

ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СОЗДАНИЕМ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ И ЧЕЛОВЕКОМАШИННЫХ СИСТЕМ

Баришполец В.А.

Вычислительный центр им. А.А. Дородницына, Российская академия наук, <http://www.ccas.ru>
119333, Москва, Российская Федерация

Поступила в редакцию 14.01.2014.

Аннотация. В работе рассматривается развитие методов обоснования и выбора вариантов действия при планировании и управлении человеческой деятельностью, а также развитие применяемых в этом процессе технических средств и организационной формы планирования и управления. Приводятся базовые понятия программно-целевого подхода при планировании и управлении человеческой деятельностью. Основным из этих понятий является программа, определение которой дается в работе. Рассматриваются основные принципы программно-целевого планирования и управления созданием сложных технических и человеко-машинных систем (СТС, ЧМС). Главным из этих принципов является сквозное планирование и управление созданием СТС (ЧМС) по жизненному циклу. Излагается суть принятия решений при сквозном планировании и управлении с учетом неопределенностей, присущих этому процессу.

Ключевые слова: планирование, управление, цель, операция, программа, математическая модель, неопределенности, принятие решения.

УДК 519.61

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ (209)
2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ (210)
3. СКВОЗНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СОЗДАНИЕМ СТС (ЧМС) (214)
4. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ СКВОЗНОМ ПЛАНИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ СОЗДАНИЕМ СТС (ЧМС) (216)
5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ (219)

ЛИТЕРАТУРА (220)

1. ВВЕДЕНИЕ

Планирование и управление человеческой деятельностью в различных областях имело место во все времена. При этом непрерывно развивались методы обоснования и выбора вариантов действия (принятия решения), применяемые в этом процессе технические средства, а также формализация организационной формы планирования и управления.

В 1951 г. в США, в издательстве Массачусетского технологического института издана первая в мире книга по исследованию операций – Morse F.M., Kimball G.E. *Methods of Operations Research*. Cambridge, MA: Technology Press of MIT, New York, 1951, 158 p. На русском языке эта книга была издана в СССР в 1956 г. В ней излагались статистические методы оценки эффективности боевых действий на конкретных примерах и определение

количественных основ для принятия наиболее выгодного решения руководителем военной операции. После этого началось бурное развитие исследования операций во всех развитых странах. В настоящее время **исследование операций** представляет собой обобщающее название дисциплины, занимающейся разработкой и применением математических методов, эвристических подходов и математического моделирования для нахождения оптимальных решений в различных областях целенаправленной человеческой деятельности. Оно включает: математическое программирование (линейное, нелинейное, дискретное, динамическое, стохастическое); теорию массового обслуживания; теорию игр; теорию графов и математические методы сетевого планирования; теорию расписаний и комбинаторную математику; управление запасами и др.

В это же время начала бурно развиваться **кибернетика** как наука об управлении и связи в живом организме и машине (Н. Винер). В настоящее время объектами кибернетики являются все управляемые системы. Каждая такая система представляет собой множество взаимосвязанных элементов, способных воспринимать, запоминать и перерабатывать информацию, а также обмениваться ею. Кибернетика изучает хранение, передачу и переработку информации, ее использование для управления и регулирования в сложных динамических системах. Наиболее

весомыми теориями, объединяемыми кибернетикой, можно назвать: теорию передачи сигналов, теорию управления, теорию автоматов, синергетику, теорию алгоритмов, теорию распознавания образов, теорию оптимального управления, теорию обучающихся систем. Кибернетика стала теоретической основой электронной вычислительной техники.

Электронная вычислительная техника в своем развитии прошла через несколько поколений. Каждое поколение электронных вычислительных машин (ЭВМ) отличалось от прежнего поколения элементной базой, быстродействием, габаритами, объемом оперативной и долговременной памяти, возможностями интерфейса. Первая электронная цифровая вычислительная машина (ЭЦВМ) была создана в США в 1946 году. Элементной базой *1-го поколения* ЭВМ, которые использовались в 1950-е годы, являлись обыкновенные электронные лампы. Технические средства ЭВМ этого поколения занимали помещение, равное школьному спортивному залу. Быстродействие, объемы оперативной и долговременной памяти этих ЭВМ были малы. Информация в ЭВМ вводилась с помощью перфокарт, результаты различных расчетов выводились на широкую бумажную ленту. Обслуживание парка таких ЭВМ требовало значительного технического персонала. Элементной базой ЭВМ *2-го поколения*, которые нашли широкое применение в 1960-е годы, стали полупроводники. В связи с этим резко повысились быстродействие ЭВМ, объемы оперативной и долговременной памяти. ЭВМ этого поколения использовали языки программирования высокого уровня и принцип библиотечных программ. Дальнейший прогресс в развитии ЭВМ произошел в связи с появлением интегральных схем, которые стали основой элементной базы ЭВМ (1970-е годы). На смену им пришли большие интегральные схемы, а затем – сверхбольшие интегральные схемы (*3-е, 4-е, 5-е и последующие поколения ЭВМ*). Новая элементная база позволила создавать ЭВМ с развитой конфигурацией внешних устройств; значительно повысить объемы оперативной и долговременной памяти; внедрить многопроцессорность; создать развитую операционную систему, обеспечивающую параллелизм выполнения операций; создать развитые средства диалога. Быстродействие суперкомпьютеров, построенных на современной микропроцессорной элементной базе, достигает десятков петафлопсов (квадриллионов операций с плавающей запятой в секунду, flop/s - Floating-point Operations Per Second). Такие ЭВМ могут обладать практически неограниченной необходимой оперативной и долговременной памятью. А для размещения всех технических устройств такой суперЭВМ достаточно небольшой комнаты. Исходная информация в цифровом и текстовом виде может вводиться в

современную ЭВМ с помощью алфавитно-цифровой клавиатуры или сканера. Результаты обработки этой информации могут выводиться из ЭВМ с помощью различных классов принтеров (лазерный, струйный) в черно-белом и цветном виде. Эта информация может выводиться также на различные классы мониторов (на электронно-лучевых трубках, жидкокристаллические). Новейшие достижения в области микроэлектроники привели к созданию не только суперкомпьютеров, но и таких ЭВМ, как персональные настольные, а также мобильные компьютеры - ноутбуки и планшеты, которые по своим возможностям превосходят ЭВМ 2-го поколения.

2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Основной чертой настоящего времени является ускорение научно-технического прогресса, которое базируется на всемерном интенсивном развитии фундаментальных исследований по основным, перспективным направлениям естественных и технических наук, а также интеграции науки и производства. Суть этой интеграции заключается в объединении на основе, во-первых, современных методов и, во-вторых, новой организационной формы планирования и управления всех стадий и этапов процесса создания образцов новой техники, начиная от возникновения научной идеи и кончая ее практической реализацией. Такой новой организационной формой планирования и управления созданием новой техники является **программно-целевое планирование и управление**. Оно обеспечивает создание образцов новой техники, превосходящих мировой уровень, в требуемые сроки и с минимальными затратами на их разработку, производство, освоение и эксплуатацию.

Программно-целевое планирование и управление на протяжении многих лет является одним из наиболее распространенных и эффективных методов государственного регулирования экономики, применяемых в большинстве развитых стран мира. В их числе Канада, Япония, Южная Корея, Австрия, Германия, Франция, Финляндия, США и др.

Попытки использовать программно-целевой подход в отечественном территориальном планировании имели место еще в 1920-1930 гг. Впервые программные идеи в СССР были реализованы в плане ГОЭЛРО, разработанном в 1920 г. При этом решались вопросы не просто сооружения 30 районных электростанций, а весь комплекс взаимосвязанных вопросов: увеличение добычи топлива, совершенствование или создание системы его переработки и транспортировки; развитие промышленности; обучение кадров; создание

инфраструктуры городов и т.д. Программно-целевой подход нашел применение также при создании Урало-Кузнецкого комбината, освоении Хибин, строительстве крупного промышленного центра Комсомольск-на-Амуре и др. Однако уровень методологического обеспечения программно-целевого планирования и управления в то время был очень низким.

Применение программно-целевого планирования и управления уже на новой методологической основе с использованием последних достижений в области исследования операций, кибернетики и вычислительной техники осуществил в США Р. Макнамара в середине 1960-х гг. для планирования и управления развитием вооружения и военной техники (ВВТ). Под его руководством в министерстве обороны США была разработана и внедрена система PPBS (Planning, Programming, Budgeting System - система планирования, программирования и разработки бюджета). К 1966 г. Пентагон полностью перешел на работу по-новому, и американская администрация поставила задачу подобного перехода перед остальными федеральными ведомствами. Принципы программно-целевого планирования и управления использовались для подготовки и реализации космических, военно-стратегических, территориальных, научно-технических и других программ и проектов. Американские разработки привнесли в концептуальную структуру программно-целевого подхода точные структурно-логические математические методы расчленения генеральной схемы программы на отдельные подцели, проблемы, задачи с помощью построения дерева целей на основе теории графов, методы оценки вклада в достижение генеральной цели, позволяющие оптимально распределить необходимые ресурсы по всем элементам программы, методы построения организационных и управляющих структур целереализации и др.

В 1970-1990 гг. целевые комплексные программы получили широкое распространение в СССР как важнейшие составные части государственных перспективных планов экономического и социального развития.

Нынешний бюджет России сформирован по программно-целевому принципу. Разработано 39 государственных целевых программ (ГЦП). Программами охвачены в 2014 г. 58,5% бюджета. В качестве примера приведем некоторые ГЦП: «Федеральная космическая программа», «Развитие гражданской авиационной техники», «Развитие гражданской морской техники», «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники», «Жилище», «Социальное развитие села», «Развитие образования» и др. Идет подготовка к запуску программы

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 гг.»

С 1970 г. по настоящее время в нашей стране осуществляется программно-целевое планирование и управление развитием ВВТ [1]. Созданы необходимые органы управления и исследовательские учреждения, разработаны организационные процедуры, математические методы и модели, а также накоплен соответствующий практический опыт. Все это может быть использовано при осуществлении программно-целевого планирования и управления в народном хозяйстве.

В основе планирования и управления развитием ВВТ лежит Государственный оборонный заказ, представляющий собой задания на поставки товаров (ВВТ, сырья, материалов, комплектующих изделий, военного имущества и др.), выполнение работ (научно-исследовательских и опытно-конструкторских, уничтожение химического оружия, строительство и др.), оказание услуг (ремонт, модернизация ВВТ и др.) для федеральных нужд в целях обеспечения обороны и безопасности РФ. Государственный оборонный заказ формируется на основе «Государственной программы вооружения» на 10 лет, которая имеет иерархическую структуру, соответствующую структуре системы вооружения Вооруженных сил РФ. На нижнем уровне «Государственной программы вооружения» находятся перспективные комплексы (образцы) ВВТ, для каждого из которых указываются тактико-технические требования, стоимости и сроки проведения исследований и разработок, объемы закупок по годам планируемого периода.

Исходя из изложенного, следует, что основным инструментом программно-целевого планирования и управления является **программа** – долгосрочный плановый документ, увязывающий цели и задачи по срокам их достижения с необходимыми средствами и ресурсами.

Прежде чем рассматривать основные принципы программно-целевого подхода к планированию и управлению, остановимся на его основных понятиях [1], связанных с формализацией организационной формы человеческой деятельности, в том числе планирования и управления.

Цель – желаемый результат деятельности, достижимый в пределах некоторого интервала времени.

Задача – желаемый результат деятельности, характеризуемый набором количественных данных или параметров и достижимый за намеченный (заданный) интервал времени $[t_0, t_1]$. Обычно задачи являются конкретизацией или детализацией целей под разными углами зрения. В общем случае сроки

выполнения задач меньше, чем сроки достижения целей.

Поскольку цель выступает как более общая категория, чем задача, то можно считать, что цель достигается в результате решения ряда задач и в связи с этим задачи можно упорядочить по отношению к целям.

Проблема – потенциальная цель (задача), для которой еще или не найдены альтернативы ее достижения (решения), или не представляется возможным выделить ресурсы на поиск альтернатив и проведение операции для ее достижения (решения), или то и другое вместе. Очевидно, что в какой-либо сфере деятельности проблем всегда больше, чем может быть поставлено целей и задач.

Анализируемые и оцениваемые конкурирующие варианты достижения цели или решения задачи называются **альтернативами действий** или просто **альтернативами**.

Последовательность все более совершенных в каком-либо смысле целей будем называть **направлением развития**.

Операция – деятельность коллектива, управляемая из единого центра и направленная на достижение цели или решение поставленной задачи. При этом орган управления операцией имеет возможность распределять в соответствии с планом операции все выделенные на операцию финансовые, трудовые и материальные ресурсы.

По характеру протекания можно выделить два вида операций: терминальные и непрерывные или развивающиеся.

Терминальные операции завершаются достижением поставленной цели за конечный интервал времени T , после чего ресурсы могут быть использованы в других операциях. К терминальным операциям относится создание сложных технических систем (СТС), человеко-машинных систем (ЧМС), строительство сооружений, зданий, новых предприятий, мероприятия по ликвидации последствий стихийных бедствий и т.п. Терминальные операции могут образовывать последовательность, когда завершение предыдущей операции создает предпосылки для осуществления следующей с более совершенной в каком-либо смысле целью, например, последовательность операций по освоению космоса (запуск искусственного спутника, Лайка в космосе, запуск человека в космос, многочасовые полеты человека в космосе, совместные полеты космических экипажей, запуск человека на Луну, запуск космических аппаратов на Венеру и Марс).

Развивающиеся операции – массовое, серийное производство товаров и услуг, торговля, процессы

обучения в школах и вузах и пр. В этом случае цели операций периодически повторяются на каждый год, квартал, месяц. При этом цели от периода к периоду становятся все более и более совершенными с каких-либо точек зрения. Таким образом, развивающиеся операции связаны с реализацией направления развития.

Результаты и сроки операций носят, как правило, вероятностный характер. При этом операции, направленные на достижение целей, имеют большую степень неопределенности, чем операции, связанные с решением задач. Любая операция большого масштаба может быть представлена как многоуровневая иерархическая совокупность операций меньшего масштаба. Причем членение операции происходит соответственно членению цели (задачи) операции на иерархическую совокупность подцелей (подзадач). Членение производится до уровня задач, которые удобно принять за элементарные, т.е. такие, которые характеризуются единственным устойчивым безальтернативным способом решения.

Управлением или **руководством** со стороны органа управления операцией называют последовательность команд, приказов, сигналов и т.п., которые приводят к определенному способу использования или распределения трудовых и материальных ресурсов, машин, оборудования, сырья в течение всей операции.

При управлении операцией (деятельностью) имеет место пять последовательных этапов: формулировка цели; принятие решения – выбор из множества возможных альтернатив наилучшей в соответствии с выбранным критерием (целевой функцией) [2, 3]; исполнение решения – проведение операции (оперативное управление) и получение желаемого результата; оценка результата; рекомендации на будущее, которые касаются в основном совершенствования планирования и процесса оперативного управления.

Работа – процедура, результат которой носит материальный характер, связанный с преобразованием веществ, энергии, с транспортировкой веществ и т.п.

Работа $x = (a, b, T)$ характеризуется:
– вектором параметров $a = (a_1, a_2, \dots)$, определяющих результат работы;
– вектором ресурсов $b = (b_1, b_2, \dots)$, необходимых для выполнения работы;
– временем T , отпущенным на выполнение работы.

Если операция по достижению какой-либо крупномасштабной цели достаточно продолжительна, то план такой операции называют программой. Иными словами, **программа** – это комплексный план крупномасштабной продолжительной операции. Или более точно **программа** – это комплексный план продолжительной деятельности коллектива,

направленной на достижение крупномасштабной цели или на реализацию направления развития.

Соответствии с определенными видами операций будем иметь и виды программ: терминальные (программа «Аполлон», программы строительства Братского и Тюменского территориально-промышленных комплексов, КамАЗа, БАМа и пр.) и развивающиеся (освоения мирового океана, использования энергии термоядерных реакций, развития Нечерноземной зоны и пр.).

Разница между программой и долгосрочным планом заключается в том, что программа ориентирована на одну цель, а долгосрочный план – на ведомство или организацию, деятельность которой носит многоцелевой характер. Долгосрочный план образуется из фрагментов ряда программ, в реализации которых участвует данное ведомство или организация. Кроме того, долгосрочный план любого ведомства или организации является многофункциональным, т.е. состоит из таких отдельных планов, как план производства, план материально-технического снабжения, план по труду и заработной плате, финансовый план, план капитального строительства, планы НИОКР и т.п.

В отличие от всех функциональных планов программа имеет *комплексный характер*, т.е. содержит полный комплекс мероприятий (работ), направленных на достижение одной цели или реализацию направления развития. В связи с этим приведенное выше определение программы может быть уточнено.

Программа – это долгосрочный плановый документ, который содержит развернутый во времени, сбалансированный по ресурсам, увязанный по исполнителям и срокам осуществления полный комплекс социально-экономических, организационно-хозяйственных, производственных, проектных, научно-исследовательских и других



Рис. 1. Структура программы снижения себестоимости единицы продукции в отрасли или на предприятии.

мероприятий, направленных на достижение одной цели или реализацию направления развития. Сбалансированность по ресурсам означает, что не даются задания, не обеспеченные ресурсами, и что проведено оптимальное с какой-либо точки зрения распределение ограниченных ресурсов между органами управления низших рангов.

Осуществление операции или реализации программы можно отобразить тремя типами граф-схем или моделей.

1) Разработка программ начинается с построения **графа целей и задач**, который носит название **структуры программы**. Система целей носит иерархический характер вследствие того, что общая цель операции достигается не иначе, как выполнением иерархической совокупности частных операций различных рангов. При составлении структуры программы бывает полезным установить весовые коэффициенты p_j^i значимости целей j внутри каждого уровня i , для чего существуют специальные методики. В качестве конкретного примера на **рис. 1** приведена трехуровневая структура программы снижения себестоимости единицы продукции в отрасли или на предприятии, из которой видно, что цели нижнего уровня являются средствами (способами) достижения целей верхнего уровня.

2) Следующая граф-схема – **информационная модель**, которая отображает структуру иерархической организационной системы, реализующей заданную программу, с указанием всех материальных потоков и потоков информации между органами управления различными службами, отделами, производственными подразделениями и т.п.

3) И наконец, – **сетевая модель** (**рис. 2**), которая дает представление о реализации программы во времени, отражая процесс выполнения совокупности взаимосвязанных работ, направленных на достижение конечной цели, а также позволяет определить значение таких характеристик рассматриваемого процесса, как его продолжительность, трудоемкость, стоимость и др., исходя из учета значений соответствующих характеристик отдельных работ и взаимосвязей между ними [1, 4].

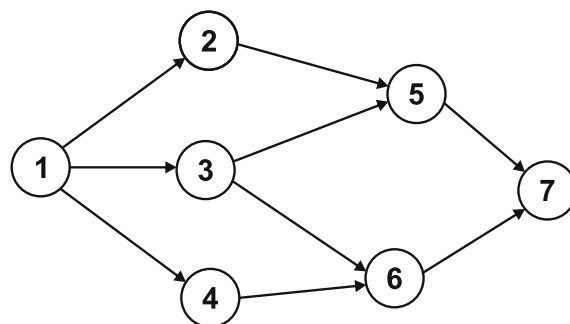


Рис. 2. Сетевая модель.

Программы по достижению каких-либо целей, как правило, предполагаются **скользящими**, т.е. с периодической корректировкой, что придает им адаптивный характер.

В **структуре** любой **научно-технической программы** физически существуют только сложные технические и человекомашинные системы (СТС, ЧМС). Они, в конечном счете, определяют правильность принятых решений. Остальные более высокие уровни программ носят в некоторой степени условный характер и их построение необходимо в интересах последующего обоснования планов более высокого уровня.

В процессе научно-технического прогресса происходит смена одних образцов СТС (ЧМС) другими, более совершенными. Следовательно, одной из главных и первоочередных задач ускорения темпов научно-технического прогресса, является применение программно-целевого планирования и управления созданием СТС (ЧМС) с целью сокращения отрезка времени от появления научной идеи до ее широкой практической реализации, а также оптимизации материальных, финансовых и трудовых ресурсов, участвующих в этом процессе.

3. СКВОЗНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СОЗДАНИЕМ СТС (ЧМС)

Смена одного образца СТС, ЧМС другим, новым позволяет говорить о жизненном цикле образца СТС (ЧМС), о его зарождении и умирании, т.е. снятии с эксплуатации.

Жизненный цикл (рис. 3, ЖЦ) любой СТС или ЧМС, как правило, состоит из следующих этапов или стадий:

1) *Проработка замысла.* На этой стадии рождаются идеи о реализации новейших достижений науки и техники, чтобы СТС удовлетворяла возрастающим требованиям. Определяются желаемые тактико-технические характеристики перспективной СТС, возможные пути ее создания, устанавливаются потребности в новых технических решениях из анализа **дерева конструкции СТС** (рис. 4) и условий реализации этого дерева. Результатом завершения проработки замысла является техническое задание на

проведение соответствующих целевых НИР с указанием их назначения, сроков проведения, организации взаимодействия научно-исследовательских учреждений при проведении исследований.

2) *Проведение целевых НИР* – фундаментальных, поисковых и прикладных. Определяется возможность использования того или иного научного достижения для повышения эффективности СТС, просматриваются возможные принципы построения и пути создания новой СТС.

3) *Разработка технических предложений или аванпроекта.* Из анализа возможных вариантов создания новой СТС определяются оптимальный путь ее разработки, оценки сроков реализации и затрат для всех последующих стадий ЖЦ. Чтобы на стадии разработки технических предложений можно было выбрать оптимальный путь реализации опытно-конструкторской разработки, необходимо иметь несколько конкурсных технических предложений, если не на всю СТС, то во всяком случае на ее главные подсистемы. Конкурсные технические предложения, как правило, разрабатываются параллельно различными научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими организациями. При необходимости на стадии разработки технических предложений могут проводиться дополнительные целевые научные исследования.

4) *Опытно-конструкторская разработка.* Последовательно разрабатываются эскизный, технический и рабочий проекты, требования к которым определены ГОСТом. В результате получаем рабочую конструкторскую документацию на производство, сборку и монтаж СТС, а также документацию по эксплуатации и техническому обслуживанию СТС. Эта стадия также включает создание и заводские испытания опытного образца СТС с целью проверки ее работоспособности, предварительной проверки соответствия ее основных параметров требованиям технического задания и рабочей конструкторской документации.

5) *Приемочные испытания.* Определяются соответствие СТС техническому заданию, возможность постановки ее на серийное производство. Одновременно с проведением



Рис. 3. Жизненный цикл СТС (ЧМС).

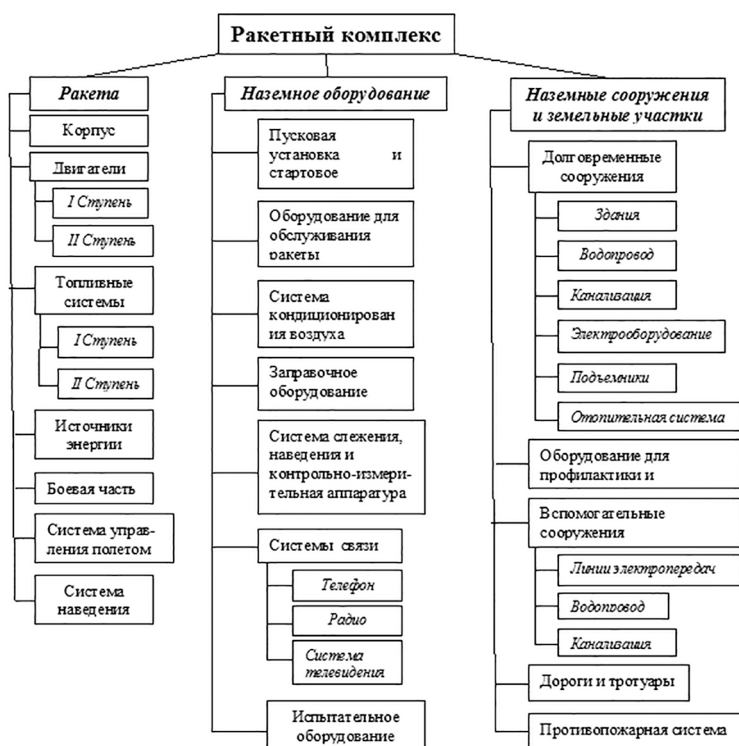


Рис. 4. Дерево конструкции ракетного комплекса.

приемочных испытаний должен быть разработан проект капитального строительства у заказчика.

6) Подготовка серийного производства и капитальное строительство объектов у заказчика. Разрабатываются новые методы производства, средства технологического оснащения.

7) Серийное производство и эксплуатация. Часть ЖЦ СТС (ЧМС) от проработки замысла до серийного производства носит название **реализационного периода**, а от начала серийного производства до снятия с эксплуатации называется **периодом полезной жизни** СТС (ЧМС).

Главным направлением совершенствования планирования и управления созданием СТС (ЧМС) является **сквозное планирование и управление** по их жизненному циклу, суть которого заключается в том, что весь цикл «исследование – производство» рассматривается как единый процесс, направленный на достижение конечной цели. Сквозное планирование и управление позволяет сократить реализационный период СТС за счет ликвидации разрывов между отдельными стадиями ЖЦ, а также параллельного выполнения некоторых работ, относящихся к разным стадиям.

Отдельные стадии ЖЦ СТС можно характеризовать **уровнем затрат С**, необходимых для их реализации. При этом следует заметить, что **неопределенности Н** в получении желаемых результатов очень велики на ранних стадиях ЖЦ и падают по мере создания СТС (рис. 5). С другой

стороны, стоимость работ С, относительно малая на ранних стадиях ЖЦ новой СТС, растет по мере перехода к более поздним стадиям. Поэтому, затратив относительно мало средств на ранних стадиях ЖЦ, мы существенно снижаем степень неуверенности в успешном завершении разработки и предотвращаем большие непроизводительные расходы, которые могут возникнуть в связи с неудачами и переделками на стадиях ОКР, испытаний и серийного производства.

Процессы создания СТС (ЧМС) с учетом их сложности, как правило, представляют собой долговременные операции. Для осуществления сквозного планирования и управления проведению каждой такой операции должна предшествовать разработка соответствующей программы создания СТС (ЧМС). На начальных стадиях жизненного цикла СТС (ЧМС) до ОКР, когда неопределенности в достижении конечной цели велики, эта программа называется **целевым прогнозом**. По мере уменьшения неопределенностей в процессе создания СТС

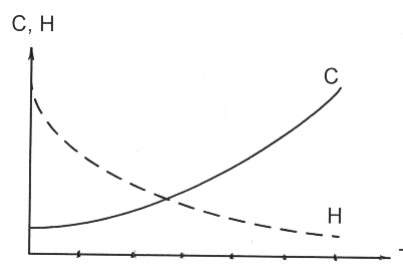


Рис. 5. Уровень затрат.

(ЧМС) на базе целевого прогноза жизненного цикла разрабатывается **сквозной план** СТС (ЧМС).

Целевой прогноз жизненного цикла СТС (ЧМС) представляет собой вероятностное суждение о процессе ее создания. В целевом прогнозе жизненного цикла СТС (ЧМС) должны быть рассмотрены альтернативные варианты достижения конечной цели, для каждого из этих вариантов установлены ожидаемые затраты ресурсов и времени. Информация, содержащаяся в целевом прогнозе жизненного цикла СТС (ЧМС), имеет ориентирующий характер. Она необходима для обеспечения целевой направленности работ на ранних стадиях жизненного цикла СТС (ЧМС).

В отличие от целевого прогноза **сквозной план** СТС (ЧМС), который охватывает все работы по созданию СТС (ЧМС), начиная с ОКР, имеет директивный характер. Он должен содержать только один оптимальный вариант создания СТС (ЧМС) с указанием всех данных о СТС (ЧМС), сроков создания СТС (ЧМС) и необходимых ресурсов. Сквозные планы СТС (ЧМС) представляют собой основу для количественных расчетов при составлении плановых документов всех высших уровней и должны содержать следующие необходимые данные: назначение СТС (ЧМС), ее основные тактико-технические характеристики, сроки выполнения отдельных работ, сведения об исполнителях, расходы с распределением по годам, объем капитального строительства, сроки и объем поставок, а также комплексную сетевую модель. По мере выполнения совокупности взаимосвязанных работ по разработке, испытанию и производству СТС (ЧМС), а также капитальному строительству сквозной план должен периодически уточняться в результате поэтапного принятия решений [2].

При сквозном планировании и управлении созданием СТС (ЧМС) по их жизненному циклу исчезает такая малоуправляемая категория как внедрение научно-технических достижений. Овеществление знаний будет носить плановый характер.

4. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ СКВОЗНОМ ПЛАНИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ СОЗДАНИЕМ СТС (ЧМС)

Главным моментом при сквозном планировании и управлении созданием СТС является **принятие решений**. Суть принятия решения заключается в сопоставлении нескольких альтернатив действий и выборе наилучшей из них в соответствии с принятыми показателями. С различными альтернативами действий связаны различные вероятности успеха, а также затраты различного рода ресурсов и времени.

Эти вероятности и затраты не всегда могут быть точно определены.

В зависимости от наличия исходной информации решения при сквозном планировании и управлении созданием СТС могут приниматься в условиях риска или определенности.

Если для каждой альтернативы известно, к какому конечному результату она приведет, а также известны затраты времени и ресурсов, то решение принимается **в условиях определенности**.

Если для каждой альтернативы известны возможный конечный результат и вероятность его достижения, а также вероятностные характеристики затрат времени и ресурсов, то говорят, что решение принимается **в условиях риска**.

Неопределенности, которые приходится преодолевать при сквозном планировании и управлении созданием СТС, можно разделить на две группы – внешние и внутренние.

Внешние неопределенности – это неопределенности в оценке истинных потребностей в СТС, а также в оценке развития окружающей среды, науки, техники и экономики, исключающие возможность строгой постановки задач создания СТС на ранних стадиях ЖЦ. Если при принятии решения о разработке СТС эти неопределенности не будут правильно оценены, то может оказаться, что разрабатываемая СТС будет неэффективна или бесполезна. В результате этого теряются значительные ресурсы, а главное – время, потерю которого нельзя возместить.

Большую роль в оценке внешних неопределенностей при сквозном планировании и управлении созданием СТС должны сыграть постоянно действующие системы военно-политического, демографического, научно-технического и экономического прогнозирования. На базе прогнозной информации, выдаваемой этими системами, представляется возможным правильно сформулировать конечные цели создания СТС и получить оценку ее потребного количества.

К числу **внутренних неопределенностей** создания СТС можно отнести технические и экономические неопределенности.

Технические неопределенности связаны с оценкой возможности и путей создания СТС с заданными техническими характеристиками. Порождаются эти неопределенности неоднозначностью структуры СТС. Многовариантность структуры СТС в свою очередь обусловлена множеством типов комплектующих элементов и их параметрами. Неправильная оценка технических неопределенностей может привести к

прекращению разработки СТС из-за невыполнимости начальных требований к ней.

Преодоление технических неопределенностей должно базироваться на применении различных видов **системных описаний** СТС, каждое из которых представляет некоторую модель СТС, отражающую определенные аспекты ее построения и функционирования. Многообразие системных описаний СТС может быть сведено к четырем основным: макроскопическое, параметрическое, функциональное и морфологическое. Методология составления этих описаний изложена в работе [5].

Экономические неопределенности связаны с оценкой продолжительности отдельных стадий ЖЦ и затрат на их реализацию.

Большое значение при принятии решения о создании перспективной СТС играет точность определения **продолжительности реализационного периода**. Если оценка указанной продолжительности окажется чрезмерно заниженной по сравнению с фактической, то это может привести к тому, что созданная СТС поступит в эксплуатацию, когда она будет уже морально устаревшей. В лучшем случае занижение продолжительности реализационного периода может привести к прекращению разработки новой СТС. Весьма трудно получить достоверную оценку продолжительности реализационного периода на начальных стадиях ЖЦ СТС (проработка замысла, проведение целевых НИР). Часто ошибки при оценке продолжительности реализационного периода до начала ОКР составляют [1] от 2 до 5 лет в сторону уменьшения этой продолжительности.

Трудно на начальных стадиях ЖЦ также дать достоверную оценку **полной стоимости создания** СТС. Стоимость тоже, как правило, занижают. Степень расхождения фактической и расчетной стоимости прямо связана с масштабами научно-технического сдвига, воплощаемого в создаваемой СТС. Если для создания СТС требуется крупный научно-технический сдвиг, ошибки в оценке стоимости часто получаются большими и отношение фактической стоимости к расчетной может доходить до 4. В том случае, когда требуется небольшой научно-технический сдвиг, отношение составляет 1.1 – 2.0 [1]. Эти величины можно использовать как постоянные коэффициенты при расчете полной стоимости создания СТС на ранних стадиях ЖЦ. Проведенные исследования также показали, что расчетные оценки стоимости работ (мероприятий, операций, действий) и необходимого для их выполнения времени становятся точнее по мере перехода от одной стадии ЖЦ СТС к другой.

Таким образом, неопределенности в исходных данных – объективное свойство условий, в которых приходится принимать решения при сквозном планировании и управлении созданием той или иной СТС. Отсюда можно сделать вывод о нецелесообразности принятия окончательного решения о создании некоторой СТС, если она находится на одной из начальных стадий ЖЦ. Это означает, что после завершения каждой стадии ЖЦ должно приниматься новое решение о продолжении работ по созданию СТС, а все ранние решения теряют силу, если они не совпадают с последним.

В результате уменьшения неопределенностей по мере перехода от одной стадии ЖЦ к другой решения при сквозном планировании и управлении созданием СТС после завершения начальных стадий ЖЦ принимаются **в условиях риска**, а после завершения ОКР и заводских испытаний решения принимаются, как правило, **в условиях определенности**.

Решение о продолжении выполнения работ по созданию СТС после завершения каждой очередной стадии ЖЦ должно приниматься как минимум по следующим **показателям**: W – эффективность СТС; P_{sch} – вероятность создания СТС с заданными техническими характеристиками; C_{rp} – стоимость работ оставшейся части реализационного периода, чтобы можно было приступить к серийному производству СТС; C_{sf} – стоимость серийного производства СТС; C_e – полная стоимость эксплуатации СТС в единицу времени (год, месяц, день); T_e – время поступления СТС в эксплуатацию; T_{ul} – продолжительность периода полезной жизни СТС.

Рассмотрим кратко каждый из этих показателей.

Очевидно, СТС должна, прежде всего, удовлетворять заданному требованию по эффективности W_e , т.е. должно выполняться условие $W \geq W_e$. На начальных стадиях ЖЦ, когда возможность проведения натуральных экспериментов практически исключается, значение показателя эффективности W для каждого варианта СТС может быть определено только с помощью математической модели ее функционирования или применения, которая также позволяет получить зависимости, характеризующие влияние структуры и параметров СТС, характера связей между подсистемами на ее эффективность при заданном воздействии объектов окружающей среды.

На практике очень часто при помощи математического моделирования приходится оценивать эффективность различных вариантов СТС не по одному, а сразу по нескольким показателям. Это объясняется тем, что в ряде случаев создаваемые СТС являются многоцелевыми, т.е. предназначены

для решения ряда задач. Выбор оптимального варианта СТС по двум и более показателям в строгой математической постановке невозможен, т.к. любой вариант, являющийся оптимальным по одному показателю эффективности, как правило, не является оптимальным по другим показателям. В этом случае может быть принято компромиссное решение: предпочтение отдается тому варианту, который, не являясь оптимальным ни по одному показателю, оказывается приемлемым по нескольким показателям, т.е. отыскиваются рациональные варианты СТС и из них выбирается один.

С помощью математического моделирования функционирования (применения) СТС оценка различных ее вариантов может осуществляться не только исходя из эффективности, но и с точки зрения других свойств: надежности, устойчивости, помехозащищенности и т.д. При этом, очевидно, необходимо, чтобы эти свойства учитывались в структуре математической модели.

Поскольку технические неопределенности исключают возможность выбора после проработки замысла одного единственного варианта создания СТС, то приходится рассматривать широкий диапазон альтернатив и выбирать наиболее вероятные из них по мере перехода от одной стадии ЖЦ к другой. На основе обобщения ряда работ и исследований [1, 2] можно рекомендовать следующие нормативные значения показателя P_{ich} для отбора вариантов создания новой СТС после соответствующей стадии ЖЦ: проработка замысла – 0.1-0.6; проведение целевых НИР – 0.5-0.8; разработка технических предложений – 0.7-0.95; ОКР – 0.9-1.0; испытания, капитальное строительство, подготовка серийного производства – 1.0. Нижние нормативные значения показателя P_{ich} соответствуют СТС, для создания которых требуется крупный научно-технический сдвиг, верхние – СТС, для создания которых необходим небольшой научно-технический сдвиг. Если для некоторого варианта создания СТС полученное значение показателя P_{tx} меньше нормативного, то этот вариант исключается из числа рассматриваемых.

Суть использования показателей C_{rp} , C_{sf} и C_e довольно проста и заключается в следующем. Вычисленные значения показателей C_{rp} и C_{sf} не должны превышать соответственно выделенных ассигнований на исследования, разработку и производство СТС. В противном случае должно быть принято решение о выделении дополнительных ассигнований или прекращении работ по созданию новой СТС. Значение C_e используется при выборе одного из некоторого числа возможных равноценных по другим

показателям вариантов СТС. Предпочтение отдается тому варианту, который дешевле в эксплуатации. Точность определения значений показателей C_{rp} , C_{sf} и C_e мала на начальных стадиях ЖЦ СТС и быстро растет по мере перехода от одной стадии к другой.

Показатель T_e определяет момент поступления СТС в эксплуатацию. Значение показателя T_e не должно превышать установленного времени T_{ee} создания новой СТС. Значение T_e легко определить, если известна продолжительность оставшейся части реализационного периода СТС.

И, наконец, большое значение при принятии решения о продолжении работ по созданию СТС играет продолжительность периода полезной жизни T_{ul} . Если она слишком мала, то целесообразность создания СТС может быть поставлена под сомнение. При оценке T_{ul} создаваемой СТС необходимо учитывать тенденции развития типа техники, к которому она относится, перспективы развития конкурирующих типов СТС и другие факторы.

Необходимо заметить, что в каждом конкретном случае перечень указанных показателей может быть расширен (влияние новой СТС на перспективы развития других СТС, степень использования при создании СТС самых последних достижений науки и техники во всех конструкторских и технологических решениях и др.).

Для каждого варианта СТС определение значения P_{ich} , объема работ на каждой стадии ЖЦ, сроков выполнения отдельных стадий, затрат денежных средств по стадиям может быть осуществлено с помощью сетевых моделей со стохастической и детерминированной структурой [1, 7, 8], которые позволяют отображать процессы выполнения комплекса взаимосвязанных работ по созданию СТС. Зная эти показатели, довольно легко можно получить также значения показателей C_{rp} и T_e .

Стоимость серийного производства C_{sp} , полная стоимость эксплуатации C_e и продолжительность периода полезной жизни T_{ul} СТС на начальных стадиях ЖЦ, предшествующих ОКР, могут быть определены только с помощью методов научно-технического и технико-экономического прогнозирования. На стадиях ОКР и испытаний величина C_{sf} может быть определена по статьям калькуляции, т.е. для каждой подсистемы СТС находят стоимостные затраты по статьям: основные материалы C_{bm} , готовые комплектующие изделия C_{lg} , заработная плата C_p , накладные расходы C_o , убытки от брака C_d . В результате суммирования стоимостных

затрат по статьям можно найти стоимость серийного производства СТС:

$$C_{sf} = \sum_{i=1}^k (C_{bm,i} + C_{fg,i} + C_{p,i} + C_{o,i} + C_{d,i}),$$

где k – число подсистем СТС.

При прогнозировании или вычислении полной стоимости эксплуатации одного образца СТС необходимо иметь в виду, что величина C_e включает прямые эксплуатационные расходы C_{dc} , связанные с обеспечением функционирования СТС, затраты на хранение C_k и затраты на содержание обслуживающего персонала C_s :

$$C_e = C_{dc} + C_k + C_s.$$

Величина C_{dc} включает затраты на техническое обеспечение (все виды обслуживания, ремонтов, снабжение ЗИП), затраты на горюче-смазочные материалы, затраты на содержание сооружений. Величина C_k состоит из затрат на содержание материальной базы и затрат на все виды работ при хранении СТС. Величина C_s включает заработную плату обслуживающего персонала, а также затраты на строительство жилых домов и т.п.

После разработки технических предложений из тех конкурирующих вариантов СТС, которые удовлетворяют всем рассмотренным выше показателям, необходимо выбрать один по критерию «затраты – эффективность». При выборе оптимального варианта СТС по этому критерию из трех показателей W , C и T_e один принимается в качестве главного, а два других переводятся в ограничения. Здесь C – суммарная стоимость.

После разработки технических предложений, а также на всех последующих стадиях ЖЦ из тех конкурирующих вариантов СТС, которые удовлетворяют всем рассмотренным выше показателям, необходимо выбрать один по критерию «затраты – эффективность». При выборе оптимального варианта СТС по этому критерию из трех показателей W , C и T_e один принимается в качестве главного, а два других переводятся в ограничения. Здесь C – суммарная стоимость, которая определяется следующим образом:

$$C = C_{rp} + nC_{sf} + nC_p,$$

где n – величина серии.

Чаще всего в качестве главного показателя принимают эффективность или стоимость. В первом случае задача приобретает смысл оптимизации облика СТС. Математически она формулируется следующим образом:

$$W \rightarrow \max, C \leq \hat{C}, T_e \leq T_{ee},$$

где \hat{C} – заданное предельное значение суммарной стоимости C .

Во втором случае задача приобретает смысл оптимизации распределения ресурсов и имеет вид:

$$C \rightarrow \min, W \geq W_p, T_e \leq T_{ee}.$$

Однако в некоторых критических ситуациях на первое место выдвигается время поступления новой СТС в эксплуатацию. Математическая формулировка такой задачи имеет вид:

$$T_e \rightarrow \min, W \geq W_p, C \leq \hat{C}.$$

Так как создание и функционирование СТС происходит в условиях большого числа неопределенностей или действия большого числа случайных факторов, то указанные показатели должны рассматриваться как случайные величины, которые могут характеризоваться законами их распределения или другими вероятностными характеристиками. При принятии решения о дальнейшем продолжении работ по созданию СТС после очередной стадии ЖЦ (до ОКР включительно) в качестве показателей C_{rp} , C_{sf} , C_p , T_e и T_{nl} выбирают их средние значения (математические ожидания). При оценке эффективности СТС, если результатом ее функционирования служит некоторое случайное событие, то в качестве показателя эффективности W выбирают вероятность свершения этого события. Если же результатом функционирования СТС является некоторая случайная величина, то в качестве показателя эффективности W принимают среднее значение (математическое ожидание) этой величины.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постоянный рост социально-экономического развития нашей страны в современном мире может обеспечить только ускоренный переход к высокотехнологичному производству. Решение этой задачи может быть осуществлено на основе программно-целевого планирования и управления созданием образцов новой техники, имеющей или превосходящей мировой уровень, в требуемые сроки и с минимальными затратами на их разработку, производство, освоение и эксплуатацию. Программно-целевое планирование и управление является одним из наиболее распространенных и эффективных методов государственного регулирования экономики. Его главным принципом является сквозное планирование и управление созданием СТС (ЧМС) по жизненному циклу с целью сокращения отрезка времени от появления научной идеи до ее широкой практической реализации, а также оптимизации материальных, финансовых и трудовых ресурсов, участвующих в этом процессе. Данная статья должна позволить более глубоко осмыслить основные положения программно-целевого планирования и управления и использовать их в практической деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morse FM, Kimball GE. *Methods of Operations Research*. New York, Cambridge, MA, Technology Press of MIT, 1951, 158 p.
2. Поспелов ГС, Барিশполец ВА, Новиков АС. *Программно-целевое планирование и управление созданием комплексов военной техники*. М., НТЦ «Информатика», 1990, 407 с.
3. Барিশполец ВА. Обоснование решений при сквозном планировании и управлении созданием сложных технических (человеко-машинных) систем. В сб. «*Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов*». М., ВЦ РАН, 2010, 91-106 с.
4. Барিশполец ВА. Моделирование процесса создания сложной технической или человеко-машинной системы в конфликтной ситуации. В сб. «*Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов*». М., ВЦ РАН, 2012, 79-86 с.
5. *Основные положения по разработке и применению системы сетевого планирования и управления*. М., Экономика, 1965, 197 с.
6. Барিশполец ВА. Методология составления системного описания сложной технической (человеко-машинной) системы. В сб. «*Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов*». М., ВЦ РАН, 2011, 68-87 с.
7. Саркисян СА, Ахундов ВМ, Минаев ЭС. *Большие технические системы: анализ и прогноз развития*. М., Наука, 1977, 386 с.
8. Филипс ДТ, Гарсиа-Днас А. *Методы анализа сетей*. М., Мир, 1984, 312 с.
9. Барिशполец ВА. Метод построения сетевой модели со стохастической структурой. В сб. «*Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов*». М., ВЦ РАН, 2007, 68-85 с.

Барिशполец Виталий Анатольевич
 д.т.н., проф., действительный член РАЕН,
 ВЦ им. А.А. Дородницына РАН, в.н.с.
 40, ул. Вавилова, Москва 119333 Россия
 +7 499 135-24-89, wcan@ccas.ru

PROGRAM-TARGET PLANNING AND MANAGEMENT CREATION OF COMPLEX TECHNICAL AND HUMAN-MACHINE SYSTEMS

Vitaly A. Barishpolets

Dorodnitsyn Computing Centre of the Russian Academy of Sciences, <http://www.ccas.ru>

40, Vavilova str., Moscow 119333 Russian Federation

wcan@ccas.ru

Abstract. The paper reviews the development of methods of substantiation and selection of options when planning and management of human activities and development used in this process of technical means and organizational forms of planning and management. Provides the basic concepts of the program-target approach in planning and management of human activities. The main of these concepts is a program, the definition of which is given in the work. Discusses the basic principles of program-target planning and management the creation of complex technical and human-machine systems (CTS, HMS). Foremost among these principles is the end-to-end planning and management the creation of complex technical and human-machine systems life cycle. Describes the essence of decision making in end-to-end planning and management taking into account the uncertainties inherent in this process.

Keywords: planning, management, purpose, operation, program, mathematical model, uncertainties, decision making.

PACS: 89.75.Fb

Bibliographies – 9 references

RENSIT, 2014, 6(2):209-220

Received 14 January 2014

DOI: 10.17725/RENSITe.0006.201402e.0209