов конструкций, СХ которых приведены на рис. 6.4.

К точкам СХ узлов $N - 1$ -го уровня, полученным в результате синтеза характеристик, следует прибавить реальные характеристики

уже осуществленных решений (изображены значками ∇). Хотя все эти варианты удовлетворяют условиям совместности, не все они равнозначны. Варианты

$a_3, a_5, a_6, b_1, a_8, a_9, a_{10}, b_2, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}, b_3, a_{21}, a_{22}, a_{24}$ явно неперспективны. При большей стоимости их технические параметры уступают значениям параметров устройств более дешевых.

Следовательно, при синтезе узлов верхнего уровня $N - 1$ графа, фрагментом которого является система, изображаемая на рис. 6.4, сохранять варианты, обозначенные темными кружками и значками ∇ на этом этапе расчета нецелесообразно. При большой стоимости они имеют более низкое качество, чем следующие за ними более дешевые и совершенные, обозначенные светлыми кружками.

Чтобы сократить перебор в процессе синтеза СХ высших уровней из рассмотрения следует исключить неперспективные варианты на всех уровнях графа. Эта предварительная операция в дальнейшем называется выравниванием характеристик.

После выравнивания характеристик элементов типов 1 и 2 число синтезированных вариантов узла β^{N-1} в нашем примере сократится до девяти (см. рис. 6.4). В рассматриваемом примере сохраненные СХ изображены светлыми кружками.

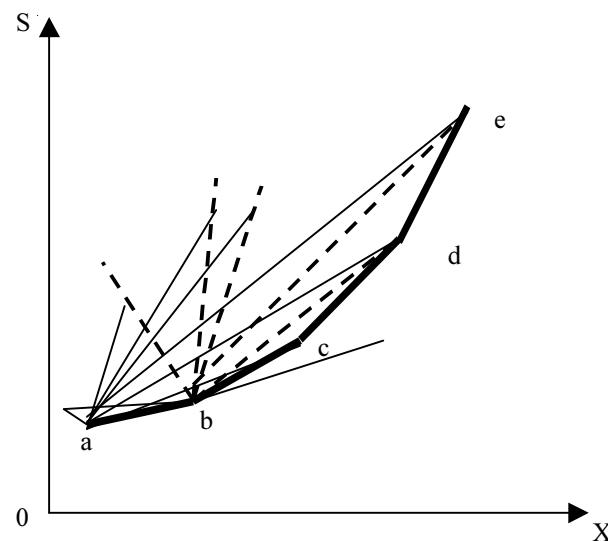


Рис. 6.5. Построение оболочки дискретного множества (точки \sim , b, c, d, e)

Предварительное выравнивание характеристик, произведенное изложенным выше способом, не гарантирует, что в процессе оптимизации будет определен глобальный экстремум.

Чтобы обеспечить такую возможность, предлагается произвести второй этап выравнивания. С этой целью на множество точек системы СХ, сохранившееся после первого этапа, предлагается натянуть выпуклую оболочку, обрамляющую все множество СХ. Здесь мы предполагаем, что такая оболочка построена (алгоритм построения оболочки изложен в [6.7]). Обратим внимание на то, что число точек на охватывающей оболочке, в случае большой размерности вектора X может быть слишком большим, что приведет к осложнениям в процессе перебора.

С целью сокращения процедуры предлагается произвести разреживание выравненных характеристик. Для пояснения операции разреживания рассмотрим одномерную выравненную систему стоимостных характеристик одного из узлов уровня $N - 1$. Пусть размерность вектора X, велика. Тогда и число сохраненных вариантов велико.

Решая задачу в первом приближении, сократим число перебираемых вариантов до минимума. Для этого из множества вариантов каждого узла уровня $N - 1$, сохранившегося после завершения операции выравнивания, отберем всего три $\beta^{N-1} m$, где ($\beta^{N-1} m$ — число параметров, определяющих свойства узла). Отбор осуществим следующим образом. Из общего множества вариантов, определяющих систему выравненных характеристик, лежащих на оболочке, по каждому параметру для перебора выберем всего три, отличающихся тем, что в этих конструкциях значение выделенного параметра принимает либо одно из экстремальных, либо среднее значение.

Если число отобранных таким образом вариантов все же окажется большим, дальнейшее сокращение возможно произвести за счет выбора вместо $\beta^{N-1} m$ вариантов со средними значениями одного со всеми параметрами, близкими к средним. Тогда общее число вариантов узла уровня $N - 1$, выделенного для перебора при синтезе узла уровня $N - 2$ сократится до минимального значения.

Воспользовавшись выравненными и разреженными таким образом системами СХ всех узлов уровня $N - 1$, входящих в синтезируемый узел уровня $N - 2$, построим систему стоимостных характеристик этого узла..

Число синтезированных вариантов конструкций узла следует ограничить количеством $3 \beta^{N-2} m$.

Выравненные и разреженные характеристики узлов уровня $N - 2$ используем для построения разреженных и выравненных систем характеристик всех узлов уровня $N - 3$.

Поднимаясь по иерархическим ступеням до уровня $v=1$, построим полную систему выравненных и разреженных характеристик проектируемых типоразмерных рядов, составляющих СХ.

Каждому члену оптимального, в первом приближении, ТРР КТС на системах характеристик каждого из узлов нижних уровней, инцидентных узлу уровня $v=1$, соответствует один из вариантов его конструкций. Следовательно, если типоразмерный ряд КТС состоит из ${}_1K^*$ членов, то на системе характеристик любого из узлов уровня

$v>1$ должно существовать ${}_{1}K^{*}$ оптимальных в первом приближении вариантов конструкций соответствующего узла.

Чтобы выделить эти варианты, достаточно, воспользовавшись алгоритмом перебора, который применялся для построения ОСХ, отобразить изображающую точку ОСХ каждого из типоразмеров, определяемых на уровне $v=1$, на системы ОСХ всех узлов, инцидентных точке СХ, изображающей систему СХ КТС рассматриваемого варианта.

Получаемый таким образом ряд и конструкции составляющих его членов почти оптимальны. Оптимальны в первом приближении и конструкции всех узлов и элементов, из которых синтезированы члены ряда. Основой для этого утверждения является принятая процедура выравнивания характеристик, позволяющая сохранить только перспективные варианты. Но разрежение характеристик может привести к потерям, так как:

при проектировании ТРР не использовалась вся располагаемая информация;

в процессе конструирования узлов пренебрегалась возможность унификации узлов;

синтез производился без учета принципа модульности, который во многих случаях является мощным рычагом повышения эффективности проектируемой системы.

Рассмотрению этих проблем посвящены последующие разделы, но предварительно рассмотрим алгоритмы выравнивания систем ОСХ.

6.8. Алгоритм начального выравнивания ОСХ

Пусть для какого-то из узлов уровня v известна система СХ, представленная в виде табл. 6.2.

Таблица 6.2

Номер варианта	Параметры				СХ vS^k
	$v x_1^k$	$v x_2^k$	...	$v x_m^k$	
1	$v x_1^1$	$v x_2^1$	...	$v x_m^1$	$v S^1$
...
${}_{1}K^*$	$v x_1^{k^*}$	$v x_2^{k^*}$	...	$v x_m^{k^*}$	$v S^{k^*}$

На основании этой таблицы построим $m+1$ двухстрочных таблиц, содержащих ${}_{1}K^*$ графу (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Номер варианта	1	...	${}_{1}K^* - 1$	${}_{1}K^*$
$v S^k$ (или $v x_j^k$, $k \in \{1, \dots, {}_{1}K^*\}$)				

В первой из таблиц в верхней строке содержатся номера вариантов конструкций, во второй — значения экономического параметра — стоимость единицы Σ или стоимость единицы обслуживания S .

Остальные таблицы аналогичной структуры отличаются от первой тем, что их вторые строки содержат данные об одном из технических параметров.

Во всех таблицах произведем сортировку по элементам второй строки. В результате значение соответствующего параметра во второй строке во всех таблицах будет минимальным, а в последней — максимальным (при сортировке номера точек менять не следует).

Алгоритм выравнивания состоит из следующих операций:

1. В таблице, составленной для экономического параметра S , рассматривается второй столбец, соответствующий минимальному значению экономического параметра, и в первой строке определяется номер варианта.

2. Выделенный номер сопоставляется с номерами первой строки таблицы, составленной для технического параметра x_1 и в таблице определяется номер столбца, который совпадает с выделенным. Этот столбец таблицу параметра x_1 делит на две части; слева от него находятся столбцы, содержащие варианты, неперспективные для синтеза узла уровня $v-1$, а справа — те, которые возможно окажутся полезными для дальнейшего синтеза. Поэтому все столбцы, расположенные левее выделенного для рассмотрения, опускаются, а расположенные правее — сохраняются для осуществления дальнейшего процесса выравнивания.

3. Аналогично, в цикле, производится разделение на две части столбцов таблиц, составленных для всех остальных параметров.

4. Данные, характеризующие вариант, занимающий в табл. 6.2, составленной для экономического параметра, второй столбец, заносятся в табл. 6.4, составленную для выравненных характеристик (они сохраняются в табл. 6.4).

Таблица 6.4

Номер варианта	Технические параметры			s^k
	x_1^k	...	x_m^k	
1	2	...	$m+1$	$m+2$
1	x_1^1	...	x_m^1	S^1
...
k	x_1^k	...	x_m^k	S^k
...
K	x_1^K	...	x_m^K	S^K

5. В таблице, составленной для экономического параметра, выбирается номер варианта, занимающего третий столбец. По этому номеру производится разделение на две части сохранившихся (правых) участков таблиц всех технических параметров. Здесь возможны две ситуации:

5.1. В правых частях всех таблиц содержится номер варианта, по которому производится разделение. В этом случае повторяются пп. 2—4.

5.2. В правых (сохранившихся после первого разделения) частях таблицы номера варианта, по которому производится деление, не содержится. Если это условие имеет место хотя бы в одной таблице, рассматриваемый вариант бесперспективен. В этом случае его дальнейшее рассмотрение не имеет смысла. Данные об этом варианте в табл. 6.4 не включаются.

6. В цикле производится анализ сохранившихся частей каждой из табл. 6.3 для каждого последующего варианта, номер которого берется из этой же таблицы, составляемой для экономического параметра.

Примечание. Нетрудно заметить, что с каждым последующим этапом длина правых частей таблицы, где расположены перспективные варианты, уменьшается, что сокращает перебор.

По окончании просмотра всех вариантов в табл. 6.4 остаются все перспективные варианты, образующие выровненную систему стоимостных характеристик рассматриваемого узла. Процедура выравнивания для многомерной системы см. в работе [6.5].

6.9. Унификация конструкций за счет построения TPP входящих узлов КТС

После построения оптимального, неунифицированного TPP, полученного в результате последовательных приближений, решение может быть улучшено за счет унификации конструкций его узлов.

Чтобы осуществить унификацию, отмечаются все точки, изображающие члены оптимального неунифицированного TPP на системе СХ первого уровня, и отображаются на систему СХ инцидентных узлов всех уровней.

Нетрудно видеть, что на характеристике каждого из узлов таких точек будет по \bar{K}^* .

Рассмотрим множество $\beta \bar{K}^*$ точек на характеристике одного из узлов уровня $v = 2$. Это множество СХ имеет все свойства поля заявок и мы можем считать, что оно является полем заявок для построения TPP выделенного узла уровня $v = 2$. Представим его полем заявок и решим оптимизационную задачу: построить TPP вариантов рассматриваемого узла уровня $v = 2$, способного оптимально обслужить выделенное поле.

Расчет следует производить методом прикрепления заявок, изложению которого посвящены последующие разделы настоящей главы. Очевидно, что число типоразмеров конструкций рассчитываемого узла $\beta \leq \bar{K}^*$.

Аналогично производится унификация других узлов уровня $v = 2$.

Отображая все унифицированные решения для узлов уровня $v = 2$ на систему СХ инцидентных им узлов уровня $v = 3$ производят унификацию узлов уровня $v = 3$. Продвигаясь от узлов верхнего уровня к узлам нижнего, достигают уровня $v = N$.

Таким образом, на каждом уровне будут построены унифицированные TPP всех узлов и элементов. Используя систему унифицированных СХ (УСХ), конструктор получает возможность построить TPP из унифицированных узлов, более эффективный, чем ряд, построенный из неунифицированных вариантов.

Стоимость каждого узла, каждого типоразмера и всего TPP определяется по алгоритму, который использовался при построении системы стоимостных характеристик графа входимости.

Решая задачу построения оптимального TPP, мы предполагали, что функционал аддитивен. Рассмотрим более сложные случаи.

1. Функционал мультиплекативен. С такой задачей инженер сталкивается, например, в тех случаях, когда максимизируется надежность

СО или минимизируется число отказов. В этих случаях вместо минимизации суммы стоимостей единиц обслуживания следует минимизировать их произведение.

Чтобы решить такие задачи при составлении математической модели, достаточно произвести логарифмирование оптимизируемого функционала. Тогда в исходные таблицы вместо стоимостей единиц обслуживания следует включать логарифмы этих величин. В результате вся процедура оптимизации остается без изменения.

2. Более общие случаи. Оптимизируемый функционал имеет сложную конструкцию, например, представляется в виде суммы выпуклых позиномов или комбинаций из выпуклых трансцендентных функций. И в этих случаях схема оптимизации остается неизменной. Отличие заключается в способе определения стоимости единицы обслуживания, которая в зависимости от особенностей функционала должна быть подсчитана соответствующим образом. Однако задача является нелинейной. Пример решения некоторых нелинейных задач см. в последующих разделах этой главы.

Нетрудно видеть, что предложенный подход позволяет полностью решить проблему аналитического проектирования с помощью ЭВМ, унифицированного на всех уровнях иерархии СО.

6.10. Модульное построение узлов КТС

Поясним, что в дальнейшем подразумевается под модульным принципом построения оптимального типоразмерного ряда КТС.

Пусть в результате аналитического проектирования СО построен типоразмерный ряд КТС. Векторы технических параметров этого ряда обозначим $\mathbf{X}^1, \mathbf{X}^2, \mathbf{K}, \mathbf{X}^k, \mathbf{K}, \mathbf{X}^k$, а параметры, характеризующие члены ряда, представим матрицей

$$\|\mathbf{X}\| = \begin{vmatrix} x_1^1 & x_2^1 & x_3^1, \mathbf{K}, x_j^1, \mathbf{K}, x_m^1 \\ \Lambda & \Lambda \\ x_1^k & x_2^k & x_3^k, \mathbf{K}, x_j^k, \mathbf{K}, x_m^k \\ \Lambda & \Lambda \\ x_1^K & x_2^K & x_3^K, \mathbf{K}, x_j^K, \mathbf{K}, x_m^K \end{vmatrix}, \quad k \in \{1, K\} = K, \\ j \in \{1, K\} = \overline{1, m}.$$

Согласно разработанной методике вектору ${}_1 \mathbf{X}^k$ соответствуют узлы, векторы технических параметров которых обозначаются ${}_{\beta^2} X^2, \forall \beta^{2k} \in B^2$, где 2 – номер уровня; k – номер узла; β^{2k} номер типоразмера КТС.

Узлу β^v уровня v соответствуют векторы $\beta^2 \mathbf{X}^k (\beta^v \in B^v)$.

Рассмотрим матрицу составляющих векторов технических параметров одного из узлов КТС типоразмера A , уровня, номер которого v , а j номер параметра:

$$\left\| {}_{\beta^v} x_j^k \right\| = \begin{vmatrix} {}_{\beta^v} x_1^1, \Lambda, {}_{\beta^v} x_j^1, \Lambda, {}_{\beta^v} x_m^1 \\ \Lambda & \Lambda \\ {}_{\beta^v} x_1^k, \Lambda, {}_{\beta^v} x_j^k, \Lambda, {}_{\beta^v} x_m^k \\ \Lambda & \Lambda \\ {}_{\beta^v} x_1^K, \Lambda, {}_{\beta^v} x_j^K, \Lambda, {}_{\beta^v} x_m^K \end{vmatrix}.$$

Возникает вопрос, возможно ли узлы одного и того же назначения использовать при конструировании КТС различных типоразмеров? Для ответа на этот вопрос вспомним структуру самолета. На уровне $v = 2$ узлами β^2 обозначим двигатель, планер, навигационное оборудование и т. д. Очевидно, что в настоящее время трудно представить такие конструкции планеров самолетов, которые могут быть получены объединением нескольких однотипных, хотя такие предложения существуют. В то же время вполне естественная компоновка самолета с одним, двумя, тремя и даже с шестью двигателями одного и того же типа. Несколько иначе обстоит дело с навигационным оборудованием. Однаковые навигационные комплексы можно установить на целую группу типоразмеров самолетов. Отсюда следует, что на одном и том же КТС могут использоваться узлы трех типов: узлы, которые для КТС каждого типоразмера должны иметь индивидуальное конструктивное исполнение; узлы, которые могут быть выполнены в виде однотипных изделий (их варьируемое число обеспечивает получение КТС различных типоразмеров); узлы универсального использования.

В тех случаях, когда узлы одного и того же конструктивного выполнения могут быть использованы для создания КТС типоразмеров разной производительности, говорят о модульном принципе построения системы КТС.

Модулем называется такое конструктивное исполнение КТС или их узлов, которое позволяет решать технологические задачи по обслуживанию требований, характеризуемых одинаковыми качественными признаками, но имеющими кратные значения параметров, параллельным, последовательным или комбинированным включением этих КТС или их узлов в технологический процесс обслуживания.

Классический пример модуля в машиностроении уже упомянутые авиационные двигатели одинаковой конструкции. В ЭВМ типичными модулями являются блоки памяти одинаковой конструкции и регистры, различный набор которых позволяет синтезировать машины различной производительности.

Часто к модулям предъявляются дополнительные требования, заключающиеся в том, что модули одинаковых или разных типоразмеров должны работать согласованно в одном КТС общей конструкции.

Для обеспечения совместной работы нескольких модулей в их состав включаются специальные узлы, гарантирующие возможность синхронизации их функций. Это осложняет процесс выбора параметров модулей различной конструкции, из которых предполагается синтезировать сложные КТС.

Принято считать, что модульное исполнение позволяет значительно повысить эффективность затрат на создание системы машин. Однако наряду с безусловными преимуществами модульный принцип построения имеет ряд существенных недостатков.

Рассмотрим преимущества и недостатки модульного принципа построения системы машин.

Достиныства:

- уменьшение числа типоразмеров;
- возможность образования систем, состоящих из нескольких однотипных КТС или их узлов, способных к совместному функционированию, что особенно необходимо, например, при составлении единых систем обслуживания (единая энергосистема, компьютерные сети, многопроцессорные ЭВМ и т. д.);
- возможность, при минимальных затратах повысить производительность существующей технологической системы подключением к ней новых модулей;
- повышение надежности технологического процесса во многих аварийных ситуациях, когда отключением аварийного модуля удает-

ся сохранить работоспособность системы за счет функционирования неповрежденных модулей;

- повышение ремонтопригодности, достигаемое за счет замены модулей.

Недостатки:

- дробление технологического процесса на ряд параллельных потоков, что исключает применение наиболее эффективных методов, разработанных для массового выполнения стереотипных операций;
- необходимость создания множества таких узлов и деталей, как корпуса, магистрали для подвода информации, энергии, материалов и сырья, которые при уникальном выполнении необходимы в единственном числе;
- большая материалоемкость.

Но особенно существенным является большая консервативность модульных систем. За унификацией модулей следует организация массового производства, мало приспособленного к частым перемещениям продукции.

Из приведенного сопоставления очевидно, что переход к модульному принципу должен быть тщательно подготовлен. Принятие решения о модульном принципе построения системы должно быть основано надлежащим прогнозом путей развития системы и тщательно выполненными технико-экономическими расчетами.

6.11. Использование метода ОСХ для синтеза КТС модульной конструкции

Метод, изложенный в предыдущем разделе, по сути дела является одним из аспектов модульного принципа построения КТС систем.

В самом деле, типоразмерные ряды, построенные для узлов нижних уровней, являются минимальными множествами конструкций, из которых на последующем уровне иерархии синтезируются конструкции все более сложных узлов. Процесс завершается построением оптимальных КТС.

Однако этим все преимущества модульной системы построения КТС не исчерпываются.

В изложенном варианте оптимального проектирования из рассмотрения выпадал важный аспект модульного подхода, а именно, возможность использования в разных КТС одного и того же типа модулей. Рассмотрим проблему с этих позиций.

В тех случаях, когда допускается распаралеливание технологического процесса, возможно вместо одного узла использовать несколь-

ко маломощных, из которых собираются агрегаты различной производительности.

Чтобы синтезировать оптимальные узлы различных типоразмеров из стандартных модулей, необходимо выполнить обязательное условие: каждый из параметров модуля должен быть кратен общему наибольшему делителю Mm чисел, где M – число типоразмеров узла, а m – число параметров. При строгом следовании этому принципу, синтезируя узлы большой производительности, приходится использовать много модулей, что приводит к значительной гипертрофии отрицательных свойств модульных конструкций. Применение же модулей с большими параметрами уменьшает возможность точного совпадения параметров заявки и обслуживающего устройства.

В поисках компромисса делается попытка создания ограниченного числа модулей различных размерностей. В этом случае параметры представляются в виде ряда, построенного по принципу геометрической прогрессии.

Разработанный метод прикрепления заявок может быть использован для более эффективного построения рядов из стандартных модулей.

Предлагается следующая процедура использования метода прикрепления для решения этой задачи:

- определяется возможность распараллеливания технологического процесса и отбираются требования, предъявляемые к узлу, которые могут быть обслужены изделиями модульной конструкции;
- составляется поле заявок, подлежащее обслуживанию данным устройством;
- значения каждого из параметров вектора технических параметров заявок разлагаются на простые множители;
- определяются наибольшие общие делители для одноименных параметров всех заявок;
- формируется модуль со значениями параметров, равными наибольшему общему делителю каждого из параметров всех заявок. Этот модуль в дальнейшем называется базовым;
- для каждой заявки определяется минимальное число базовых модулей, способных ее обслужить, и составляется табл. 6.5.

Таблица 6.5.

Номер заявки	Число базовых модулей	Конфигурация модульной структуры	Стоимость единицы	CEO

В качестве исходного множества, из которого определяются члены оптимального типоразмерного ряда, выбирают обслуживающие устройства, способные адекватно обслуживать каждую из заявок. Для обслуживания заявок, допускающих применение модуля, вводится второй вариант обслуживающих устройств, построенных на модульной основе; производят построение оптимального ряда и определяют оптимальный типоразмерный ряд, который наряду с уникальными конструкциями может содержать узлы, построенные по модульному принципу.

Введение модулей способствует дальнейшей унификации конструкторских решений.

Построив типоразмерный ряд для изделий в качестве которых рассматриваются и КТС и любые их узлы построенные, где это возможно, на основании базовых модулей, уместно поставить вопрос: а нельзя ли повысить эффективность системы введением более сложных компонентов, параметры которых кратны параметрам базового модуля?

Такие конструкции будем называть унифицированными блоками модулей. Унифицированным блоком модулей, сокращенно блоком, будем называть конструкцию, производственная мощность которой кратна мощности базового модуля, а структура состоит из нескольких базовых модулей.

Блоки имеют ряд преимуществ перед изделием, состоящим из нескольких, независимо функционирующих базовых модулей. Преимущества особенно отчетливо сказываются на стадиях сборки и эксплуатации изделий. Они определяются простотой внешних коммутирующих связей, которые за счет унификации и стандартизации внутренних каналов передачи информации, энергии и материалов могут быть значительно упрощены.

Представляет интерес оценка эффективности блочно-модульных конструкций и определение ареала их использования.

Для такой оценки предлагаются следующие две методики, основанные на методе прикрепления заявок.

Первая методика. Она может быть рекомендована в тех случаях, когда поле заявок невелико, а размерность вектора мала. В этом случае для каждой заявки возможно назначить не только адекватные обслуживающие устройства и конструкции, состоящие из базовых модулей, но и всевозможные сочетания, состоящие из блоков. Введение конкурирующих вариантов из различных сочетаний блоков, способных обслужить одну и ту же заявку, принципиально не влияет на процедуру оптимизации. Осложнения сводятся к увеличению размерности решаемой задачи.

В результате оптимизации в типоразмерный ряд вместе с индивидуальными решениями, содержащими некоторое количество базовых модулей, войдут блоки, являющиеся модулями высшего ранга.

Вторая методика. Если из-за громоздкости расчетов применение изложенного выше подхода невозможно, задачу приходится решать приближенно.

Оптимизацию производят в два этапа. На первом для каждой заявки прямым перебором определяют СЕО каждого возможного варианта конструкции узла. Сопоставив величину СЕО этих вариантов, определяют наиболее эффективный. В качестве такого может быть и уникальная конструкция, и конструкция, состоящая из любого сочетания модулей, в том числе только базового или нескольких блоков модулей высокого ранга.

На втором этапе, используя отобранные варианты, методом прикрепления заявок строят «оптимальный» типоразмерный ряд, содержащий конструкции, где реализованы блоки и модули.

Чем последовательнее и настойчивее производят унификацию на всех уровнях конструирования, тем больший экономический эффект следует ожидать. В этой связи уместно отметить, что дальнейшего повышения эффективности возможно достичь, если в поле заявок включить не только задачи, возлагаемые на данный узел проектируемой СО, но и на решение всех аналогичных задач, возникающих в других системах, а также в случаях, когда, в соответствии с морфологической структурой изделия, проектируемый узел (изделия) применен многократно в различных узлах структуры КТС.

При многоцелевом использовании одного и того же объекта проектирования помимо согласования основных параметров следует учитывать элементы, обеспечивающие сочленение проектируемого объекта с деталями других узлов, образующих среду функционирования проектируемого.

Особой задачей является проблема согласования модулей при проектировании нескольких систем обслуживания, где могут быть использованы модули и блоки универсального назначения. Однако, приступая к решению этой проблемы, необходимо отдать себе отчет в том, что она приобретает смысл как задача завершающего цикла, после построения типоразмерных рядов КТС отдельных систем, узлы которых подлежат межотраслевой унификации.

Принципиально задача решается тем же методом, каким она решена нами для отдельной системы обслуживания. Для этого достаточно при построении графа входимости ввести метауровень – 0, в котором объединяются отдельные СО.

6.12. Замечания о варьируемости конструкций разрабатываемых типоразмерных рядов (модификация базовых конструкций)

Методика, изложенная выше, предполагает, что проектируемый типоразмерный ряд должен в равной мере удовлетворять всех потребителей, чьи требования включены в поле заявок. В действительности, в условиях все более обостряющейся конкуренции производителей, потребители делаются взыскательней, их не удовлетворяют изделия, в конструкциях которых не учитываются второстепенные параметры, не представленные в перечне основных технических характеристик изделий. Нами в работе [6.7] эти параметры объединялись и обозначались номером $\mu_1 + 1$.

Чтобы сделать продукцию более привлекательной и при этом оставаться в рамках разработанной концепции унификации, следует предусмотреть возможность удовлетворить индивидуальные требования отдельных потребителей.

Для учета второстепенных параметров иногда приходится создавать специальные конструктивные узлы, но чаще достаточно ограничиться учетом дополнительных вариаций узлов, включенных в граф входимости.

Дополнительные элементы морфологической структуры в дальнейшем будем называть узлами для удовлетворения индивидуально-го спроса (УУИС).

В процессе синтеза ТРР машин, УУИС, в отличие от узлов, подлежащих унификации, не детализируются, так как на этапе разработки ряда невозможно предусмотреть их возможные вариации. В расчетах учитывается только оценочная стоимость их производства.

Хотя стоимость УУИС несравненно ниже стоимости основных узлов, вследствие отказа от унификации, она может быть значительной и пренебречь ею нельзя. Поэтому на стадии проектирования УУИС особое внимание должно быть обращено на дополнительные элементы, входящие в узлы «собственные расходы», отображающие технологические процессы производства соответствующих элементов конструкций.

Введение УУИС и создание подразделений для их производства позволяют гибко реагировать на требования рынка, не затрагивая основ, заложенных в структуру разработанного типоразмерного ряда базовых конструкций.

Исключительное значение УУИС очевидно из анализа борьбы двух ведущих автомобилестроительных фирм, приведенного в работах [6.4] и [6.8].

Реализация УУИС, конечно, несколько повышает стоимость системы изделий, но значительно увеличивает конкурентоспособность продукции за счет многих модификаций.

Так, фирма ДМ при шести базовых типах автомобилей выпускает 172 модификации, способные удовлетворить вкусы самых различных покупателей [6.8].

6.13. Построение оптимального ТРР.

Метод прикрепления заявок

Наряду с задачей проектирования новых типоразмеров оборудования или комплексов технических средств, образующих типоразмерный ряд системы обслуживания, часто возникает задача построения типоразмерного ряда на базе существующих технических решений.

Например, с этой задачей мы имеем дело в случае выбора оптимального типажа из многих, уже запущенных в производство или имеющихся на международном рынке КТС. Такую задачу приходится решать и при обслуживании динамического поля заявок, когда возникает проблема оптимального перераспределения наличных КТС, часть из которых морально устарела.

Метод, подробно рассматриваемый в последующих разделах, позволяет одинаково успешно решить задачи как конструирования типоразмерных рядов, так и распределения парка машин.

Вначале рассматривается простая задача распределения.

Предполагается, что существует k конструкций КТС, с помощью которых необходимо обслужить K типов заявок. Все требования, составляющие поле заявок, подлежат одновременному независимому обслуживанию.

Возможны следующие ситуации:

- число КТС всех типоразмеров неограниченно;
- число КТС таково, что их общая производительность равна потребной;
- производительность меньше необходимой.

Рассмотрим первую ситуацию. Имеем $\{k\}$ КТС, способных обслугнуть все заявки, включенные в поле требований. Для каждого типоразмера вектор объединенных конструкторских и эксплуатационных параметров обозначим \mathbf{X}^k , где k – номера типоразмеров; число КТС каждого из рассматриваемых типов неограничено.

Требования, включенные в состав поля, объединены в систему заявок. Каждая заявка характеризуется вектором \mathbf{z}_k , (k - номер заявки). Предполагается также, что каждая заявка может быть обслужена хотя бы одним из располагаемых типов КТС.

Задача заключается в том, чтобы из потенциально возможных выбрать оптимальный типоразмерный ряд КТС, который при условии заданного качества обслуживания минимизирует суммарные затраты на обслуживание.

Для решения задачи прежде всего следует определить, какими типами КТС можно обслужить каждую из заявок, вернее, какие из заявок могут быть обслужены каждым из существующих типов КТС.

В качестве исходных данных для решения задачи предполагается, что, кроме поля заявок, мы располагаем стоимостными характеристиками, позволяющими произвести оценку себестоимости обслуживания любой заявки каждым из типов КТС, который можно использовать для ее обслуживания [6.7].

Так как число заявок больше числа типоразмеров КТС, то весьма вероятно, что часть заявок будет обслужена адекватно, а обслуживание других предполагается неадекватным.

Следовательно, из-за неадекватного обслуживания некоторых заявок будут перерасходованы средства. Однако в результате унификации оборудования дополнительные издержки за счет неадекватности могут быть компенсированы полностью или частично. Эта компенсация учитывается при расчете средней стоимости единицы оборудования.

Наконец, приступая к рассмотрению предлагаемого метода оптимизации, нужно помнить, что заявка, характеризуемая вектором \mathbf{z}_k , может быть обслужена КТС, типоразмер которого определяется вектором \mathbf{X}^k при выполнении обязательного условия $x_j^k \geq z_{kj}$ – номера параметров, характеризующих заявку \mathbf{z}_k .

Построение метода оптимизации начинается с определения области возможного применения каждого из типов располагаемого оборудования. Оборудование типоразмера k вектор параметров которого равен \mathbf{X}^k может быть применено для обслуживания всех заявок, если их параметры удовлетворяют условиям $x_j^k \geq z_{kj} \geq x_j^{k-1}$. Однако, решая задачу оптимизации, необходимо предположить, что исходное множество типоразмеров, состоящее из $\{k\}$ шире оптимального, а области возможного обслуживания каждого из располагаемых

типов оборудования пересекаются с областями обслуживания ближайших типоразмеров. Только при удовлетворении этого условия можно произвести варьирование областей применения с тем, чтобы оптимизировать экономическую эффективность системы и определить оптимальные, непересекающиеся, области применения оборудования, покрывающие все поле заявок.

Отбор заявок, которые способны обслужить каждый из типов КТС, производится на основе сопоставления:

$$x_j^k \geq z_{kj} \geq x_j^{k-1}$$

Таким образом, задача сведена к одной из разновидностей нелинейного целочисленного программирования. Нелинейность вызвана зависимостью коэффициента величины партии π^k , определяемого числом единиц обслуживания, прикрепленных к заданному обслуживающему устройству.

Мы пока предполагаем, что СЕО каждой из заявок – величина постоянная и не зависит от того, сколько и каких типов КТС используется в системе обслуживания. Однако хорошо известно, что при конструировании нельзя не учитывать величину предполагаемой партии производимых и эксплуатируемых КТС, так как величина партии определяет технологию производства, загруженность оборудования и технологию обслуживания самих КТС. Обычно все эти факторы при технико-экономических расчетах учитываются обобщенным коэффициентом π , который называется коэффициентом партионности. (При решении линейной задачи будем предполагать, что $\pi = \text{Const}$.

Задачу можно записать в форме:

минимизировать функционал

$$\sigma(z_k, X^k) = \sum_k \sum_\kappa S_\kappa^k (z_\kappa, X^k, n_x^k) \cdot n_x^k N_\kappa^k \alpha_\kappa^k \rightarrow \min \quad (6.6)$$

при ограничениях

$$\sum_\kappa n_\kappa^k \alpha_\kappa^k \leq n^k, \forall k \in K, \quad (6.7)$$

где $z_\kappa, \kappa \in K$ – целочисленны; $X^k, k \in K$ – целочисленны; N_κ^k – число единиц обслуживания в отдельных требованиях заявки класса κ ; n_x^k – число требований в заявке z_κ ; α_κ^k – булевая переменная, принимающая значения 0, 1 (единица, если заявка принадлежит данному множеству, 0 – если не принадлежит); S_κ^k – стоимость обслуживания одного из требований заявки класса κ КТС типа k ; n^k КТС типа k .

При этом, если ограничения таковы, что число обслуживающих КТС достаточно для полного обслуживания всего поля заявок, а приоритеты заявок равны, необходимость минимизировать затраты трансформируется в требование максимизировать число обслуживающих единиц.

Последнее выражается условием

$$\sum_\kappa \sum_k n_\kappa^k N_\kappa^k \alpha_\kappa^k \rightarrow \max,$$

что равнозначно условию

$$\sum_\kappa \sum_k \sigma_\kappa^k \alpha_\kappa^k \rightarrow \min.$$

В функционале значение функции σ изменяется с изменением величины партии нелинейно, и, следовательно, функционал в общем случае нелинеен.

Изложение предлагаемого метода оптимизации функционала начнем с рассмотрения нескольких частных задач.

Задача 1. Пусть величины $S_\kappa^k (z_\kappa, X^k, n_\kappa^k)$ для всех рассматриваемых конструкций k постоянны и не зависят от числа задействованных КТС, а количество располагаемых КТС каждого типоразмера неограничено. Приоритеты всех заявок одинаковы. Требуется максимизировать эффективность использования КТС, что эквивалентно минимизации стоимости обслуживания всех заявок. Таким образом, задача сводится к постановке: определить минимум функционала

$$\sigma(z_\kappa, X^k) = \sum_k \sum_\kappa S_\kappa^k N_\kappa^k n_\kappa^k \alpha_\kappa^k$$

где N_κ^k, n_κ^k – дискретны.

Предполагается также, что ни при каких условиях не имеют места равенства

$$S_1^i = S_q^g, \quad i, g \in \{k\}, \quad q \in \{\kappa\}$$

Рассматриваемая задача – это частная форма дискретной задачи линейного программирования (ЛП).

Для ее решения предлагается составить таблицы и затем осуществить направленный перебор, для чего следует:

1. Произвести сплошную нумерацию заявок.

2. Определить количество типов КТС, из которых предполагается выбрать типоразмеры оптимального ряда, а также векторы их конструктивных параметров.

3. Для каждого типа заявок \mathcal{Z}_k найти величину неадекватности δ_k^k при ее обслуживании КТС типоразмера k .

4. Для каждого обслуживающего устройства (КТС) на основе экспертных оценок определить величину предельного значения допустимой неадекватности ее применения ${}^0\delta_k^k \geq \delta_k^k$.

5. Располагая значениями ${}^0\delta_k^k, \delta_k^k$, вычислить допустимость использования КТС типа k для обслуживания каждой заявки $\mathcal{Z}_k, \forall k \in \{k\}^k$. С этой целью рассчитать значение допустимого верхнего $(\mathcal{Z}_{kj})_{\max} = x_j^k$ и нижнего $(\mathcal{Z}_{kj})_{\min} = x_j^k - {}^0\delta_k^k$ пределов.

6. Отобрать заявки, параметры которых удовлетворяют условиям $(\mathcal{Z}_{kj})_{\max} \geq \mathcal{Z}_{kj}^k > (\mathcal{Z}_{kj})_{\min}$ для $\forall k$ и на основании этой информации построить табл. 6.6 для КТС каждого типа k .

Таблица 6.6

Наименование параметра	κ	n_κ	S_κ^k	σ_κ^k
1	2	3	4	5

7. Произвести в таблицах сортировку (см. табл. 6.6) с тем, чтобы в каждой из них первую строку заняла заявка, стоимость единицы обслуживания которой S_κ^k имеет значение \min , а последнюю \max – заявка, CEO которой \max .

8. Свести информацию из всех таблиц (см. табл. 6.6) в сводную табл. 6.7, отличающуюся от табл. 6.6 дополнительной графой 6 для регистрации номера КТС типа k .

Таблица 6.7

Наименование параметра	κ	n_κ	S_κ^k	σ_κ^k	k
1	2	3	4	5	6

9. По параметру S_κ^k произвести сортировку в сводной таблице так, чтобы первую строку заняла заявка \mathcal{Z}_k^k , CEO которой $\min \min$, а последнюю – заявка, CEO которой $\max \max$.

10. Составить формы таблиц, аналогичные табл. 6.6, которые будут заполняться в процессе расчетов.

На этом предварительная подготовка информации, необходимой для организации процесса оптимизации, завершается.

Процесс оптимизации (будем называть его процессом оптимального прикрепления заявок) состоит из следующих шагов.

11. Рассмотреть заявку, занимающую первую строку в табл. 6.7. Из второй графы определить ее номер κ , а из 6-й – номер КТС, способного оптимально ее обслужить. Перенести заявку из табл. 6.7 в незаполненную форму табл. 6.6, составленную для КТС типа k .

12. Последовательно просмотреть графы сводной таблицы и все строки, где номер заявки совпадает с номером заявки, занимающей первую строку, из таблицы исключить.

Следовательно, заявка \mathcal{Z}_k сохраняется в сводной таблице только в первой строке и для её обслуживания выделяются КТС, соответствующие номеру k , что фиксируется в форме таблиц, аналогичных табл. 6.6. На этом первый шаг оптимизации завершается.

Таким образом, на первом шаге прикрепляется та заявка \mathcal{Z}_k , которую можно обслужить с максимальной эффективностью.

13. На втором шаге прикрепить заявку, занимающую в сводной табл. 6.7 после прикрепления первой, следующую, невычеркнутую строку. Следовательно, на втором шаге прикрепляется та из оставшихся после первого прикрепления заявок, которую можно обслужить с максимальной эффективностью.

14. В цикле выполнить К шагов, где К – число заявок, подлежащих обслуживанию.

В результате завершения процедуры в сводной таблице остается К строк, каждая из которых отводится для одной из прикрепленных заявок.

В формах табл. 6.6 построенных и заполненных в процессе прикрепления, для КТС всех типов $k \in \{k\}$, сохраняются только те заявки, которые должны быть обслужены КТС данного типа. По построению табл. 6.6 очевидно, что каждая прикрепленная заявка может сохраниться только в одной таблице. В то же время ряд форм табл. 6.6 может оставаться без прикрепленных заявок. Это означает, что КТС соответствующего типа не должен быть использован в качестве члена оптимального типоразмерного ряда.

15. По информации, содержащейся в каждой из заполненных форм таблиц (см. табл. 6.6), определить число необходимых КТС данного типа, стоимость обслуживания каждой из заявок, полную стоимость применения КТС данного типа и стоимость обслуживания всего поля заявок при использовании оптимального типоразмерного ряда.

15.1. Найти стоимость обслуживания заявки Z_k КТС типоразмера k

$$\sigma_k^k = S_k^k N_k^k n_k^k$$

и зарегистрировать ее в 5-й графе табл. 6.6.

15.2. Вычислить стоимость использования КТС типоразмера k , для чего суммируются величины σ_k^k , в 5-й графе табл. 6.6 построенной для k -го типоразмера, и вычислить сумму

$$\sigma^k = \sum_k \sigma_k^k.$$

15.3. Определить полную стоимость обслуживания заданного поля заявок системой КТС, образующей оптимальный типоразмерный ряд, по формуле $\sigma = \sum_k \sigma^k$.

На этом решение задачи 1 завершается.

Предложенный выше алгоритм приводит к точному решению и гарантирует достижение глобального оптимума при решении линейных задач 1. Это утверждение нетрудно доказать.

В самом деле, рассматриваемая линейная задача не содержит ограничений и по своей природе ее решение аддитивно. Следовательно, для оптимального решения достаточно, чтобы каждая из заявок была обслужена оптимально, независимо от того, как обслуживаются другие.

Указанный алгоритм позволяет для каждой заявки подобрать именно тот тип обслуживающего КТС, который обеспечивает оптимальное, в смысле рассматриваемого критерия, решение.

Последовательность операций, предложенная в этом алгоритме, не обязательна. Задача может быть решена также путем прямого перебора вариантов.

Рассмотренная процедура при решении задачи 1 делает перебор направленным и сокращает машинное время. Именно поэтому, как будет показано при рассмотрении последующих задач, она позволяет решать задачи более сложного класса.

Задача 2. Условия этой задачи совпадают с условиями задачи 1, но в отличие от последней предполагается, что число КТС одного типа, например, типа l , ограничено и заранее известно, что их не-

достаточно для обслуживания всех заявок, которые могло бы оптимально обслужить КТС типа l .

Требуется так распределить КТС, чтобы объем работы, выполняемой системой, был максимальным, а, значит, затраты минимальны. Такое распределение в дальнейшем будем называть оптимальным по эффективности.

Обратим внимание на одну особенность, отличающую решение задачи 2 от 1. Она заключается в том, что здесь оптимум, найденный по методу прикрепления заявок, может быть получен только при условии соблюдения определенного порядка прикрепления заявок, такого, при котором КТС дефицитного типа используется для обслуживания тех заявок, где выигрыш от их применения максимален.

В дальнейшем КТС типа l будем называть дефицитным. Прежде чем решить задачу, обратим внимание на то, что при ее анализе возможны три постановки:

- оптимальное прикрепление заявок к КТС дефицитного типа считается завершенным тогда, когда в результате выполнения ряда шагов будет достигнуто состояние, при котором прикрепление очередной заявки к КТС дефицитного типа станет невозможным вследствие их недостатка для обслуживания любой из неприкрепленной заявки. Остальные заявки прикрепляются в том же порядке, в котором производилось прикрепление при решении задачи. Но при этом не все КТС дефицитного типа использованы полностью:¹

- оптимальное прикрепление заявок к КТС типа l считается завершенным тогда, когда остаток КТС типа l минимален, но при этом одна из заявок может быть обслужена частично.²

Рассмотрим задачу в первой постановке.

Для ее решения составить табл. 6.6 и сводную табл. 6.8, аналогичную табл. 6.7, в которую ввести дополнительную графу n^l куда при ее формировании заносится число наличных КТС типа l (см. сводную табл. 6.8).

¹ Предполагается, что число заявок, обслуживаемых КТС дефицитного типа, велико и заявки содержат примерно одинаковое число единиц обслуживания.

² Вернее, с точностью до количества ресурсов, необходимых для обслуживания одного требования из последней прикрепленной заявки.

Третья постановка задачи здесь не рассматривается. Она подробно изложена в работе автора [6.7].

Таблица 6.8

Название параметров	κ	n_{κ}^k	S_{κ}^k	σ_{κ}^k	κ	n^l
1	2	3	4	5	6	7

Перед началом процесса прикрепления заявок подготовить незаполненные формы табл. 6.6, а в алгоритм ввести пункты 1 и 2.

1. Перед прикреплением КТС дефицитного типа в графе 7 табл. 6.8 из числа располагаемых КТС типа l вычесть число КТС, необходимых для обслуживания заявки, и осуществить прикрепление при условии $(n^l)_{ost} = (n^l)_{nah} - n_{\kappa}^l \geq 0$, где индексы «ост» означает остаток, а «нач.» — начальное число.

Прикрепленную заявку вычеркнуть из сводной таблицы и занести в подготовленную форму (см. табл. 6.6), построенную для КТС типа l .

В табл. 6.8 величину n^l заменить величиной $(n^l)_{ost}$. Если это условие не выполняется, прикрепление заявки Z_{κ} прекратить и неприкрепленную заявку оставить в сводной табл. 6.8.

2. Процесс закрепления завершается после принятия решения о возможности прикрепления всех заявок. В результате все заявки за исключением тех, которые должны быть обслужены только КТС типа l и для которых не хватило обслуживающих устройств этого типа, будут разнесены в табл. 6.6, а незакрепленные останутся в сводной табл. 6.8. Нетрудно доказать, что при принятых условиях решения данной задачи, это распределение оптимально.

Задача 3. Требуется обслужить поле, состоящее из заявок, КТС из $\{k\}$, но при этом число КТС нескольких типов ограничено. Структура парка позволяет обслужить все заявки. Это означает, что среди заявок нет таких, которые должны быть обслужены только КТС дефицитного типа.

Алгоритм не требует принципиальных изменений. Но в таблицах вместо одной графы, отведенной для КТС дефицитного типа, следует отвести столько дополнительных граф, сколько типов дефицитных КТС.

Таблица 6.9.

Название параметра	κ	n_{κ}	S_{κ}^k	σ_{κ}^k	κ	n^l_1	\dots	n^l_j	\dots	n^l_p
1	2	3	4	5	6	7	\dots	$6+j$	\dots	$6+p$

Затем в зависимости от поставленной задачи воспользоваться указаниями пп. 1, 2 или 3, 4 или, наконец, 5, 6, выполняемых в цикле.

Задача 4. Весьма часто, кроме ограничений, наложенных на число КТС, имеются ограничения, которые относятся к группе типоразмеров. Так, если двигатели самолетов нескольких типов работают на одинаковом топливе, то ограничения по топливу относятся ко всей группе типоразмеров КТС, функционирующих только при наличии соответствующего ресурса.

Пусть в системе наложено ограничение на j -й ресурс, используемый для эксплуатации группы КТС. Требуется произвести такое их распределение, при котором эффективность использования системы в целом и ресурса в частности была бы оптимальной.

Как и при решении задач 1—3 предполагается, что у заявок одинаковые приоритеты.

Для решения задачи в табл. 6.6 и 6.7 введем дополнительные графы. В одной графе зафиксируем величину ресурса ρ_{kj}^k , необходимого для выполнения заявки Z_{κ} обслуживающим устройством типа k (табл. 6.10, 6.11), а во вторую графу запишем наличный запас ресурса ρ_j (см. табл. 6.11). В обозначении ρ_j^i индекс «0» — это начальная, затем ρ_j^i остаточная величина ресурса. В процессе оптимизации остаточное значение ресурса, вначале равное ρ_j^0 , будет изменяться с каждым шагом (прикреплением). Соответственно и индекс 0 получит значение $i \in \{i\}$, где $\{i\}$ — множество номеров шагов.

Таблица 6.10.

Название параметра	κ	n_{κ}	S_{κ}^k	σ_{κ}^k	ρ_{kj}^k
1	2	3	4	5	6

Таблица 6.11.

Название параметра	κ	n_κ	S_κ^k	σ_κ^k	ρ_{kj}^k	${}^0 \rho({}^i \rho_j)$	K
1	2	3	4	5	6	7	8

Здесь также возможны три постановки. Рассмотрим первую из них, допускающую неиспользованный остаток. Оптимизацию будем производить по уже рассмотренному алгоритму, в который после пп. 1—6 введены пп. 7—9.

7. Составить разность величин ${}^0 \rho_j - \rho_\kappa^k$, которые записываются в графе, предназначенный для регистрации остатка ресурса ${}^i \rho_j$ (см. табл. 6.11).

8. Прикрепление продолжить до тех пор, пока для всех заявок, которые могут быть обслужены остатком ${}^i \rho_j$, будет достигнут уровень

$${}^{i+1} \rho_j = {}^i \rho_j - \rho_{kj}^k < \rho_{(k+1)j}^k,$$

где $(k+1)$ — номер заявки, подлежащей прикреплению после заявки k .

9. После достижения условия, указанного в п. 8, прикрепление заявок к КТС тех типоразмеров, для обслуживания которых обязательно должен быть использован j -й ресурс, прекращается.

При второй постановке после п. 8 вводятся пп. 10, 11.

10. Заявку, для обслуживания которой не хватает ресурса, делить на две части так, чтобы одну из них можно было обслужить остатком ресурса ρ_j и эту часть как отдельную заявку следует прикрепить к соответствующему типу КТС.

11. Необслуженную часть заявки Z_{k+1} рассмотреть как новую. Она во всех строках сводной таблицы, кроме той, где произведено прикрепление, рассматривается как отдельная заявка, замещающая ту, часть которой уже обслужена. Затем выполняются п. 8—10 в цикле.

Примечание.

В качестве универсального ресурса может быть рассмотрен и общий объем финансирования. Тогда при прикреплении любой заявки $\kappa \in \{K\}$ из общего ресурса вычитается то количество денежных средств, которое необходимо для обслуживания данной заявки.

Задача 5. Она аналогична задаче 4, но отличается тем, что имеется несколько ресурсов, необходимых для функционирования различных типов КТС. Множества КТС, образующих группы, которые используют разные ресурсы, могут пересекаться. Однако для каждого дефи-

цитного типа ресурса, кроме ресурса Σ , имеется альтернативный тип недефицитного ресурса.

В дальнейшем предполагается, что число таких ресурсов в системе равно c .

Чтобы учесть ограниченность ресурсов в сводной таблице (см. табл. 6.11), нужно добавить графы, каждая из которых отводится для одного из ограниченных ресурсов. Эти графы в табл. 6.12 обозначены ρ_c индексом j из $\{j_K\}$.

В табл. 6.13 вводятся такие графы, в которых регистрируются располагаемые ресурсы (см. табл. 6.12 и сводную 6.13).

Нетрудно видеть, что для оптимального прикрепления КТС и эффективного использования ресурсов в зависимости от рассматриваемой постановки, необходимо после п. 9 или п. 11, соответственно, ввести дополнение: после достижения очередного ограничения п. 9 и п. 11, пп. 7—11 повторять в цикле.

Задача 6. Эта задача отличается от задач 1—5 тем, что здесь наряду с ограничениями, определяемыми наличием нескольких дефицитных типов КТС, имеются и дефицитные ресурсы, которые используются для функционирования нескольких групп типов КТС, множества которых по используемым ресурсам пересекаются. В число ресурсов может входить и такой общий ресурс, как денежные средства, выделенные для создания, эксплуатации системы в целом. Этот ресурс обозначается Σ . Как и в предыдущих задачах предполагается, что дефицитные ресурсы и КТС можно заменить недефицитными.

Требуется минимизировать стоимость обслуживания системы при максимальном числе обслуженных единиц (постановки первая, вторая).

Это наиболее общий случай из рассмотренных линейных задач. Для него приведем полное описание алгоритма. Исходные данные приведены в табл. 6.12

Таблица 6.12.

Название параметра	κ	n_κ	S_κ^k	σ_κ^k	Необходимые ресурсы				
					$\rho_{\kappa_1}^k$	...	$\rho_{\kappa_j}^k$	...	$\rho_{\kappa_c}^k$
1	2	3	4	5	6	...	$5+j$	...	$5+c$

и сведены в табл. 6.13.

Таблица 6.13.

Название параметра	κ	n_κ	S_κ^k	σ_κ^k	k	Необходимые ресурсы				
						$\rho_{\kappa_1}^k$	...	$\rho_{\kappa_j}^k$	...	$\rho_{\kappa_e}^k$
1	2	3	4	5	6	6+1	...	6+j	...	6+e

Продолжение таблицы 6.13

Располагаемые ресурсы. Типы КТС.				
$0 n_1^k$	...	$0 n_j^k$	...	$0 n_c^k$
6+c+1	...	6+c+j	...	6+2c

Прежде всего сформулируем математическую постановку задачи. Рассматривается целочисленная задача линейного программирования (ЛП). Требуется произвести эффективное распределение средств с тем, чтобы выполнить максимальное число единиц обслуживания

$$N = \sum_k \sum_\kappa N_\kappa^k n_\kappa^k \alpha_\kappa^k \rightarrow \max$$

при ограничениях:

$$1) \sum_\kappa n_\kappa^k \alpha_\kappa^k \leq n^k;$$

$$2) \sum_{\forall \{k_j\}_g} \sum_{\forall \kappa \in \{k\} k_g} a_\kappa^k n_\kappa^k \alpha_\kappa^k \leq \rho_g;$$

$$3) \sum_k \sum_{\forall \kappa \in \{k\} k_g} b_\kappa^k n_\kappa^k \alpha_\kappa^k \leq \Sigma,$$

где N_κ^k – число единиц обслуживания в одном требовании заявки класса κ , которые могут быть одновременно обслужены одним КТС типа k ; n_κ^k – число КТС типа k , необходимое для обслуживания заявки класса κ ; α_κ^k – булева переменная, принимающая значение 1, если заявка обслуживается КТС типа k и 0, если она не обслуживает-

ся; a_κ^k – переводной коэффициент, характеризующий затраты ресурса ρ_g для обслуживания одного требования из заявки класса κ , КТС типа k ; b_κ^k – переводной коэффициент, характеризующий полную стоимость обслуживания одного требования из заявки класса κ КТС типа k ; Σ – полная сумма денежных средств, отведенных для создания и эксплуатации системы; $\{\kappa\}^g$ – множество заявок, которые могут обслужить КТС типа k .

Учтем, что затраты на обслуживание заявки \mathcal{Z}_κ , КТС типа k .

$$\sigma_\kappa^k = N_\kappa^k n_\kappa^k S_\kappa^k = \text{constant}_\kappa^k$$

Тогда при равных приоритетах заявок функционал запишется в виде:

$$\sigma = \sum_k \sum_\kappa S_\kappa^k N_\kappa^k n_\kappa^k \rightarrow \min$$

Так как в функционале N_κ^k и n_κ^k однозначно связаны с ценой σ_κ^k параметром S_κ^k , характеризующим способность КТС типа k эффективно обслужить заявки \mathcal{Z}_κ , функционал окончательно запишем в форме

$$\sigma = \sum_k \sum_\kappa A_\kappa^k S_\kappa^k \alpha_\kappa^k \rightarrow \min; A_\kappa^k = N_\kappa^k n_\kappa^k$$

а ограничения останутся в следующей форме:

$$1) \sum_\kappa n_\kappa^k \alpha_\kappa^k \leq n^k;$$

$$2) \sum_{\forall \{k_j\}_g} \sum_{\forall \kappa \in \{k\} k_g} a_\kappa^k n_\kappa^k \alpha_\kappa^k \leq \rho_g;$$

$$3) \sum_k \sum_{\forall \kappa \in \{k\} k_g} b_\kappa^k n_\kappa^k \alpha_\kappa^k \leq \Sigma,$$

где ρ_g – тип ресурса, без которого создание и функционирование любого КТС из $\{\kappa\}^g$ невозможно.

Приоритеты заявок одинаковы или отличаются. Предполагается также, что нет заявок, для обслуживания которых требуются КТС или ресурсы только дефицитного типа. Исключение составляет ресурс Σ .

Все постановки, кроме третьей, правомерны.

Общий алгоритм решения линейной задачи:

1. Произвести сплошную нумерацию заявок.

2. Построить множество возможных типоразмеров КТС, характеризуемых векторами X^k , составляющими набор вариантов, из которых в процессе оптимизации предстоит выбрать подмножество типоразмеров, образующих оптимальный ряд.

(Определение параметров исходного множества типоразмеров выходит за рамки решаемой оптимизационной задачи и здесь не рассматривается). Оптимизация конструкции методом ОСХ рассмотрена выше.

3. Для каждого типа заявок \mathcal{Z}_k определить величину неадекватности δ_k^k при ее обслуживании КТС каждого из типоразмеров k , которые потенциально могут обслужить данную заявку.

4. Для каждого типа КТС, предложенного в п. 2, на основе экспериментальных оценок, найти величину предельного значения допускаемой не-

адекватности его применения δ_k^0 .

5. Располагая значениями δ_k^0 и δ_k^k , определить допустимость использования КТС типа k для обслуживания заявок \mathcal{Z}_k .

Верхнее значение определяется равенством $\mathcal{Z}_{kj} = x_j^k, \forall j \in \{j\}$, нижнее $\mathcal{Z}_{kj} > x_j^k - \delta_k^0$.

6. Отобрать заявки, параметры которых удовлетворяют условиям

$$x_j^k \geq \mathcal{Z}_{kj} > x_j^k - \delta_k^0,$$

и на основании этой информации построить для КТС каждого возможного типа исходную табл.6.14. (правила заполнения граф Σ_k^k, S_k^k или \tilde{S}_k^k см. в п. 9, где \tilde{S}_k^k – CEO заявки с учетом ее приоритета).

Таблица 6.14

Название параметра	κ	n_κ^k	S_κ^k	σ_κ^k	Ресурсы			ε_κ^k	${}_1\tilde{S}_\kappa^k = \varepsilon_\kappa^k {}_1S_\kappa^k$
					ρ_1^k	...	ρ_c^k		
1	2	3	4	5	6	...	$5+c$	$5+c+1$	$5+c+2$

7. Произвести сортировку в таблицах (см. табл.6.14) с тем, чтобы в каждой из таблиц первую строку занимала заявка, CEO которой минимальна.

8. Объединить информацию из всех табл. 6.14. в сводной табл. 6.15. аналогичной по структуре табл. 6.14, но отличающейся от нее дополнительными графами.

Таблица 6.15

Название параметра	κ	n_κ^k	S_κ^k	σ_κ^k	k	Ресурсы		
						ρ_1^k	...	ρ_c^k
1	2	3	4	5	6	7	...	$6+c$

Продолжение таблицы 6.15

Типы КТС			ε_κ^k	${}_1\tilde{S}_\kappa^k = \varepsilon_\kappa^k {}_1S_\kappa^k$
n_κ^1	...	n_κ^k		
$6+c+1$	...	$6+c+b$	$6+c+b+1$	$6+c+b+2$

9. По параметру ${}_1S_\kappa^k$ в табл. 6.15. произвести перестановку всех строк для того, чтобы первую строку в этой таблице заняла заявка, CEO которой ${}_1S_\kappa^k$ минимальна, а последнюю – заявка, CEO которой ${}_1S_\kappa^k \rightarrow \max \max$.

До сих пор при описании задачи 6 предполагалось, что приоритеты при обслуживании заявок одинаковы. Однако можно учесть и различную приоритетность. Для этого достаточно при составлении исходных таблиц (см. табл. 6.14.) в каждой из них расположить заявки в порядке, соответствующем их приоритету и при определении CEO соответствующих заявок умножить на коэффициенты весов $\varepsilon_\kappa^k, \left(\sum_k \varepsilon_\kappa^k = 1 \right)$, где числа ε_κ^k выбираются так, чтобы любая из заявок, включенная в таблицу для КТС типоразмера k , занимала бы позицию, соответствующую ее приоритету (см. табл. 6.15.). С учетом приоритетов оптимизация производится согласно информации, заключенной в графах, где указаны величины S_κ^k и \tilde{S}_κ^k .

Такая организация таблиц предопределяет только начальный порядок приоритетов и требует введения в алгоритм дополнительного пункта (см. п. 19)

10. Составить табл. 6.16, где регистрируются располагаемые количества КТС различного типа, ресурсы, используемые в системе, перечень КТС, для функционирования которых применяется данный ресурс. Третья строка отводится для остаточного числа КТС и дефицитных ресурсов, оставшихся неиспользованными после очередного прикрепления.

Таблица 6.16.

Параметры	${}^0 n^1$	${}^0 n^2$...	${}^0 n^k$	${}^0 \rho_1$	${}^0 \rho_2$...	${}^0 f_e$	${}^0 \Sigma$
Располагаемые КТС и необходимые ресурсы									
Остаточные количества КТС и ресурсов									

11. Подготовить формы табл. 6.14, которые будут заполняться по мере прикрепления заявок.

На этом предварительная подготовка информации завершается.

12. Принять решение о постановке, в которой предстоит произвести оптимизацию. Ниже рассматривается алгоритмически более сложный вариант второй постановки, когда остаток неиспользованных КТС и ресурсов не допускается.

13. Первой рассмотреть заявку, занимающую первую строку в систематизированной сводной табл. 6.15, и принять решение о ее прикреплении.

13.1. Для каждого типа ограниченных КТС и ресурсов, которые необходимы для функционирования КТС типа k , составить разности

$${}^0 \rho_j^k - {}^1 \rho_{kj}^k = {}^1 \rho_j^k, \forall j \in \{j\}, {}^0 n^k - {}^1 n_k^k = {}^1 n^k,$$

которые запомнить вместе с их знаком (информацию взять из табл. 6.14 и табл. 6.15).

13.2. В результате расчетов составить матрицу-строку

$${}^1 \rho_k = \left| {}^1 n^k, {}^1 \rho_1^k, K, {}^1 \rho_j^k, K, {}^1 \rho_c^k, {}^1 \Sigma \right|,$$

где j – индексы, перечисляющие ресурсы, необходимые для функционирования КТС типа k при обслуживании требований из заявки Z_k .

13.3. Если все числа этой матрицы больше нуля или часть из них больше нуля, а остальные равны нулю, то для обслуживания заявки, занимающей первую строку в сводной табл. 6.15 выделить ресурсы и КТС, номер которого указан в графе 6 табл. 6.15.

13.4. Определить строки табл. 6.15 где повторяется заявка с номером k , зарегистрированная в первой строке сводной табл. 6.15. Все эти строки, кроме прикрепленной, из табл. 6.15 исключить.

13.4.1. В третьей строке табл. 6.16 указать остаточные значения величин ${}^1 \rho_j^k, {}^1 n^k$.

13.4.2. Информацию о заявке Z_k из первой строки табл. 6.15 перенести в первую строку соответствующей формы табл. 6.14.

13.5. Если, после выполнения п. 13.3 хотя бы один или некоторые из остатков окажутся меньше нуля, соответствующие строки отметить. По модулю отрицательных остатков определить, для обслуживания какой части заявки не хватает КТС или ресурса.

13.6. Из заявки, занимающей первую строку, вычесть часть, которую из-за дефицита КТС или ресурса невозможно обслужить, а остальную часть прикрепить для обслуживания (см. пп. 13.3, 13.4).

13.7. Не обслуженную часть заявки рассмотреть как новую, заменяющую частично обслуженную.

Из сводной табл. 6.15 исключить строки, в которых повторяется частично прикрепленная заявка, и во всех строках, эту заявку заменить ее не обслуженной частью.

13.8. В результате прикрепления первой заявки или ее обслуженной части включить в соответствующую форму табл. 6.14.

На этом прикрепление заявки, занимающей первую строку в табл. 6.15, завершить.

14. Аналогично осуществить прикрепление следующей заявки, которая после прикрепления занимает в сводной табл. 6.15 последующую позицию.

15. В цикле произвести прикрепление всех остальных заявок, пока не будут исчерпаны возможности дальнейших прикреплений. Неприкрепленные заявки остаются в табл. 6.15.

16. После завершения процесса прикреплений каждая заявка остается либо в одной из форм табл. 6.14, либо в табл. 6.15, где заявка может повторяться в нескольких строках, так как прикрепление не осуществлено. Обратим внимание на то, что некоторые из форм таблиц, аналогичных табл. 6.14, останутся пустыми. Это значит, что КТС соответствующих типоразмеров в оптимальный ряд не входят, а некоторые заявки или их части не войдут ни в одну из табл. 6.14. Они останутся не обслуженными.

17. Информация, включенная в заполненные формы табл. 6.14, 6.15, содержит полное решение задачи. В рассмотренной постановке полученное решение оптимально. По информации, сохранившейся в за-

полненных формах табл. 6.14 и 6.15, определить состав типоразмерного ряда, заявки, которые должны быть обслужены соответствующим КТС, число обслуживающих устройств каждого типоразмера, число КТС, отведенных для обслуживания каждой заявки, необходимые ресурсы, а также заявки, которые остались необслуженными (см. табл. 6.15).

18. Подсчитать затраты на обслуживание каждой заявки КТС выделенного типа по формуле

$$\sigma_k^k = S_k^k N_k^k n_k^k, \text{ а не } \tilde{S}_k^k N_k^k n_k^k.$$

19. В тех случаях, когда с целью учета приоритетности заявок им придавался вес ε_k^k для установления истинного значения CEO S_k^k , величину \tilde{S}_k^k следует умножить на величину $1/\varepsilon_k^k$.

20. Определить суммарные затраты на создание и функционирование КТС каждого из типов

$$\sigma^k = \sum_{\{k\}^k} S_k^k N_k^k n_k^k.$$

21. Найти полную стоимость обслуживания

$$\sigma_2^* = \sum_{\{k\}} \sigma^k = \sum_{\{k\}} \sum_{\{k\}^k} S_k^k N_k^k n_k^k.$$

22. Определить не обслуженные заявки и остатки ресурсов.

С небольшими изменениями алгоритм может быть применен для оптимизации, если необходимо удовлетворить постановке один.

Затем повторный расчет продолжить по второй ветви, которая отличается тем, что пп. 13.5–13.8 заменяются п. 13.5а, если при прикреплении очередной заявки недостаточно КТС соответствующего типа или необходимых ресурсов, рассматриваемую заявку из табл. 6.15 не исключать и не переносить в форму табл. 6.14.

Пункты 14–20 остаются неизменными.

21*. Определить стоимость обслуживания

$$\sigma_1^* = \sum \sigma_1^k.$$

При рассмотрении задач оптимизации мы ограничивались рассмотрением двух постановок. При этом, если в первых двух ответ всегда однозначен, в третьей, нерассмотренной, постановке решение может быть улучшено. Поэтому рассмотрим третью постановку, суть которой заключается в следующем. Ни одна из заявок не может быть об-

служена частично, но при этом число незадействованных КТС должно быть минимальным, цель распределения – максимизация эффективности использования располагаемых средств. Такая постановка особенно актуальна в тех случаях, когда число заявок, подлежащих обслуживанию, невелико, а количество конкурирующих вариантов, обслуживающих устройств, близко к числу заявок. С такой постановкой приходится иметь дело при решении задачи размещения производственных предприятий, построенных по модульному принципу.

Даже при постоянных значениях коэффициентов партионности, когда в двух рассмотренных постановках задача сводится к линейной, стремление к максимальному использованию КТС нарушает условие аддитивности и поэтому в новой постановке она должна быть рассмотрена специально (см. [6.7]).

Необходимость согласовать два, в некоторой мере противоречивы, условия осложняют задачу отыскания оптимума. Разберемся в сути дела.

Пусть в процессе расчетов выполнен шаг, в результате которого прикреплена заявка $3_k = 3_n$ и после этого остаток неиспользованных КТС дефицитного типа $k = l$ равный n_{ost}^l недостаточен для прикрепления любой следующей заявки, которую оптимально обслужит КТС типа l .

Предположим также, что среди неприкрепленных заявок есть и другие, которые следует обслужить КТС типа l . Прикрепив одну из этих заявок, вместо заявки $3_k, k = n$, если число единиц обслуживания в этой заявке больше, чем число единиц обслуживания в последней прикрепленной заявке $3_k, k = n$, можно улучшить использование парка. Такая замена в общем случае не может обеспечить оптимальности решения, но возможны ситуации, когда решение, полученное на основании третьего подхода, может быть улучшено.

Чтобы отыскать оптимальное в смысле третьей постановки решение, следует применить метод штрафных функций. Этот метод рассматривается автором в работе [6.7].

6.14. Использование метода прикрепления заявок для решения нелинейной задачи конструирования КТС

Для выяснения влияния коэффициента партионности и связанных с этой величиной эффектов рассмотрим еще одну задачу.

Задача 7. Условия задачи 7 совпадают с условиями задачи 6. Отличие заключается в том, что величина CEO заявок является монотонно убывающей функцией количества используемых КТС.

Требуется построить оптимальный типоразмерный ряд. Эффект нелинейности в этом случае проявляется в том, что каждое предыдущее прикрепление, даже если оно оптимально в локальных областях, не гарантирует достижения глобального экстремума, так как любое предыдущее закрепление предопределяет дальнейшую траекторию движения к экстремуму.

Чтобы учесть влияние эффектов, вызванных нелинейным характером системы, предлагается специальный метод организации процесса последовательных приближений к оптимальному решению задачи.

Суть процесса заключается в последовательном исключении из рассмотрения на каждом шаге явно неперспективных вариантов прикрепления. Таковыми считаются варианты обслуживания, CEO которых на данном шаге при неизменном коэффициенте партионности остается большим, чем измененное в результате предыдущих прикреплений CEO той заявки, которая прикрепляется.

Для выявления и исключения явно неперспективных при данном приближении вариантов прикрепления заявок формируются табл. 6.17 и таблица, аналогичная табл. 6.16.

В табл. 6.15 вводятся дополнительные графы ${}_1\pi_k^k$ и ${}_q\tilde{S}_k^k$, в которых после каждого прикрепления фиксируется информация об измененных \tilde{S}_k^k (CEO) и коэффициентах π_k^k . Эти дополнения необходимы для учета влияния величин партий КТС, изменяющихся по мере выполнения процедуры прикрепления. Таким образом, в сводной табл. 6.16 в каждой строке учитываются три CEO: ${}_1\tilde{S}_k^k$, ${}_1S_k^k$ и ${}_q\tilde{S}_k^k$, где индекс 1 слева означает начальное значение CEO, а индекс q – значение CEO на q -м шаге алгоритма. В начале процесса $q = 1$. Знаком \sim обозначена CEO с учетом приоритета. При этом в течение всех шагов одного приближения величины ${}_1\tilde{S}_k^k$ и ${}_1S_k^k$ остаются неизменными, а все величины ${}_q\tilde{S}_k^k$ изменяются, если в результате предыдущего шага из табл. 6.17 исключается строка.

Таблица 6.17

Параметры		n_k^k	${}_1S_k^k$	σ_k^k	Типы КТС		
					n_k^1	...	n_k^k
1	2	3	4	5	6	...	$5+b$

Продолжение таблицы 6.17

Ресурсы		ε_k^k	${}_1\tilde{S}_k^k = \varepsilon_k^k S_k^k$	${}_1\pi_k^k$	${}_q\tilde{S}_k^k$
ρ_1^k	...	ρ_c^k			
5+b+1	...	5+b+c	5+b+c+1	5+b+c+2	5+b+c+3
					5+b+c+4

Очередное прикрепление заявки $3_k, k=1$ в табл. 6.17 для $k=p$ считается допустимым только в том случае, когда имеют место условия

$${}_q\tilde{S}_{k=l}^{k=p} \leq \tilde{S}_{k=l}^{k=i}, l \in \{k\}_{k=l/p} \quad (6.8)$$

где $\{k\}_{k=l}$ – перечень типов КТС, способных обслужить заявку $3_k, k=1$

$${}_q\tilde{S}_l^p = {}_{q-1}\tilde{S}_l^p \frac{{}_q\pi_l^p}{{}_{q-1}\pi_l^p}; q = 1, 2, K, K \quad (6.9)$$

и ${}_q\tilde{S}_l^p$ – значение CEO заявки $3_k, k=1$ после q -го шага обслуженной КТС типа $k=p$; ${}_{q-1}\tilde{S}_l^p$ – значение CEO той же заявки, обслуженной КТС типа $k=p$ на $q-1$ -м шаге; ${}_{q-1}\pi_l^p$ – коэффициент партионности КТС типа $k=p$ на $q-1$ -м шаге; ${}_q\pi_l^p$ – коэффициент партионности КТС типа $k=p$ на q -м шаге.

Величина ${}_{q-1}\tilde{S}_l^p$ выбирается из табл. 6.17, где она после расчетов q -го шага заменяется величиной ${}_q\tilde{S}_l^p$. Значения величин

${}_1\tilde{S}_k^k$ и ${}_1S_k^k$ во всех шагах первого приближения остаются неизменными. Эти условия и необходимость выполнения неравенства (6.8) гарантируют от движения в направлении локального минимума.

После прикрепления очередной заявки в таблице для тех типов КТС, число которых уменьшилось после предыдущего прикрепления, производится пересчет коэффициентов партионности π и величин CEO ${}_q S$, ${}_q \tilde{S}$.

В остальном алгоритм остается таким же, как и при решении линейной задачи. Однако вследствие условия (6.9) процесс прикрепления в первом приближении не может быть доведен до конца, так как CEO ${}_q S$ после каждого прикрепления возрастает, а все CEO ${}_1 S$, ${}_1 \tilde{S}$

остаются неизменными. После того, как будет осуществлено прикрепление всех заявок, удовлетворяющих условию (6.9), для всех неприкрепленных заявок производится перерасчет коэффициентов партионности и CEO. После чего составляются новые таблицы, аналогичные табл. 6.17. Эти таблицы отличаются от исходных тем, что коэффициенты партионности в них определены с учетом уже прикрепленных. Следовательно, в новых табл. 6.17 коэффициенты партионности π и CEO, учтенные при их составлении, ближе к оптимальным, чем исходные. На этом первое приближение завершается.

Для следующей серии приближений начальными являются новые табл. 6.17, аналогичные исходным. Они содержат только неприкрепленные заявки и отличаются от исходных тем, что вместо CEO, обозначенных ${}_1\tilde{S}_k^k, {}_1S_k^k$ и ${}_q\tilde{S}_k^k$, в них зарегистрированы CEO, рассчитанные при коэффициенте партионности ${}_{g_1}\pi_k^k$. В дальнейшем эти величины обозначаются ${}_{g_1}S_k^k, {}_{g_1}\tilde{S}_k^k$, где g_1 – номер шага, на котором первая серия приближений была завершена. Вместо начальных коэффициентов ${}_1S_k^k, {}_1\tilde{S}_k^k, {}_1\pi_k^k$ в новые табл. 6.17 включаются коэффициенты ${}_{g_1}S_k^k, {}_{g_1}\tilde{S}_k^k, {}_{g_1}\pi_k^k$.

Для вновь построенных более коротких таблиц, не содержащих уже прикрепленной заявки, во втором приближении снова производится дополнительное исключение бесперспективных вариантов. Во второй серии приближений удается прикрепить часть заявок, не прикрепленных в первой.

Последовательные приближения повторяются до тех пор, пока на n -той той серии приближений не будут прикреплены все заявки, если это возможно. Признаком завершения процесса является то, что после очередного g -го приближения не остается неприкрепленных заявок или будет использован весь универсальный ресурс Σ . Учет ограничений, если допустима первая и вторая постановки, осложнений не вносит. Они на каждом приближении учитываются так же, как учитывались при решении линейных задач.

Для решения нелинейной задачи применяется дополненный алгоритм решения задачи 6.

Ниже приводятся изменения в универсальном алгоритме задачи 6, вызванные учетом изменения коэффициентов π .

Все подготовительные пункты алгоритма решения нелинейной задачи совпадают с пп. 1-11 алгоритма, построенного для решения линейной задачи в общем виде. Но при решении нелинейной задачи

они отличаются способом построения таблиц. Вместо табл. 6.14, 6.15 строится табл. 6.17, где вводятся графы для величин ${}_q\pi_k^k$ и ${}_qS_k^k, {}_q\tilde{S}_k^k$, в которых регистрируются изменившиеся после очередного шага прикрепления значения коэффициентов партионности и значения CEO, а также строится табл. 6.17. Дальше процесс прикрепления ведется согласно пунктам алгоритма решения линейной задачи, в которых, начиная с п. 13, сделаны следующие дополнения и изменения:

п. 13 дополняется указанием «Последовательно пересмотреть неприкрепленные строки табл. 6.17 и составить разности».

$${}_1S_k^k - {}_qS_k^k = \Delta S_k^{lk}, \text{ для } \forall l \in \{k\}_k.$$

Если $\exists \Delta S_k^{lk} \geq 0$, прикрепление не производить. В табл. 6.17 соответствующую строку отметить, затем рассмотреть следующие строки.

Если $\forall \Delta S_k^{lk} < 0$, то к КТС типа k прикрепить заявку 3_k . Для этого выполнить пп. 13.1-13.3, 13.4, 13.4.1, 13.4.2, 13.5-13.8 и ввести новые пп. 13.9, 13.10.

13.9. Определить коэффициенты, партионности для каждого типа КТС, потребность в которых изменилась в связи с исключением из этой таблицы прикрепленных вариантов. Изменить соответствующие данные во вновь составленных табл. 6.17.

13.10. Учитывая изменения коэффициента партионности для каждой строки, произвести перерасчет коэффициентов ${}_q\pi_k^k$ и CEO ${}_qS_k^k, {}_q\tilde{S}_k^k$ и включить их в соответствующие графы таблиц.

Пункты 14 и 15 выполняются в следующем виде:

14. Просматриваются первые строки табл. 6.17 и делается попытка прикрепить очередную заявку в таблице, где ${}_qS_k^k$ в первой строке имеет значение $\min \min$; условием допустимости прикрепления является удовлетворение неравенству (6.9).

15. Вместо табл. 6.15 нужно читать табл. 6.17.

П. 16 в редакции составленной для нелинейной системы, получает вид:

16. В цикле произвести прикрепление всех последующих заявок, пока не будут проанализированы возможности прикрепления всех строк табл. 6.17, составленных для текущего приближения аналогично, куда внести все неприкрепленные и не вычеркнутые в первом приближении заявки.

16.1. После просмотра всех строк в табл. 6.17 останутся прикрепленные заявки, а в табл. 6.16 – неиспользованные КТС и ресурсы.

Для достижения баланса необходимо выполнить последующие серии приближений.

Исходные данные для следующего приближения приводятся в п. 16.2:

16.2. По результатам расчетов первого приближения заполнить новые таблицы (см. табл. 6.17), где вместо исходных коэффициентов ${}_1\pi_k^k$ записаны коэффициенты $g_1 \pi_k^k$ (g_1 номер последнего шага первой серии приближений). Вместо величин ${}_1S_k^k, {}_1\tilde{S}_k^k, {}_1\pi_k^k$, которые на начальном шаге принимались равными ${}_1S_k^k, {}_1\tilde{S}_k^k, {}_1\pi_k^k$, записать значения $g_1 S_k^k, g_1 \tilde{S}_k^k$ и $g_1 \pi_k^k$, которые рассчитаны для партий, соответствующих коэффициентам партионности $g_1 \pi_k^k$.

Составить укороченные табл. 6.17. В эти таблицы не включать уже прикрепленные или вычеркнутые из начальных таблиц в ходе предыдущих приближений строки.

Подготовить незаполненные формы табл. 6.17.

16.3. Произвести вторую и последующие серии приближений, отличающиеся от второй тем, что вместо π_k^k и S_k^k, \tilde{S}_k^k регистрируются

переменные $g_i \pi_k^k$ и $g_i S_k^k, g_i \tilde{S}_k^k$, полученные из i -го приближения.

Примечание.

При втором и последующих сериях приближений коэффициенты $q \pi_k^k$ в таблицах, аналогичных табл. 6.17 изменяют только после достижения условий $q_i \pi_k^k > q-1 \pi_k^k$, где q -номер шага.

п. 17 не изменяется, но к нему добавляются пп. 17.1, 17.2:

17.1. После окончания последнего приближения в формах табл. 6.15 будут зарегистрированы заявки, для которых использованы все располагаемые ресурсы.

Примечание. Для определения стоимости используется S_k^k , а не \tilde{S}_k^k .

Пункты 18—22 остаются без изменений.

Стоимость обслуживания заявок определяется с учетом значения коэффициента партионности по окончанию процесса оптимизации.

6.15. Особенности построения оптимального типоразмерного ряда КТС в условиях динамики

Динамическое поле заявок отличается от стационарного тем, что с течением времени состав заявок изменяется. Изменение является следствием научно-технического прогресса. В результате число требований в не-

которых заявках возрастает, в других уменьшается, часто появляются новые заявки, и с некоторого момента часть заявок может не поступать.

Динамическое поле описывают в дискретных промежутках времени. Удобно динамическое поле заявок рассекать по оси времени рядом сечений. Сечения обычно проводят через промежутки времени длительностью в один год, и все заявки, которые должны быть обслужены в течение планируемого года, проектируют на сечение, ограничивающее конец текущего года.

Таким образом, вместо m -мерного поля с произвольно распределенными заявками в рассмотрение вводят $(P+1)$ P -мерных стационарных полей, следующих одно за другим (P число лет в плановом периоде). (В число сечений включено и сечение $p=0$).

Рассмотрим динамику изменения отдельной заявки. С течением времени число требований в заявке может возрастать, оставаться неизменным или уменьшаться. Пусть к началу планового периода для обслуживания некоторой заявки система располагает необходимым числом КТС соответствующих типоразмеров.

Для заявок построим динамическое (разностное) поле.

В состав разностного поля включим те элементы динамического поля, которые в рассматриваемый момент времени не могут быть обслужены имеющимся парком КТС.

Теперь задача заключается в обслуживании разностного поля заявок вводом дополнительных КТС в таком наборе, который способен обеспечить максимум эффективности использования средств, затраченных на развитие СО.

Чтобы представить задачу, предположим, что к последнему году планового периода длительностью P лет исходный парк желательно полностью обновить. Следовательно, решая стационарную задачу для последнего $p=P$ -го года планового периода, можно, не учитывая число старых КТС, построить оптимальный типоразмерный ряд, предпочтительный для конца планового периода. Парк, оптимальный для последнего года планового периода $T = P_{\text{лет}}$, назовем конечным оптимальным парком (КОП). Таким образом, мы располагаем исходным парком, сформированным для начала планового периода, и идеальным, рассчитанным для последнего года планового периода.

Следовательно, при заданных ограничениях на ресурсы всех видов задача заключается в оптимальном переходе от исходного парка к конечному.

Приступая к решению задачи обслуживания динамического поля, кроме рассмотренных факторов, следует помнить некоторые особен-

ности динамики обслуживания заявок. Прежде всего еще раз обратим внимание на особенность временной составляющей динамического поля заявок, заключающуюся в том, что большая часть КТС является объектом многолетнего применения. В связи с этим назначив КТС для обработки требования в P -м году, следует учесть: во-первых, этот КТС будет функционировать до $(p + h^k)$ -го года (где h^k срок службы данного КТС); во-вторых, стоимость КТС определяется экономической конъюнктурой; в-третьих, поступление КТС в систему происходит неравномерно (в течение первых лет по мере освоения производства число КТС, поставляемых в СО, увеличивается, а затем стабилизируется). Поставленная задача относится к классу квазистатических, так как рассматривается без учета инерционных явлений.

6.16. Возможные стратегии решения динамической задачи

Ясно, что использование для задач динамики алгоритмов, эффективно применяемых в статических условиях, без учета указанных особенностей не приведет к верному результату. В связи с этим, приступая к окончательному решению динамической задачи, уточним ее постановку. Так как решения ищутся в дискретном варианте, необходимо ограничить число рассматриваемых альтернатив. Возможные подходы будем называть стратегиями. Выберем предпочтительные стратегии и затем на этом множестве найдем оптимальную.

Важнейшими факторами, определяющими возможность оптимального решения, являются располагаемые ресурсы и время ввода в строй КТС новых типоразмеров.

Учитывая преемственность принятых решений, прежде всего следует определить, какие из КТС конечного оптимального парка уже подготовлены к производству и когда следует ожидать поступление этих типов КТС. Необходимо также уточнить оптимальный, при выделенных ресурсах и установленных потребностях, жизненный цикл КТС новых типоразмеров.

Надежное предсказание не всегда возможно из-за отсутствия проверенных данных о длительности этапов цикла.

Все это предопределяет многие возможные альтернативы, которые следует сравнивать с целью выбора оптимального режима запуска в производство и эксплуатацию новых конструкций. При выборе различных вариантов производства приходится считаться с ограничениями:

связанными с необходимостью по возможности использовать весь существующий работоспособный парк КТС без снижения общего качества обслуживания;

определенным числом КТС нового типа (h), которые вероятно будут введены в строй в течение рассматриваемого года;

на приобретение КТС старого типа (k);

связанными с изменением структуры отдельных заявок и всего поля в целом.

Особенно трудно учитывать ограничения второго типа, так как они являются функцией производственных мощностей часто еще несуществующих предприятий, которые предстоит проектировать или переоборудовать.

В качестве первого приближения можно рекомендовать следующий подход: мощность предприятий, предназначенных для производства КТС, должна быть определена из предположения, что в конце планового периода $p = P$ все КТС исходного типажа желательно заменить КТС конечного типажа.

Для определения оптимальной стратегии рассмотрим возможные способы обслуживания одной из заявок. При организации ее обслуживания в разные годы можно придерживаться различных принципов – стратегий.

По P стратегии в каждом году планового периода остаточный парк дополняют только КТС исходного (k) типоразмера. В том случае в течение всего планового периода используют устаревшую технику, а новую технику начинают вводить по окончании планового периода. По $P - 1$ стратегии до начала P -го года дефицит покрывают за счет КТС исходного типоразмерного ряда, И только к началу P -го года начинают вводить КТС из нового типоразмерного ряда.

По P стратегии до начала $p + 1$ года дефицит покрывается КТС старой конструкции, а начиная с $p + 1$ года вместе с КТС старой конструкции, в действие вводят КТС нового типоразмера (h). Для применения этой стратегии должно быть известно: остаточное число КТС старого типа, находящихся в эксплуатации; число КТС новой конструкции, которые может поставить промышленность в $p + 1$ -м и последующих годах. При недостатке КТС нового типоразмера дефицит разрешается покрыть новыми КТС старого типа.

По $p = 0$ стратегии КТС нового типоразмера можно вводить в эксплуатацию в начале планового периода.

Выбирая стратегию, нужно помнить, что к моменту выполнения расчетов проектант располагает сведениями о КТС, находящихся в различных стадиях своего жизненного цикла. По этому признаку КТС

всех типов можно разделить на три группы: КТС уже выпускаемый промышленностью; КТС, запущенный в производство, но еще не производимый; КТС, жизненный цикл которых еще не начался (о КТС этой категории проектант имеет только данные, определяющие их обликовые характеристики).

КТС первой из этих групп обозначим индексом (k), а КТС двух других групп индексом (h).

Составляя перечень возможных стратегий, нужно помнить, что КТС группы (k) уже находятся в эксплуатации, производятся и их можно приобрести уже в начале периода планирования. Конструкции (h) второй группы могут быть поставлены не раньше некоторого срока, определяемого той стадией их жизненного цикла, в которой они находятся к началу планового периода. Следовательно, стратегии, ориентированные на использование КТС этой группы, не могут быть реализованы до момента начала их промышленного производства. Это обстоятельство позволяет несколько уменьшить число перебираемых вариантов.

Стратегии с применением КТС (h) третьей группы могут быть реализованы только через некоторое число лет (не меньше q^h числа лет, необходимых для организации производства КТС рассматриваемого типа). Решение о их производстве может быть принято только после выполнения оптимизации типоразмерного ряда по обликовым характеристикам сопоставляемых вариантов КТС и только тогда, когда КТС данного типа должен быть подготовлен к производству в начале планового периода.

В случаях, когда работы над КТС некоторого типа в соответствии с результатами решения оптимизационной задачи в скользящем режиме должны быть начаты не в первом плановом году, КТС нового типа могут быть не созданы. Это объясняется тем, что через год после смещения планового периода на один временной интервал, КТС нового типа могут не войти в оптимальный ряд, построенный для новых условий. Напомним, что скользящим циклом планирования называют такой способ решения плановых задач, при котором полный объем решений повторяется ежегодно, с учетом реальной конъюнктуры.

Таким образом, применение скользящей шкалы планирования позволяет уточнить решение оптимизационной задачи с учетом новых технических решений и изменения потребностей.

В производство поступают только те КТС, которые должны быть изготовлены, начиная с первого года очередного планового периода. Использование метода скользящего планирования позволяет до-

стичь эффекта адаптации динамического ряда к изменениям условий вследствие развития науки и техники.

Для дальнейшего снижения размерности оптимизационной задачи сделаем несколько замечаний.

Рассмотрим классы заявок и определим способы их обслуживания. Все заявки отнесем к трем классам:

а) заявки, подлежащие обслуживанию в течение всего планового периода. При этом до p -го года, $0 < p \leq P$ они обслуживаются КТС старого типоразмера $k \in \{k\}$, а после p -го года КТС нового типа $h \in \{h\}$;

б) заявки, обслуживание которых следует производить до p -го года, $0 < p < P$ КТС старого типа $k \in \{k\}$, а после p -го года они снимаются с обслуживания;

в) заявки, подлежащие обслуживанию начиная с p -го года и до этого не подлежащие обслуживанию.

Во всех трех случаях будем считать, что любая заявка в течение планового периода должна быть обслужена двумя типами КТС: до промежуточного года P одним, после другим. В первом случае обе конструкции реальные. Во втором и третьем – только одна конструкция реальная, вторая же, применяемая для промежутка времени, когда заявка не подлежит обслуживанию, условная (КТС $k = 0$, предназначенного для обслуживания условной заявки. Все параметры этого типа КТС тождественно равны нулю). Для заявок класса б нулевой типоразмер включается в $\{k\}$, а для заявок класса в) во множество $\{h\}$ (рис. 6.6).

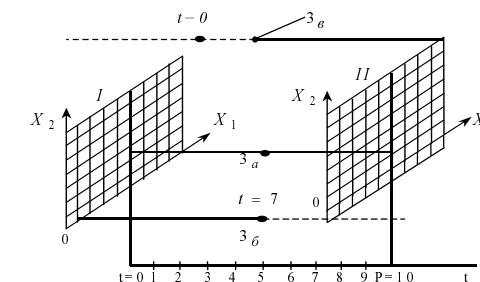


Рис.6.6. Динамическое поле заявок
I – поле в начале планового периода; II – поле в конце планового периода;
 3_a – заявка актуальна в течение всего планового периода; 3_b – заявка анулирована на седьмом году планового периода; 3_c – заявка предъявлена к обслуживанию на третьем году планового периода

Введение КТС с нулевыми параметрами позволяет утверждать, что любая из заявок до момента времени $t = p$ обслуживается КТС старого типа $k \in \{0, K\}$, а после года p – КТС нового типа $h \in \{0, H\}$.

Следовательно, синтез оптимального типоразмерного ряда нужно производить не для отдельного типоразмера КТС, а для пары (k) и (h) . Учитывая, что для обслуживания заявок допускаются отклонения от адекватности обслуживания, таких пар можно составить несколько. При этом число возможных пар может быть весьма велико. Однако, учитывая, что начальный типоразмерный ряд, построенный для начального момента планового периода $p = 0$ и конечного года $p = P$, предварительно определены для каждой заявки, максимальное число пар можно принять равным числу заявок.

6.17. Построение типоразмерного ряда КТС с учетом процессов развития системы

Теперь можно перейти к построению всего исходного множества конструкций КТС и стратегий, на котором следует выполнять перебор вариантов. Рассмотрим вариант адекватного обслуживания заявки Z_x по стратегии p . Это означает, что новую конструкцию КТС начнут вводить в строй в начале $p + 1$ -го года планового периода.

Любую стратегию обслуживания заявки Z_x используя КТС типов (k) и (h) , обозначим индексом (kh) , а среднюю приведенную интегральную стоимость единицы обслуживания – S_x^{kh} . Аналогично представим эту стратегию использования КТС типов (kh) для обслуживания всех остальных заявок, которые могут быть обслужены этой парой по данной стратегии, если она возможна.

Множество величин, полученных из этих расчетов, представляют в виде таблиц, аналогичных табл. 6.11, построенным для одной пары КТС и одной из возможных стратегий. Каждая ее строка содержит СЕО заявки Z_x , усредненную за весь плановый период. Таблица также содержит все данные, необходимые для организации процесса оптимизации методом прикрепления заявок.

Число строк в таблице, построенной для каждой пары КТС, равно числу всех заявок из $P\{\chi\}_v^{kh} - (P\{\chi\})^{kh}$ – перечень заявок, которые может обслужить рассматриваемая пара КТС в течение всего планового периода по p -й стратегии). Используя эту же пару КТС и применив ее для нулевой, первой, второй, K , P (k_h) возможно построить в $P + 1$ таблицах по одной строке, отражающей $P + 1$ стратегию.

Таким образом, если при решении стационарной задачи для одного типа КТС строят одну таблицу, каждая из строк которой отображает СЕО одной заявки, то в условиях динамики для каждой группы заявок, обслуживаемых одной парой КТС по числу возможных стратегий, следует построить $P + 1$ таблицу, каждая из которых включает до K строк. Следовательно, число множеств, из которых следует выбрать оптимальный вариант СО, должно быть равно или меньше $(P + 1)K$. Если теперь использовать алгоритм перебора, разработанный для расчета в стационарных условиях и применить его ко всему множеству таблиц, заполненных в результате приведенного анализа, можно получить субоптимальное решение динамической задачи.

Процесс перебора и прикрепления при оптимизации мало отличается от рассмотренного. Как и в случае стационарного поля, во всех выделенных множествах выполняют двойную переиндексацию так, чтобы элементы всех множеств были ранжированы по возрастанию величин $\{S_x^{kh}\}$, а затем сами множества (таблицы) ранжируют по значениям $\{S_x^{kh}\}$ входящим в эти множества (таблицы). В результате создается сводная таблица и возникает ситуация, аналогичная рассмотренной выше в качестве исходной при решении стационарной задачи построения оптимального типоразмерного ряда.

Однако эта схема без специальных комментариев приемлема только в случае, когда располагаемые ресурсы предварительно не ограничены. Ограниченнность ресурсов затрудняет решение задачи тем, что при составлении исходных множеств невозможно для каждой заявки выделить необходимое число КТС старого и нового типоразмеров. Для учета всех этих особенностей предлагается приведенная ниже последовательность выполнения основных этапов расчета в условиях динамики.

1. Составляют динамическое поле заявок.
2. Определяют ресурсы, которые можно выделить для создания СО по годам.
3. Определяют на весь плановый период работоспособность наличного парка КТС.
4. Определяют динамическое разностное поле на каждый плановый год.
5. Для последнего планового года решают задачу покрытия разностного поля и определяют новый типоразмерный ряд КТС, предназначенный для замены старого.
6. Составляют пары типов КТС старого типоразмера (k)-го и нового (h)-го, предназначенного для его замены.

7. Составляют все $(P+1)K$ возможные стратегии.
8. Для каждого типа КТС уточняют диаграмму жизненного цикла КТС и определяют возможность удовлетворения спроса, а также объем ресурсов, необходимых для решения технических задач по обеспечению жизненного цикла КТС каждого типа.
9. Странят «скользящую» структуру жизненного цикла, учитывающую время начала работы над конструкцией КТС.
10. Составляют таблицы располагаемых ресурсов с учетом стадий жизненного цикла. Они представляются в виде графика, изображенного на рис.6.7.

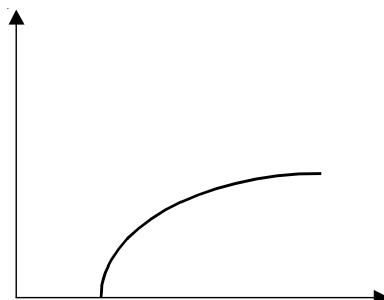


Рис.6.7. План выпуска КТС в функции $j=f(h)$

11. Анализируют все стратегии и выбирают фактически реализуемые для каждой пары типоразмеров КТС.
12. Составляют исходные таблицы для организации направленного перебора.
13. Решают задачу оптимального покрытия динамического поля заявок.
14. Странят диаграмму изменения потребностей как функцию времени для КТС каждого типа.
15. Определяют закон поставок КТС, полученный в результате решения оптимальной задачи.
16. Проверяют степень удовлетворения спроса.
17. Перераспределяют ресурсы между КТС разных типов.
18. Корректируют жизненный цикл КТС каждого типоразмера для согласования располагаемых ресурсов.
19. Корректируют динамическое поле потребностей.
20. Повторяют распределение возможного парка, для чего решают задачу прикрепления заявок с учетом приоритетности и ресурсов.
21. Вновь строят диаграмму поступления КТС всех типоразмеров и проверяют оптимальность порядка поступления КТС типов (k) и (n).

22. Проверяют баланс располагаемых средств и КТС на каждый год и при необходимости корректируют решение.

23. При значительном расхождении выполняют еще одно приближение.
24. Приближения повторяют до достижения рационального: (с точки зрения экспертов) решения.
25. Решение повторяют в скользящем режиме ежегодно.

По результатам ежегодного решения корректируют плановые наметки. Эта коррекция практически безболезненна, так как ее проводят изменением наиболее отдаленных по времени решений, на выполнение которых еще не затрачены средства.

Несмотря на громоздкость, только такой подход, основанный на скользящем планировании, позволяет наилучшим образом адаптироваться к новым условиям, определяемым научно-техническим прогрессом.

6.18. Первопричина возникновения экономических волн – развитие производственного процесса

Изложенная выше методика аналитического проектирования систем обслуживания применима к разработке продукции одного поколения. Развитие научно-технического прогресса инициирует появление новых технических идей. Подхваченные конкурентами, они вынуждают предпринимателей отказаться от хорошо налаженной системы производства и разрабатывать новые поколения изделий, которые зачастую не основываются на традиционных научных идеях, реализующих тщательно наработанный опыт проектирования и производства продукции старых поколений. Это вынуждает непрерывно пересматривать процесс производства.

Перестройка требует инвестирования значительных средств для реализации новых технических идей. На первых этапах это приводит к падению объемов выпуска. Значительные средства затрачиваются на организацию производства, тогда как доход к инвесторам поступает только после достижения седьмого этапа жизненного цикла новой продукции, когда предприятие начинает промышленный выпуск освоенных изделий.

Подобная картина наблюдается и при смене модификаций продукции, когда модель образцов старого типа сменяется новой. На рисунках 6.8 приведена динамика изменения доходов в течение жизненного цикла одной модификации изделия и целого поколения изделий. На кривых рисунков 6.8 отчетливо видны два этапа. Этап, когда осуществляются инвестиции и производство временно уменьшается или полностью приостанавливается, и вторая половина цикла, когда

новая продукция выпускается в промышленном масштабе. В течение полного цикла жизни одного поколения продукции такие волны повторяются несколько раз, см. рис.6.8. В первом приближении дина-

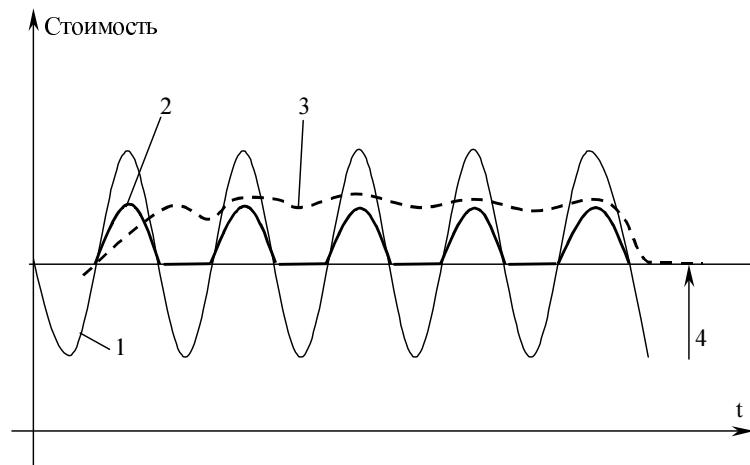


Рис.6.8. Образование волн средней частоты

1 – стоимость производимой продукции на предприятии, 2 – рыночная цена производимой продукции (текущая), 3 – стоимость продукции на рынке, 4 – тренд.

мику изменения стоимости производственного процесса можно представить с помощью гармонической функции, частота которой равна частоте смены модификаций, (кривая 1). Стоимость же продукции, поставляемой на рынок, представляется волнами, изображенными на рис. 6.8 кривой 2 (изображена жирной линией). Разрывы в этой функции возникают потому, что во время перестройки поставки продукции обычно прекращаются. Стоимость продукции накапливаемой на рынке, представляется в виде кривой 3. Так как рыночные процессы обладают значительной инерцией, сглаживающей динамический процесс поставок, кривая 3. При составлении модели следует учесть и тренд, который на рис. 6.8 изображен прямой 4.

Следовательно, чтобы учсть приведенные выше особенности динамического процесса производства и реализации продукции в модели системы производство-рынок, в первом приближении, необходимо построить математическую систему уравнений, объединяющих действующую обобщенную силу, представленную в виде гармонической функции $ASin\omega t$ детектора, выделяющего стоимость продукции, пере-

даваемой для реализации на рынок, инерционного элемента, производящего сглаживание процесса, моделирующего стоимость поставок.

Подобная картина наблюдается на подавляющем большинстве предприятий, производящих материальные блага. В последующих главах будет показано, как наложение колебаний, возникающих в результате научно-технического прогресса, на уровне производства возбуждает совокупность волновых процессов в экономике и социально-политической жизни общества.

Резюме

Разработана модель формализованного представления результатов маркетинга и построения поля заявок, моделирующего потребности рынка. Предложена оригинальная методика решения задач, позволяющая оптимально обслужить поле заявок, моделирующих потребности в изделиях нового поколения.

Предложенная методика решения задач линейного программирования распространена на решение некоторых случаев нелинейных и нестационарных задач проектирования новых поколений продукции.

Разработана методика аналитического проектирования оптимальных типоразмерных рядов – современной базы индустриального производства чередующихся поколений продукции.

Указана первопричина возникновения волновых процессов развития экономики.

Цитированные источники

- 6.1. Котлер Ф. Основы маркетинга.– М.: Прогресс, 1991.– 736 с.
- 6.2. Дабагян А. В. Оптимальное проектирование машин и сложных устройств.– М.: Машиностроение, 1979.– 200 с.
- 6.3. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса.– М.: Изд-во иностранной литературы, 1970.– 586 с.
- 6.4. Мак Дональд. Игра называется бизнес.– М.: Экономика, 1979.– 269 с.
- 6.5. Дабагян А. В. Проектирование технических систем. –М.: Машиностроение, 1986. –252 с.
- 6.6. Дабагян А. В., Кононенко И. В. Моделирование развития и реконструкции гибких производственных систем.– Харьков, 1989.– 155 с.
- 6.7. Дабагян А. В. Качество, технический уровень, унификация и эффективность развивающихся технико-экономических систем.– М.: Изд-во стандартов, 1992.– 172 с.
- 6.8. Тейлор А. Корпорация Дженирал Моторс одна из большой тройки // За рубежом, 1989г, №35.– С.20–21.