УДК 004.021
DOI: 10.52531/1682-1696-2024-24-4-223-233
Научная статья

EDN: YKTTQP

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ СЦЕНАРИЯ ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВ

А.В. Мараховский,
Н.Д. Печалин
АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга», Москва, Российская Федерация

В статье рассматривается модель сценирования в комплексе со сценарием выбора оптимальных решений при помощи динамического программирования и диаграмм Ганта для определения наиболее оптимальных управленческих решений при изготовлении образцов военной техники.

Ключевые слова: *сценирование, управленческие решения, сценарий выбора управления, динамическое программирование, метод прямой и обратной прогонки*

Original article

OVERVIEW OF PROJECT MANAGEMENT MODELS AND METHODS

A.V. Marakhovsky, N.D. Pechalin
JSC «Central Scientific Research Radio Engineering Institute named after Academician A.I. Berg», Moscow, Russian Federation

The article considers a staging model in combination with a scenario for choosing optimal solutions using dynamic programming and Gantt diagrams to determine the most optimal management decisions in the manufacture of VT samples.

Keywords: *staging, management decisions, control selection scenario, dynamic programming, forward and reverse run method*

АКТУАЛЬНОСТЬ

Государственные инвестиции в промышленное производство, выделяемые начиная с 2022 г., требуют от предприятий промышленности и ВПК скрупулезного планирования проектов по реконструкции средств производства, расширению штата работников, поисков альтернативных поставщиков, необходимых для работы материалов. Санкции значительно усложнили планирование выполнения задач, нередко закупленные у одного поставщика материалы через короткое время становились недоступны для повторного заказа. Для изготовления опытных образцов изделий, составных частей (СЧ) и военной техники (ВТ), а также серийного производства руководителям предприятий и проектов требуется принимать наиболее оптимальные управленческие решения. Без использования современных инструментов, помогающих лицу, принимающему решения (ЛПР), такие задачи сложно решить, в статье описаны инструменты, которые помогут выполнить эту задачу наиболее эффективно.

МЕТОД СЦЕНАРНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Современное промышленное производство в виду значительных внешних рисков требует наличия специальных инструментов управления у руководящего состава предприятия [10]. Одним из приоритетных направлений в деятельности предприятия при изготовлении образцов и СЧ ВТ является планирование деятельности. Современное предприятие невозможно представить без долгосрочного плана развития, отсутствие такого плана ведет предприятия к скорому краху и банкротству. Представление о возможных проблемах предприятия в виде спада производства, невостребованности продукции, которые можно определить при анализе текущей деятельности предприятия или проекта, называется методом «сценария». Сценарии должны строится с соблюдением принципов разумности. Они должны отталкиваться от существующей технологической базы, ресурсов предприятия. Наиболее важным в таком методе является наличие опыта у руководящего состава предприятия и группы, которая готовит сценарии, используя реальный опыт, тогда можно представить возможные дальнейшие события на продолжительный период времени и заранее подготовиться к таковым. Такой тип сценария будет являться исследовательским. Исследователи выделяют еще один тип сценария – предваряющий. Оба типа сценариев предполагают наличие описания логической цепочки событий развития предприятия или выполнения проекта, а также возможные трудности и варианты их решения на планируемом сроке. В от-

© 2024, А.В. Мараховский, Н.Д. Печалин
Поступила в редакцию 15.11.2024

личие от исследовательского сценария предваряющий начинается с конечной точки отсчета и идет к настоящему состоянию. Такой подход обусловлен поиском ключевых событий, оказывающих влияние на достижение желаемого результата.

Первыми работы по внедрению метода сценария провели в 70-х годах прошлого века Р. Абельсон и Р. Шеном для улучшения познаний в истории. Они использовали метод сценария для структурирования информации и связывания событий прошлого. Структура сценария составлялась из подразделов, в которых было описано значение раздела, роль, причины и последствия событий. В подразделе «Цель» обосновывалась необходимость выполненных действий, в подразделе «Роль» указывалось ответственное лицо. В дальнейшем этот метод стал применяться для создания последовательных сценариев с отображением связи события, процедуры и действия.

Также исследователи отмечают существование других видов сценария, классифицирующих и выполненных в виде древа целей. Сценарий «Древо целей» подразумевает разбивку цели на систему подцелей. Другой тип необходим для структурирования знаний в зависимости от отношений род – вид, элемент – класс (рис. 1).

РИС. 1.
Составляющие сценария

Использование метода сценария в совокупности с другими методами создают для ЛПР систему поддержки. Сценарный метод в этой системе поддержки будет реализовывать цель предсказания возможных проблемных событий и давать возможность заранее проработать возможные пути решения наступивших событий.

Также необходимо уделить внимание на соответствие модели предприятию или проекту от специфики методов составления, так как разные методы могут описать один и тот же процесс отлично друг от друга.

Процесс построения сценария может состоять из использования разнокачественной информации, совокупности чисел, многих индикаторов выделенных отношений среди объектов, результатов попарных сравнений или зафиксированных результатов наблюдений. Это позволит построить, используя математические инструменты, сценарии с различными подходами. Такие сценарии будут дополнять друг друга при управлении ЛПР предприятием или проектом, так как будут иметь свои разные плюсы и минусы. Еще одним требованием к построению качественного сценария является выбор наиболее подходящего метода к объекту воздействия (управления). Основанный на интуиции и опыте специалистов метод сценария будет отличным помощником ЛПР при реализации оперативного управления предприятием или проектом [7] (рис. 2).

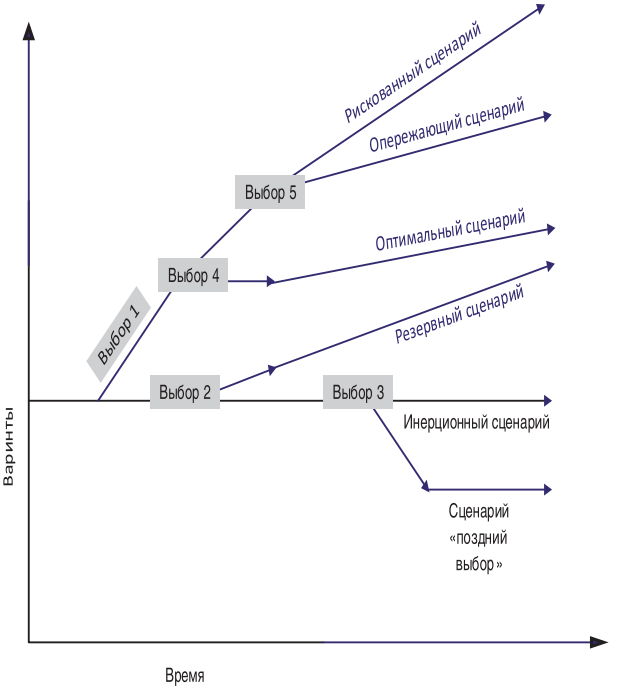

РИС. 2.
Схема сценирования

Проведение анализа сценарным методом сопровождается убеждением, что линия планирования прерывистая и изменяется на контрольных точках при воздействии или бездействии ЛПР в том или ином сценарии. В идеале результатом анализа должен стать набор подготовленных сценариев, одни из которых будет инерционный. Инерционный сценарий подразумевает продолжение текущей деятельности предприятия с возможными от него отклонениями, но без попыток воздействия на улучшение деятельности, предотвращения негативных событий или реализации мер по купированию последствий от таких событий. Инерциальный сценарий показывает места, где можно приложить управляющее воздействие, которое направит сценарий в другом направлении. Такое место можно назвать контрольной точкой, после прохождения контрольной точки развития сценарий фиксируется на сделанном выборе и следующее воздействие будет доступно уже на следующей контрольной точке. Также надо учитывать, что контрольные точки это не одно конкретное управленческое решение, а выбор определенного набора таковых.

Существует альтернативный подход, который строится на основании «неизбежного будущего», это события, которые являются гарантированными трендами. При постройке сценария необходимо учитывать наличие области «неизбежного будущего» и «области невозможного». Все варианты событий, которые будут затрагивать «область невозможного», будут несовместимы с «неизбежным будущим», а те, которые такую область не затронут, будут приемлемы для включения в сценарий.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВ

Модель выбора альтернатив в системе поддержки принятия решений относится к области информационных технологий, в частности к информационно-аналитическим управляющим системам. Информационно-аналитические системы данного класса предназначены для формирования и подготовки решения лицам, принимающим решения. Компьютерное сетевое администрирование позволяет автоматизировать процесс принятия решений, техническим результатом которого является, как правило, визуальная схема, отображающая процесс управления изготовлением образцов ВТ [1]. Как правило процессы, характерные для создания образцов ВТ, образуют группы, включающие инициацию, планирование, исполнение, контроль и завершение, взаимодействующих между собой в ходе изготовления образцы (рис. 3).

При этом все процессы поддержки принятия решений выстроены путем определения входов и выходов каждой группы процессов, связанных с другими процессами создания образцов соответствующими входами и выходами для облегчения их координации, согласования требований и целей [5]. Процессы создают иерархическую структуру работ, включающую иерархические уровни, которые модель управления отражает на многоуровневую иерархическую структуру этапов решения задачи (рис. 4). При этом иерархическая структура работ (англ. Work Breakdown Structure, WBS; иногда Структура декомпозиции работ, СДР) – это иерархическое разбиение всей работы, которую необходимо выполнить для достижения целей изготовления образца ВТ, на более мелкие операции и действия до такого уровня, на котором способы выполнения этих действий вполне ясны и соответствующие работы могут быть оценены и спланированы. Она включает также определение промежуточных результатов всех составляющих эту структуру работ.

Сущность иерархической структуры работ раскрывается характеристиками:

1. Описывает с необходимой точностью содержание работ по созданию образца ВТ.
2. Определяет весь объем работ по созданию образца.
3. Формируется в виде иерархической структуры (декомпозируется на пакеты/субпакеты и т. д. работ).
4. Представляет объем работ по пакету как перечень работ, имеющих измеримый или сравнимый результат.
5. Имеет объективный или измеримый результат, который рассматривается как результат работы по пакету или совокупность результатов работ.

При этом каждый иерархический уровень создания образца разделен на этапы в соответствии с постановкой задачи, на каждом этапе выбраны параметры, характеризующие состояние управления системой создания образца, задано допустимое управление для каждого состояния и функции состояния, связывающие этапы между собой.

РИС. 3.
Взаимодействие процессов создания образцов ВТ

Затем определено допустимое управление для каждого состояния, при этом на каждой группе процессов использовано отображение запланированных задач посредством специального графика, обеспечивающего визуализацию хронологии проекта, с возможностью получения общего представления о хронологии создания образцов ВТ, управления ресурсами, выполнения работ по созданию на разных этапах, оценке загрузки, установления критического пути создания образца, при котором определяются задачи создания образцов ВТ. Этапы обладают наборами параметров, характеризующих состояние управляемой системы.

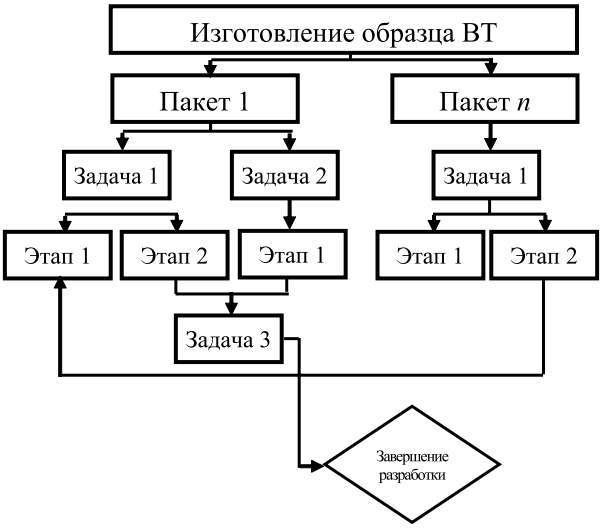

РИС. 4.
Структура задачи по изготовлению образцов ВТ

Стоит отметить, что на графике размещают и другую информацию: устанавливают проценты выполнения, формируют бюджет, помечают контрольные точки – вехи. График или иначе диаграмма Ганта представляет собой визуальный способ отображения запланированных задач изготовления образцов ВТ (рис. 5). График работ состоит из ряда отрезков, размещенных вдоль временной оси. Каждый из них соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало и конец отрезка соответствуют моменту начала и завершения работы по задаче, длина отрезка характеризует продолжительность задачи. На каждый отрезок целесообразно назначить исполнителей задачи. Диаграмма Ганта показывает:

1) задачи, включенные в процесс изготовления образцов ВТ;
2) продолжительность задач;
3) даты начала и окончания изготовления образцов ВТ;
4) время, которое занимает каждая задача;
5) исполнителей, работающих над задачами;
6) способы объединения задач.

Так как диаграмма Ганта позволяет наглядно отобразить составляющие части процесса создания образцов ВТ и разбивать его на задачи меньшего размера, то диаграмма помогает упростить выполнение сложных задач, а после добавления зависимости между задачами, определяются исполнители и задаются дедлайны.

Отметим, что этапы решения задачи формируются вариантами управления параметрами. Каждый параметр представлен в виде отрезка диаграммы и может быть представлен функцией или быть выражен в денежном эквиваленте (рис. 6). Однако при всем

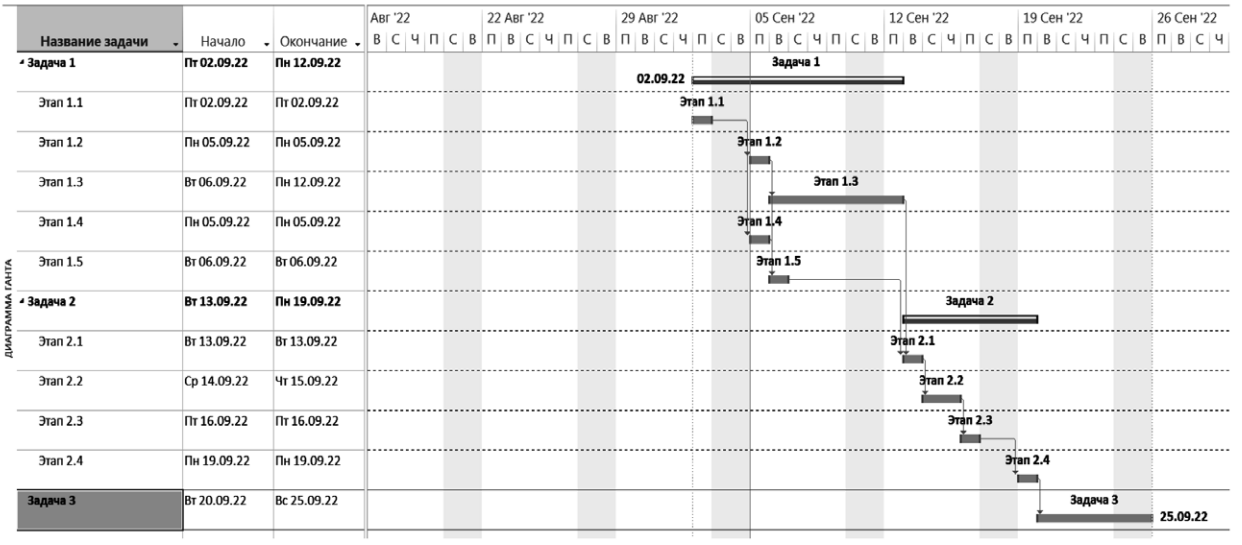

РИС. 5.
Общее представление диаграммы Ганта

Название задачи	Плановые	Фактические	Отклонение от плана
Этап N	115 200,00 ₽	121 579,20 ₽	6 379,20 ₽
Задача (подзадача) 1...n	0,00 ₽	121 579,20 ₽	121 579,20 ₽
Вариант управления 1	38 400,00 ₽	36 511,20 ₽	-1 888,80 ₽
Параметр 1	7 200,00 ₽	5 311,20 ₽	-1 888,80 ₽
Параметр 2	13 200,00 ₽	13 200,00 ₽	0,00 ₽
Параметр n	18 000,00 ₽	18 000,00 ₽	0,00 ₽
Вариант управления 2	38 400,00 ₽	43 512,00 ₽	5 112,00 ₽
Вариант управления n	38 400,00 ₽	41 556,00 ₽	3 156,00 ₽

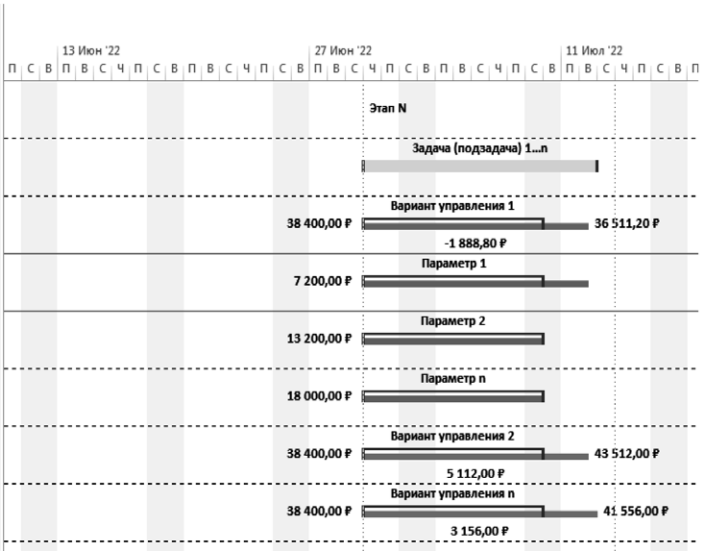

РИС. 6.
Обобщенное представление о формировании этапов создании образцов ВТ

достоинстве подобных существующих систем они обладают недостатком, который обусловлен тем, что отсутствуют параметры, характеризующие состояние управляемой системы перед каждым этапом решения задачи. Недостаток не позволяет учитывать влияние данных параметров на формирование и нахождение оптимального управления проектом на любом иерархическом уровне.

Диаграмма Ганта дает возможность оптимизировать этот процесс, обозначая последовательность задач, их исполнителей и сроки. Все это позволяет оценить ресурсы и взаимосвязи задач. А значит, запланировать работу так, чтобы не пришлось глобально пересматривать подход, менять команду или инструменты. При составлении моделей необходимо, несомненно, учитывать применяемость моделей с субъективной точки зрения [4]. Данный аспект можно рассматривать в качестве субъективной адекватности модели, т. е. как соответствие модели требованиям, знаниям, навыкам и т. п. характеристикам субъекта хозяйствования. Субъективный аспект отражается в постановке управленческой задачи, подходе к информационному отражению объекта управления, выборе методов составления моделей и экспериментирования с ними. В литературе до сих пор в основном рассматриваются проблемы соответствия моделей объекту управления. Модель оценивается тем выше, чем точнее она описывает объект управления. Объективная основа превалирования данного подхода понятна. Во-первых, управляемые процессы – это объективная реальность, которая, несомненно, имеет главенствующее и однонаправленное влияние на все попытки ее отражения. Во-вторых, при удовлетворении всех прочих требований уровень соответствия модели объекту моделирования действительно показывает качество модели. Недостаток заключается в том, что выполнение этих «прочих требований» пока еще практически не исследуется. В результате этого часто составляются «сверхточные» модели, которые не подходят для решения ни одной управленческой задачи. Подобное положение характерно для применения математико-статистических методов моделирования хозяйственных процессов (исследование часто заканчивается не применением, а составлением модели). Весьма часто оказывается, что предпочтительный вариант не единственен, а имеется несколько различных, но, по сути, равноценных (равноправных) вариантов, например, множество парето-оптимальных вариантов. Чтобы выделить среди них один наилучший вариант, нужна дополнительная информация о предпочтениях. Таким образом, поиск оптимального варианта не означает полного исключения из процесса выбора [8]. Непременным условием для постановки задачи оптимального выбора, как и любой задачи принятия решения, является наличие нескольких возможных вариантов, среди которых производится выбор лучшего в каком-то смысле варианта. Если имеется только один исходный вариант решения, то нет и возможности для выбора. Основная идея оптимального выбора – поиск наилучшего в определенном смысле варианта решения при заданных ограничениях – содержит в себе одновременно и способ сравнения вариантов, исходя из вычисленных значений показателя или показателей качества решения, и правило выбора наилучшего варианта, заданное экстремаль-

ным значением показателя качества, и возможность замены лучшего варианта другим при изменении условий.

Задача оптимального выбора при своей постановке требует наличие важных критериев, таких как возможность выразить предпочтения или проблему в количественной форме. Это позволяет определять варианты управляющих решений количественными признаками и измерять с помощью шкал. Для оценки вариантов управления необходимо задать приемлемые количественные параметры, это позволит оценивать качество разных вариантов управлений. Далее следует провести анализ возможных вариантов управляющих решений, которые позволят преодолеть проблемы в изготовления образцов СЧ ВТ и ВТ [9]. Для анализа и выбора из нескольких вариантов одного или нескольких лучших необходимо построить формальные модели оптимального выбора. Так как изготовление образцов ВТ является сложным техническим проектом то формализованная задача нахождения оптимального управленческого решения будет иметь много критериев, и она будет многокритериальной задачей оптимизации. На разных этапах и подзадачах проекта критерии могут отличаться, они будут отражать различные качества процесса требующего решения ЛПР. Декомпозированные задачи также, как и общие задачи отразить на диаграмме Ганта. Разбивка на подзадачи позволит многокритериальную общую задачу представить в виде комбинации частных однокритериальных задач. Частные однокритериальные задачи можно решить при помощи метода динамического программирования. Использование этого метода позволяет находить предпочтительные варианты управления в задачах имеющих многошаговую структуру. Также он позволяет делить задачу на шаги независимо от времени – искусственно [3].

МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Суть метода заключается в сведении исходной задачи к упорядоченной совокупности задач меньшей размерности и последовательного их решения. Решение каждой подзадачи идет последовательно и учитывает предыдущие решения задач. Все решаемые подзадачи могут быть решены несколькими приемлемыми решениями, а метод динамического программирования предусматривает упорядоченный перебор приемлемых решений, то есть этот метод является комбинаторным [13].

Использование метода динамического программирования с целью оптимизации проекта или предприятия заключается в следующем:

1) текущее состояние предприятия (проекта) для оптимизации описывается несколькими параметрами;

2) количество вариантов состояния предприятия (проекта) конечно;

3) изменения состояния предприятия (проекта) одним управляющим x воздействием из множества вариантов X;

4) без ограничения общности можно считать, что $X \subseteq R^1$;

5) в состоянии ξ доступно конечное множество управлений $X\xi \subseteq X$.

Также при подсчетах учитывается, что в системе отсутствуют другие факторы влияния, на систему влияет только выбранное решение ЛПР на текущей задаче и предыдущих задачах:

$$\xi' = \phi(x, \xi),\ x \in X(\xi). \qquad (1)$$

Уравнения (1) называются уравнениями состояния. Траекторией системы называется конечная последовательность $\xi = (\xi_1, ..., \xi_k)$ состояний системы такая, что $\xi_{k+1} = \phi(x, \xi_k),\ x \in X(\xi_k),\ k = 1, ..., m - 1$.

Используемое управление для изменения состояния предприятия (проекта) из ξ_k в состояние ξ_{k+1} будет обозначено как x_k. Для траектории $\xi = (\xi, ..., \xi_m)$ стратегия управления будет вектор допустимых управлений $x = (x_1, ..., x_{m-1})$. Для определения траектории понадобятся только ее начальное состояние и выбранная ЛПР-стратегия. Оценка эффективности управления $x \in X(\xi)$ проводится при помощи неотрицательной функции стоимости $f(x, \xi)$, которая зависит от состояния системы и выбора управления. Стоимость такой траектории является суммой стоимости предыдущих этапов.

$$f(\xi) = \sum_{k=1}^{m-1} f(x_k, \xi_k). \qquad (2)$$

По определению траектории, ее стоимость зависит только от ее начального состояния и набора пошаговых управлений. Пусть заданы начальное состояние системы ξ_0 и конечное состояние ξ_T. Связывающая их траектория $(\xi_0, ..., \xi_T)$ называется полной. Обычно требуется построить полную траекторию, имеющую наибольшую или наименьшую стоимость. Для определенности будем рассматривать задачу на минимум. Стратегия, определяющая оптимальную полную траекторию, называется оптимальной стратегией. Метод динамического программирования – это метод пошаговой оптимизации, поэтапного построения оптимального управления. В его основе лежит принцип оптимальности, впервые сформулированный Р. Беллманом в 1953 г. следующим образом: Оптимальное поведение обладает тем свойством, что каковы бы ни были первоначальное состояние и решение в начальный момент, последующие решения должны составлять оптимальное поведение относительно состояния, получающегося в результате первого решения. Принцип может быть обоснован доказательством от противного. Пусть, далее, $(\xi_0, \xi^1, \xi_2, ..., \xi_T)$ – полная оптимальная траектория. В соответствии с принципом оптимальности траектория $(\xi_1, \xi_2, ..., \xi_T)$ будет иметь оптимальную стоимость среди всех траекторий,

соединяющих ξ_1 и ξ_T. Приняв ξ_1 за начальное состояние и применяя принцип оптимальности, получим, что траектория (ξ_2, ..., ξ_T) – лучшая среди траекторий, соединяющих ξ_2 и ξ_T, и так далее: если траектория оптимальна, то любой ее заканчивающийся в ξ_T отрезок также оптимален. Аналогично обосновывается оптимальность любого отрезка оптимальной траектории, начинающегося с ξ_0. Пусть ξ – произвольное состояние системы, через $F^T(\xi)$ обозначим стоимость оптимальной траектории, соединяющей ξ с финальным состоянием ξ_T. Очевидно, $F^T(\xi_T)=0$, $F^T(\xi_0)$ – стоимость оптимальной полной траектории [6]. Из принципа оптимальности Беллмана вытекает, что

$$F^T(\xi)= \min_{x \in X(\xi)} \{f(x, \xi)+F^T (\phi(x,\xi))\}. \quad (3)$$

Обозначим теперь через $F^0(\xi)$ стоимость оптимальной траектории, соединяющей начальное состояние ξ_0 с состоянием ξ. Очевидно, $F^0(\xi_0)=0$, а стоимость оптимальной полной траектории равна $F^0(\xi_T)$. Пусть $\Gamma(\xi)$ – множество состояний, непосредственно предшествующих состоянию ξ, то есть таких состояний ξ', что существует управление $x(\xi', \xi) \in X(\xi')$, переводящее систему из ξ' в ξ, $\xi = \phi (x(\xi', \xi), \xi')$. В соответствии с принципом оптимальности,

$$F^0(\xi)= \min_{\xi' \in \Gamma(\xi)} \{f(x(\xi',\xi)+F^0 (\xi')\} \quad (4)$$

Функции $F^T(\xi)$ и $F^0(\xi)$ называются функциями Беллмана, а рекуррентные соотношения (3) и (4) – уравнениями Беллмана. В основе алгоритма динамического программирования могут лежать либо соотношения (3), тогда он называется методом обратной прогонки, либо соотношения (4), и алгоритм называют методом прямой прогонки.

Метод обратной прогонки (обратный метод Беллмана) осуществляется следующим образом. Последовательно вычисляются значения функции Беллмана:

$$F^T(\xi_T) = 0, F^T(\xi) = f(x, (\xi, \xi_T), \xi) \text{ для } \xi \in \Gamma(\xi_T), \quad (5)$$

далее, с помощью соотношений (4) постепенно определяются $F^T(\xi)$ для таких состояний ξ, что найдены значения функции Беллмана для всех состояний $\phi (x, \xi)$, $x \in X(\xi)$, и, в конце концов, вычисляется $F^T(\xi_0)$. Пусть $x^* (\xi) \in X(\xi)$ – управление, минимизирующее правую часть в (3), оно называется условным оптимальным управлением. Тогда оптимальная полная траектория (ξ_0, ξ_1, ξ_2, ..., ξ_T) восстанавливается следующим образом:

$$\xi_0, \xi_1 = \phi(x^*(\xi_0), \xi_0), \xi 2 = \phi(x^*(\xi_1), \xi_1), \quad (6)$$

При осуществлении метода прямой прогонки определяются значения функции $F^0(\xi)$ в следующем порядке:

$$F^0(\xi_0) = 0, F^0(\xi) = f (x, \xi) \text{ для } x \in X(\xi_0), \xi=\phi(x, \xi_0), \quad (7)$$

далее, на основании соотношений (4), последовательно вычисляются $F^0(\xi)$ для таких состояний ξ, что найдены значения функции Беллмана для всех состояний из $\Gamma (\xi)$, и, в конце концов, определяется $F^0(\xi_T)$.

Пусть $\gamma(\xi) \in \Gamma(\xi)$ – состояние, минимизирующее правую часть в (3). Тогда условные оптимальные управления – $x(\gamma (\xi), \xi)$. Оптимальная траектория восстанавливается начиная с финального состояния:

$$\xi_T, \xi_{T-1} =\gamma (\xi_T), \quad (8)$$

Таким образом, во время реализации алгоритма динамического программирования дважды осуществляется многошаговый процесс: сначала находятся условные оптимальные управления и значения функции Беллмана от конечного состояния до начального или от начального состояния до конечного, затем восстанавливается оптимальная траектория и оптимальная стратегия в обратном направлении – от начала к концу или от конца к началу, соответственно. Число элементарных операций, необходимых для реализации обратного и прямого методов Беллмана, квадратично зависит от числа состояний системы, причем большая часть вычислений приходится на этап условной оптимизации. Несмотря на одинаковую вычислительную сложность, алгоритм обратной прогонки используется чаще, чем алгоритм прямой прогонки.

Многие задачи динамического программирования формулируются таким образом, что система переводится из начального состояния в финальное за фиксированное число n шагов (этапов), то есть стратегия управления – *n*-мерный вектор $x = (x_1, ..., x_n)$, где x_k – управление, выбираемое на k-м шаге, k = 1, ..., n. Каждый этап определяется множеством состояний, в которых система может находится перед выбором управления, либо в которые может перейти в результате управления, причем в начале первого этапа система находится в начальном состоянии ξ_0, а в конце последнего – в финальном состояния ξ_T. Таким образом, все полные траектории включают n +1 состояние (ξ_0, ..., $\xi_n \equiv \xi_T$). Можно считать, что функции состояния и эффективность управления изменяются от этапа к этапу, то есть

$$\xi_k = \phi (x_k, \xi_{k-1}), k =1, ..., n, \quad (9)$$

стоимость шага k=1, ..., n равна $f_k (x_k, \xi_{k-1})$, а стоимость стратегии определяется аддитивной функцией f(x) $\Sigma^n k=1 f_k (x_k, \xi k-1)$.

Пусть в начале шага t система находится в состоянии ξ. Обозначая через $F_t(\xi)$ минимальное значение $\Sigma^n k=1 f_k$, то есть $F^T(\xi)$, получаем, что соотношение (6) примет вид

$$F_t(\xi)= \min_{x_t} \{f(x_t,\xi)+F_{t+1}(\phi(\xi_t))\}, \qquad (10)$$

где минимум берется по всем допустимым на этапе t управлениям.

Решение задачи (10) – условное оптимальное управление на шаге t – обозначается $\hat{x}_t(\xi)$. Процедура обратной прогонки динамического программирования осуществляется следующим образом. Пусть $F_{n+1} \equiv 0$. Используя рекуррентные соотношения (10), последовательно определяем $F_t(\xi)$ и $\hat{x}_t(\xi)$ для всех состояний шага t = n, ..., 1, причем $F_n(\xi)= \min\{f_n(x_n, \xi)\}$. Далее поэтапно восстанавливаются оптимальная траектория и оптимальная стратегия:

$$\xi_0, x^* = \hat{x}_1(\xi_0), \xi_1 = \phi_1(x^*,\xi 0), \xi_t = \phi(x_t^*, \xi_{t-1}), x_t^*= =x_t^*(\xi_{t-1}), t =2, ..., n. \qquad (11)$$

При использовании процедуры прямой прогонки через $F_t(\xi)$ обозначается $F^0(\xi)$, то есть минимальное значение $\Sigma^n k=1$ fk при условии, что в конце этапа t система находится в состоянии ξ. Условное оптимальное управление на этапе t выбирается в предположении, что предыдущие этапы пройдены оптимально, и рекуррентное соотношение (6) принимает вид

$$F_t(\xi)= \min_{x_t}\{f(xt,\xi_{t-1}) + F_{t-1}(\xi_{t-1})\}, \xi= \phi(x_1,\xi_0). \qquad (12)$$

Полагая $F_0 \equiv 0$, имеем

$$F_t(\xi)= \min_{x_1}\{f_1(x_1,\xi)\} \xi= \phi(x_1, \xi_0). \qquad (13)$$

Последовательно вычисляя $F_t(\xi)$ и $\hat{x}_t(\xi)$ для всех возможных в конце этапа t состояний, t =1, ..., n, на последнем шаге получим $x_n^* = \hat{x}_n(\xi_0)$. Пользуясь уравнениями состояния, восстановим в обратном порядке оптимальный план и оптимальную траекторию:

$$\xi_T, x_n^* = \hat{x}_n(\xi_T), \xi_t = \phi(x_t^*, \xi_{t-1}), x_t^* = = x_t^*(\xi_t), t = n -1, ...,1. \qquad (14)$$

Так как в основе динамического программирования лежит идея решения поставленной задачи путем деления ее на отдельные части (подзадачи, этапы), то такое положение свидетельствует, что концептуально тождественно концепции многоуровневой иерархической модели на основе диаграмм Ганта для выработки решений по созданию образцов ВТ. В обоих случаях решение этих подзадач и последующего объединения этих решений в одно общее решение [2]. Динамическое программирование обычно придерживается двух подходов к решению задач:

1) нисходящее динамическое программирование: задача разбивается на подзадачи меньшего размера, они решаются и затем комбинируются для решения исходной задачи. Используется запоминание для решений уже решенных подзадач;

2) восходящее динамическое программирование: все подзадачи, которые впоследствии понадобятся для решения исходной задачи просчитываются заранее и затем используются для построения решения исходной задачи.

При этом способ восходящего динамического программирования лучше нисходящего программирования в смысле размера необходимого стека и количества вызова функций, но иногда бывает нелегко заранее выяснить, решение каких подзадач нам потребуется в дальнейшем. Но так как при традиционном подходе управления проектом возможно построение диаграммы Ганта, то данная проблема снимается автоматически. Далее используется итерационная процедура последовательной пошаговой оптимизации на конкретный момент времени с выбранным шагом для коррекции управляющих команд по заданным критериальным показателям. Декомпозиция общей задачи в систему частных подзадач реализована в виде расчетно-логической схемы, построенной на основе анализа проводимых опытно-конструкторских работ, связанных с получением информации о возможных последствиях вариантов управляющих воздействий. Иерархическая структура имеет свои характеристики, которые являются неотъемлемой ее частью:

1. Наличие точной информации о содержании работ по созданию образцов ВТ.
2. Наличие полного перечня работ по созданию образцов ВТ.
3. Создается в виде вертикальной формы контроля и управления (проект декомпозируется на пакеты/субпакеты необходимых работ).
4. Отражает объем задач в виде перечня работ выполнение которых можно измерить либо сравнить.
5. Результат является достоверным и измеримым как части подзадач, так и в целом.

Для эффективного распределения материалов и человеческих ресурсов, определения необходимого времени при изготовлении ВТ отличным инструментом является диаграммы Ганта. Они позволят все спланировать заранее и не допустить перегрузки персонала, нехватки ресурсов или наоборот недозагруженности производства.

С помощью диаграммы Ганта можно определить, что нужно выполнить, чтобы вовремя и успешно завершить изготовление образца – то есть найти его контрольные точки (Критический путь). Контрольные точки – это череда точек на графике выполнения работ отклонения от которых при фактической деятельности сдвигает график выполнения работ от запланированного. Контрольные точки проекта — это его критический путь, используя этот подход, лицо, принимающее решения, может предупредить проблемы при выполнении проекта, которые повлияют на все последующие контрольные точки и сорвут плановый срок создания образца ВТ.

Применяя диаграмму Ганта и подход контрольных точек (критический путь), ЛПР сможет получить достоверную информацию о количестве используемых ресурсов на каждом этапе проекта, увидеть все взаимосвязанные работы, а также возможные проблемы. На этапе планирования будет возможность определить наибольшие риски для проекта и заранее их предупредить, это гарантированно уменьшит возможность того, что во время выполнения проекта возникнет критическая ситуация, для исправления которой потребуется много времени и дополнительных ресурсов [14]. Такая комбинация инструментов отлично подходит для проектов, где есть жесткие сроки и запланированный бюджет, выполнение всех работ поэтапно с четким распределением ресурсов будет способствовать эффективности предприятия.

Учитывая вышеизложенное, эти инструменты можно назвать основными для управления проектом по созданию ОКР по изготовлению СЧ ВТ и ВТ. При этом задача выбора альтернатив в системе поддержки принятия решений в общем виде может быть формализована как многокритериальная задача оптимизации. При этом решение задачи оптимального выбора альтернатив связано с выбором оптимальных решений и определением предпочтительных вариантов. Таким вариантом является лучший выбор из нескольких походящих под критерии ЛПР [11]. Этот вариант управления должен иметь предельное значение по сумме заданных критериев.

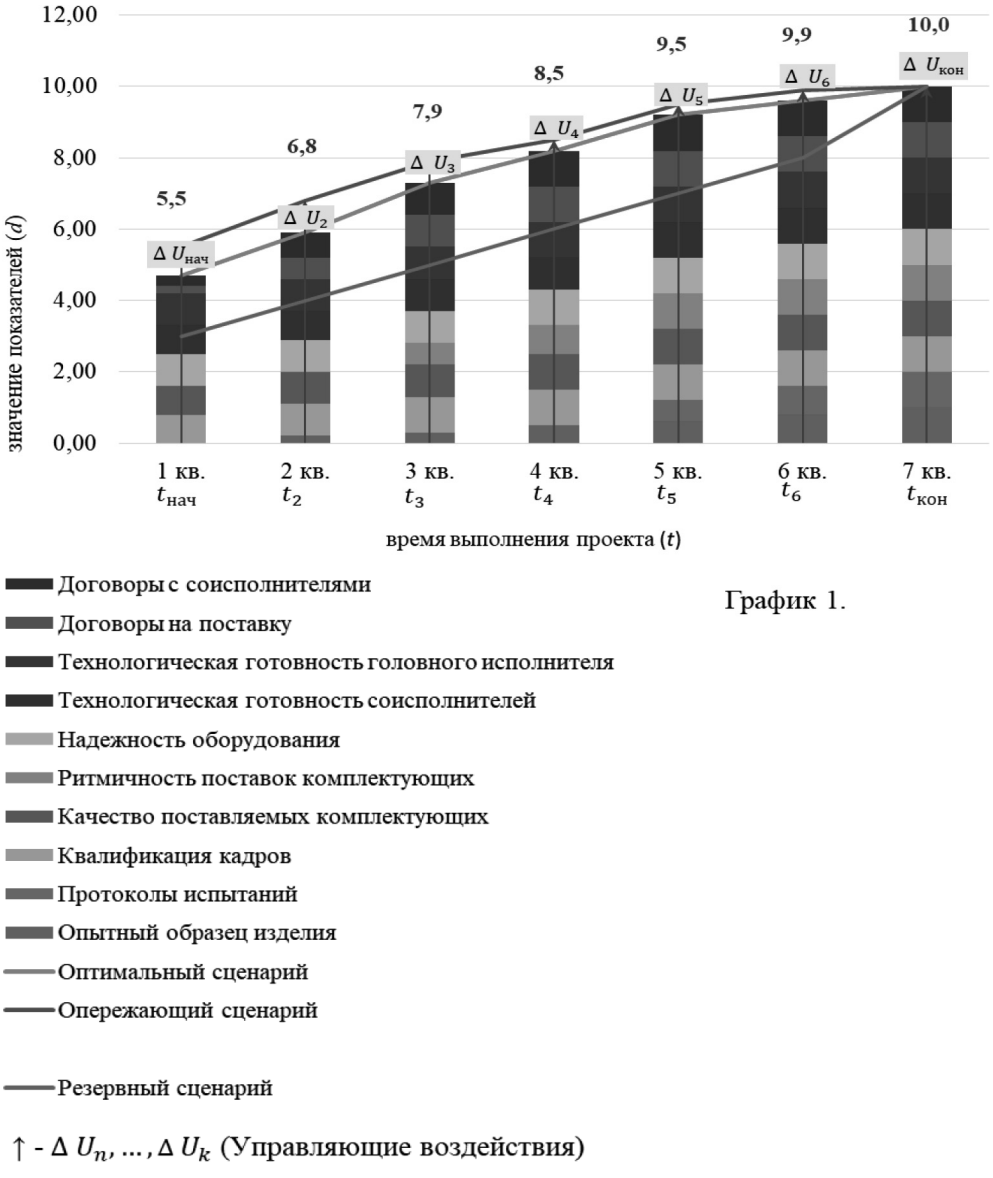

РИС. 7.
Показатели проекта изготовления СЧ ВТ

ВЫВОДЫ

Сценарий управления создания образца ВТ, сформированный на основе многоуровневой иерархической модели, реализован при выполнении опытно-конструкторской работы в одном из предприятий ОПК. В качестве примера выбран проект по созданию составной части образца ВТ.

Использование сценарного метода планирования позволило определить несколько сценариев развития событий. Сценарий оптимальный, резервный и опережающий. На протяжении всего времени по изготовлению составной части ВТ ключевые показатели соответствовали оптимальному сценарию и подтвердили прогнозы (рис. 7).

На начальном этапе определялся перечень показателей или критериев для формирования вариантов решений и оценки качества принятых решений в ходе выполнения работы. При этом исходя из принципа целесообразности в качестве критериев были выбраны следующие: освоенный объем выделенных на данный проект финансовых средств в процентах, стоимость материальных ресурсов, фонд оплаты труда (+страховые взносы), затраты, количество соисполнителей, количество поставщиков покупных комплектующих изделий, платежи заказчика, технологическая готовность головного исполнителя, технологическая готовность соисполнителей, внешние факторы влияния, издержки (в т.ч. судебные), прибыль.

Само решение в результате применения изложенного подхода определяется точкой B_{opt} за время t_k. Для достижения сформулированной цели – нахождения оптимального управления изготовления образца ВТ – была решена задача по определению пошагового управления [12]. В рассматриваемых задачах целевые функции представлялись в аддитивной или мультипликативной формах:

$$f(x)=\sum_{k=1}^{n} f_k(x_k) \text{ или } f(x)= = \prod_{k=1}^{n} f_k(x_k),$$
$$x=(x_1,\ldots, x_n). \qquad (15)$$

Подтверждение оптимальности проекта обеспечивается оценкой эффективности полученного опытного образца.

Таким образом, метод построения модели выбора альтернатив в системе поддержки принятия решений при создании образцов ВТ конструктивно выстроен на основе определения входов и выходов каждой группы процессов, связанных с другими процессами создания образцов ВТ соответствующими входами и выходами для облегчения их координации, согласования требований и целей создания.

Критерием оценки выбора при этом служит оптимальное (минимальное, максимальное) значение заданного критерия. Задачей, на решение которой направлен метод построения модели выбора альтернатив в системе поддержки принятия решений при создании образцов ВТ, является определение допустимого управления для каждого состояния на каждом этапе. С этой целью задача управления изготовлением, в общем виде, была формализована как многокритериальная задача оптимизации. Математическая модель формализует процесс принятия оптимального решения одновременно по нескольким параметрам. Эти параметры могут отражать оценки различных качеств объекта (или процесса), по поводу которого принимаются решения.

Литература

1. **Андреев Г.И., Замарин М.Е., Созинов П.А., Тихомиров В.А.** Концептуальные основы управления проектом создания образцов РЭБ // Радиотехника. 2020. Т. 84. №10(20). С. 5–14.
2. **Андреев Г.И., Созинов П.А., Тихомиров В.А.** Управленческие решения при проектировании радиотехнических систем. Монография / Под ред. П.А. Созинова М.: Радиотехника, 2018. 560 с.
3. **Андреев Г.И., Созинов П.А., Тихомиров В.А.** Основы теории принятия решений. М.: Радиотехника, 2017.
4. **Бергман Ю.П., Дюков И.И., Платонов В.В.** Когнитивное картирование как инструмент оценки качества стратегического мышления на предприятии // Национальные концепции качества: повышение качества в обеспечении конкурентоспособности экономики: Сб. мат-ов Междунэ науч.-практич. конф. СПб., 2015.
5. **Болотова Л.С.** Системы поддержки принятия решений в 2 частях. 1 часть. Учебник и практикум для вузов. М.: Изд-во Юрайт, 2020.
6. **Конюховский П.В.** Математические методы исследования операций в экономике. СПб.: Питер, 2002.
7. **Мосейко В.О., Коробов С.А., Тарасов А.В.** Когнитивное моделирование при формировании управленческих решений: потенциал ресурсно-факторного анализа // Креативная экономика. 2015. № 5. С. 629–644. doi: 10.18334/ce.9.5.267.
8. **Ногин В.Д.** Сужение множества Парето: аксиоматический подход. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016.
9. **Панов М.А., Ищенко Е.А.** Современные комплексы мониторинга и оповещения о событиях: обеспечение оптимального использования ресурсов и функционирования информационных систем и процессов // Динамика сложных систем – XXI век. 2024. Т. 18. № 1. С. 18–31
10. **Смирнов А.В., Левашова Т.В., Петров М.В.** Базовый сценарий интеллектуальной поддержки принятия решений на основе моделей жизни пользователей в цифровой среде // Информационно-управляющие системы. 2021. № 4. С. 47–60. doi:10.31799/1684-8853-2021-4-47-60
11. **Сосновская М.С.** Проблемы развития иннова-

ционной инфраструктуры в России // Инновационная наука. 2018. № 5. С. 137–143.

12. **Тихомиров А.В.** «Автоматизированная система поддержки принимаемых экономических решений при разработке и производстве объектов специального назначения». Дисс. к.т.н.: 05.13.10 Пенза 2006.
13. **Тихомиров А.В., Мараховский А.В., Печалин Н.Д.** Динамическое программирование при управлении проектом // Вестник РАЕН. 2022. Т. 22. № 4. С. 88–95.
14. **Хрусталев Е.Ю.** Когнитивная модель развития банковской системы РФ // Экономика и математические методы. 2011. № 2. С. 117–127.

References

1. **Andreev G.I., Zamarin M.E., Sozinov P.A., Tikhomirov V.A.** Conceptual foundations of project management for the creation of electronic warfare samples. *Radiotechnika*. 2020;84;10;(20):5–14. (In Russian).
2. **Andreev G.I., Sozinov P.A., Tikhomirov V.A.** Managerial decisions in the design of radio engineering systems. Monograph. Ed. by P.A. Sozinov. Moscow: Radio Engineering, 2018:560. (In Russian).
3. **Andreev G.I., Sozinov P.A., Tikhomirov V.A.** Fundamentals of the theory of decision–making. Moscow: *Radiotechnika*. 2017. (In Russian).
4. **Bergman Yu.P., Dyukov I.I., Platonov V.V.** Cognitive mapping as a tool for assessing the quality of strategic thinking in an enterprise. National concepts of quality: improving quality in ensuring the competitiveness of the economy: Collection of materials of the International Scientific and practical Conference. St. Petersburg, 2015. (In Russian).
5. **Bolotova L.S.** Decision support systems in 2 parts. 1 part:textbook and workshop for universities. Moscow: Yurayt Publishing House, 2020. (In Russian).
6. **Konyukhovsky P.V.** Mathematical methods of operations research in economics. St. Petersburg: Peter, 2002. (In Russian).
7. **Moseyko V.O., Korobov S.A., Tarasov A.V.** Cognitive modeling in the formation of managerial decisions: the potential of resource-factor analysis. *Kreativnaya ekonomika*. 2015;5:629–644. doi: 10.18334/ce.9.5.267. (In Russian).
8. **Nogin V. D.** Narrowing of the Pareto set: an axiomatic approach. Moscow: FIZMATLIT, 2016. (In Russian).
9. **Panov M.A., Ishchenko E.A.** Modern monitoring and event notification systems: ensuring optimal use of resources and functioning of information systems and processes. *Dinamika slozhnykh sistem – XXI vek.* 2024;18;(1):18–31. (In Russian).
10. **Smirnov A.V., Levashova T.V., Petrov M.V.** The basic scenario of intellectual decision support based on models of user life in a digital environment. *Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy*. 2021;4:47–60. doi:10.31799/1684-8853-2021-4-47-60 (In Russian).
11. **Sosnovskaya M.S.** Problems of innovative infrastructure development in Russia. *Innovatsionnaya nauka*. 2018;5:137–143. (In Russian).
12. **Tikhomirov A.V.** «Automated system for supporting economic decisions in the development and production of special-purpose facilities»; dissertation of Candidate of Technical Sciences: 05.13.10 Penza. 2006;4:88–95. (In Russian).
14. **Khrustalev E.Y.** Cognitive model of the development of the banking system of the Russian Federation. *Ekonomika i matematicheskiye metody*. 2011;2:117–127. (In Russian).

Мараховский Александр Васильевич,
заместитель генерального директора по общим вопросам АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»

тел.: +7 916 074-68-81, e-mail: zgdov@cnirti.com

Печалин Николай Дмитриевич,
начальник корпоративного отдела, преподаватель-исследователь АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»

107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 20, стр. 9, 107078, Moscow, Novaya Basmannaya st., 20, building 9, тел.:+7 917 540-28-71, e-mail: npechalin@vk.com