

**Волков Валерий Федорович**

доктор военных наук, профессор,  
профессор кафедры статистики и моделирования  
социально-экономических процессов  
Санкт-Петербургского государственного  
торгово-экономического университета

**Volkov Valery Fyodorovich**

D.Phil. in Military Science,  
Professor, Department for Statistics  
and Socioeconomic Processes Modeling,  
St. Petersburg State Trade  
and Economic University

**Шаныгин Сергей Иванович**

кандидат экономических наук, доцент,  
доцент кафедры статистики, учета и аудита  
Санкт-Петербургского государственного  
университета

**Shanygin Sergey Ivanovich**

PhD in Economics,  
Assistant Professor, Statistics, Accounting  
and Audit Department,  
St. Petersburg State University

## **УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ ПО СОЗДАНИЮ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

## **MANAGEMENT OF INNOVATIVE PROJECTS ON CREATION OF TERRITORIAALLY DISTRIBUTED ECONOMIC SYSTEMS**

---

---

### **Аннотация:**

*В работе рассмотрены подходы к разработке механизмов управления инновационными проектами по созданию территориально распределенных комплексов экономических систем, ориентированных на выполнение государственного заказа. Описываются принципы взаимодействия структурных элементов таких комплексов, предложена формализованная методика оптимальной оперативной корректировки соответствующих процессов при известном законе распределения продолжительности каждого из этапов проекта.*

### **Ключевые слова:**

*инновационный проект, комплекс экономических систем, оптимальная корректировка, ретроспективная развертка, условно оптимальное управление, дополнительные ресурсы.*

---

---

---

---

### **Summary:**

*The article deals with the approaches to development of mechanisms for management of innovative projects on creation of territorially distributed complexes of economic systems focused on implementation of the state order. The authors describe the principles of interaction of structural elements of such complexes and suggest the formalized technique for optimum expeditious adjustment of corresponding processes under the known law of duration distribution of project stages.*

### **Keywords:**

*innovative project, complex of economic systems, optimum adjustment, retrospective development, conditionally optimum control, additional resources.*

---

---

### **Основные положения**

В современной экономике крупные организации проектного типа для успешного выполнения большинства проектов в рамках государственных заказов должны активно взаимодействовать с другими (внешними по отношению к ней) организациями и предприятиями, и гибкое управление такими совокупностями является неотъемлемой частью процесса их совместного функционирования. При осуществлении продолжительных проектов исследуемая организация как головной исполнитель (ГИ), с одной стороны, и комплекс организаций – соисполнителей (КСИ), взаимодействующий с ней и фактически обеспечивающий ее деятельность, с другой стороны, представляют собой единую совокупность организационно-экономических систем, функционирующих для достижения единых целей. На практике указанные системы часто относятся к разным секторам экономики и распределены территориально, в таких случаях особенно актуальными становятся проблемы согласования их основных параметров при создании и управления взаимодействием. Кроме того, для результативного и бесперебойного функционирования головного исполнителя в условиях множества проектов необходимо текущее управление его параметрами и характеристиками организаций – соисполнителей.

Проблемы управления проектами в организационных системах проанализированы во многих трудах В.Н. Буркова, Д.А. Новикова [1; 2]. Вопросы динамического управления структурами сложных систем рассмотрены в работах М.Ю. Охтилева, Б.В. Соколова, Р.М. Юсупова [3]. Заслуживают внимания исследования Д.А. Верзилина, В.В. Черешнева, Т.Г. Максимовой, посвященные разработке инструментария для управления организационными системами [4]. Подходы к использованию математических методов при обосновании механизмов взаимодействия систем рассмотрены в публикациях Г.Б. Петухова, В.И. Якунина, А.В. Киселева [5; 6]. Вопросы управле-

ния инновационной деятельностью организаций анализируются в публикациях А.Г. Ивасенко, Я.И. Никоновой, А.О. Сизовой [7]. Известны труды и других авторов, однако многие проблемы создания сложных территориально распределенных комплексов еще далеки от полного решения.

Так, во многих исследованиях параметров взаимодействия проектируемых экономических систем используется в числе прочих и аппарат теории массового обслуживания. В ее терминологии размер заявки определяется объемом каждого вида обеспечения головной организации (заказов к КСИ) и интенсивностью спроса, которая не всегда точно неизвестна и в зависимости от характера и целей инновационных проектов считается детерминированной или случайной. Описание интенсивности спроса определяет природу модели, и хотя на практике спрос часто носит случайный характер, детерминированные модели в большинстве случаев позволяют получить достаточно точные количественные оценки. На практике не только спрос оказывается случайной величиной, но и время выполнения заявки (фактическое время обеспечения), что обуславливает необходимость построения вероятностных моделей управления параметрами взаимодействующих систем. Для упрощения применения формализованных методов исследования целесообразно GI рассматривать как обслуживаемую систему, а внешний комплекс взаимодействующих с ней организации – как обслуживающих.

Вид формализованной модели такой совокупности систем при случайном спросе зависит от того, с какой скоростью изменяется состояние организации. Если оно меняется достаточно медленно, то достаточно строить стационарные модели, если же изменения значительны, желательнее создавать динамические. Трудности, возникающие при разработке динамических моделей реальных организаций, значительно существеннее по сравнению с аналогичными стационарными. Для многих практических ситуаций обычно может быть предложено достаточно большое число стратегий управления, но из-за значительных трудностей выполнить оптимизацию их множества удается редко, в лучшем случае оказывается возможным исследовать небольшое число стратегий и из них выбрать наиболее предпочтительную. В опубликованных научных трудах встречается относительно немного сведений о результатах применения тех или иных моделей к управлению параметрами реальных экономических систем при совместном выполнении ими проектов. Обычно приводятся осторожные высказывания относительно полученных сокращений издержек или роста прибыли, так как подобные оценки весьма затруднительны, а преимущества оптимальной системы управления могут не проявиться в течение длительного периода времени.

К числу недостаточно разработанных в первую очередь следует отнести проблемы оптимального управления ограниченными по времени инновационными проектами по поэтапному созданию или модификации совокупностей территориально распределенных комплексов экономических систем, предназначенных для выполнения государственного заказа, коррекции процессов осуществления таких проектов, а также анализа и синтеза структур указанных совокупностей систем и технологий взаимодействия.

#### **Общие подходы к описанию взаимодействия структурных элементов совокупностей экономических систем**

Управление параметрами комплекса организаций – соисполнителей проекта при непрерывной схеме взаимодействия ее с головным исполнителем является одним из основных средств обеспечения заданных характеристик целевых процессов последней. Таким путем решается большой класс задач по управлению созданием, модернизацией и восстановлением крупных производственно-технологических комплексов. Рассмотрение известных внутренних технологий работы функциональных подсистем КСИ для различных видов взаимодействия с головным исполнителем позволяет заключить, что практически во всех случаях выполнение заявок происходит поэтапно. При этом основные структурные элементы КСИ объединяются в последовательные цепи, по которым проходит заявка на обслуживание GI, прежде чем она будет удовлетворена, и число таких этапов в общем случае может быть значительным. Следует отметить, что указанные последовательные цепи могут образовывать и параллельные участки, в любой из которых поступают заявки на обслуживание анализируемой организации. Число параллельных каналов и количество последовательных элементов в канале могут быть различными в зависимости от характера заявок и структуры КСИ.

Для того чтобы анализировать и синтезировать систему управления КСИ, описываемую подобными моделями, необходимо в первую очередь установить связи между ее характеристиками и параметрами GI, которые бы позволили определять локальные коэффициенты ее функциональной готовности (КФГ) относительно заданных структурных элементов КСИ. Такие коэффициенты условно характеризуют способность рассматриваемой организации достигать имеющиеся конечные цели деятельности и определяются обычно вероятностными методами. Соотношения, связывающие параметры GI и взаимодействующего с ней КСИ, позволяют уточнять

фактические потребности первой в обеспечении, оценивать целесообразность структуры такой системы и оптимальность значений ее параметров. Кроме этого, они могут быть использованы для определения характеристик КСИ по заданной структуре и параметрам рассматриваемой организации. С позиции исследуемой организации комплекс организаций – соисполнителей необходим для обеспечения процессов ее целевой деятельности и характеризуется принципами построения, структурой, функциональными связями, размещением основных структурных элементов, а также принятой стратегией управления. На практике они могут взаимодействовать с ГИ на основе партнерских принципов или специально создаваться для ее обслуживания.

В силу вышеизложенного управление параметрами организации – головного исполнителя при непрерывной схеме взаимодействия является инерционным и для его осуществления и совершенствования необходимо с разных сторон анализировать КСИ, чтобы в соответствии со структурой и интенсивностью обслуживания в отдельных его звеньях оценивать характеристики целевых процессов ГИ и направленно влиять на контролируемые параметры. Практически любая операция по удовлетворению заявки выполняется обслуживающими подразделениями КСИ, состоящими из ряда отдельных элементов и связанными в определенную структуру. Каждое подразделение, в свою очередь, может иметь различную внутреннюю структуру, такие подсистемы в общем случае образуют канал взаимодействия КСИ и ГИ, по которому выполняется обеспечение последней необходимым видом потребностей в соответствии с поданной заявкой. Таким образом, рассматриваемая организация – головной исполнитель и КСИ представляют собой совокупность, которая создается с целью обеспечения заданных характеристик целевых процессов ГИ, и для успешности и результативности деятельности такой совокупности параметры ее структурных элементов должны быть согласованы между собой.

В терминах теории массового обслуживания организация – головной исполнитель может быть описана, например, следующим образом. В обычных условиях для ее целевого процесса характерно наличие  $n$  технологических элементов рассматриваемого наименования, для нормального осуществления этого процесса необходимо, чтобы одновременно были работоспособны не менее  $r$  таких элементов. Для обеспечения заданного уровня готовности ГИ к гарантированному функционированию она снабжается резервом в  $m$  элементов, которым обеспечивается по непрерывной схеме при наступлении ключевого события. Комплекс организаций – соисполнителей, обеспечивающий выполнение заявки на элемент, имеет определенную структуру, и посланная головным исполнителем заявка последовательно проходит обслуживающие подразделения, предусмотренные существующей технологией. Для этого она поступает в любой свободный канал обеспечения и последовательно проходит в канале  $i_{z_j}$  обслуживающих подсистем ( $i_{z_j} = 1, 2, \dots, I$ ). Такой канал считается занятым, пока находящаяся в нем заявка не пройдет все подсистемы, если все  $z_j$  каналов ( $z_j = 1, 2, \dots, Z$ ) обслуживающего подразделения заняты выполнением других заявок, то она становится в очередь перед  $j$ -м обслуживающим подразделением ( $j = 1, 2, \dots, J$ ). Общее число обслуживающих подсистем в КСИ определяется выражением

$$N = \sum_{j=1}^J \sum_{z_j=1}^Z i_{z_j} .$$

При формализованном описании структуры комплекса организаций – соисполнителей часто достаточно ограничиться указанием количества обслуживающих подразделений ( $J$ ), каналов в каждом обслуживающем подразделении ( $z_j$ ) и обслуживающих подсистем в каждом канале ( $i_{z_j}$ ). Задавая эти параметры, можно описать систему почти произвольной структуры для любого вида обеспечения головного исполнителя результатами деятельности комплекса организаций – соисполнителей. При исследовании такого комплекса кроме структуры необходимо знать и параметры, характеризующие работу обслуживающих подсистем. Для описания функционирования КСИ часто можно ограничиться указанием интенсивности обслуживания заявок в каждой обслуживающей подсистеме, достаточная общность такой характеристики позволяет, не привязываясь к конкретным реализациям подсистем и видам обслуживания, анализировать работу практически любых КСИ.

При исследовании таких комплексов обычно учитывается классификация видов (элементов) обеспечения по категориям, а параметры обслуживаемой организации – головного исполнителя оцениваются интенсивностями возникновения потребностей в элементах обеспечения. Основные проблемы исследования КСИ при непрерывной схеме взаимодействия с ГИ сводятся к определе-

нию и оптимизации ее структуры и параметров. Описанный выше вероятностный коэффициент функциональной готовности организации в общем случае может оцениваться по формуле:

$$KФГ = \frac{N_{ц}}{N_{об}},$$

где  $N_{ц}$  и  $N_{об}$  – количество «целевых» состояний организации и общее число возможных ее состояний соответственно.

При этом фактические аналитические выражения для расчета этого показателя могут существенно различаться в зависимости от назначения, типа и фактической структуры исследуемой организации [8].

#### **Формализованное описание состояния комплекса организаций – соисполнителей**

Перечень сформулированных выше проблем не исчерпывает всех трудностей, возникающих при изучении и описании непрерывной схемы взаимодействия КСИ с обеспечиваемой организацией – головным исполнителем при совместном выполнении ими проектов. Однако названные задачи достаточно полно отражают их специфику и могут служить основой для выбора возможных методов изучения этого комплекса организаций. При этом следует учитывать, что рассмотренные выше общие подходы в прямой постановке характерны для взаимодействия головного исполнителя с КСИ по одной (каждой) категории обеспечения, на практике же данный комплекс создается для обеспечения ГИ всей совокупностью необходимых категорий потребностей. Для решения подобных задач обычно применяются также методы исследования операций.

Для формализованного анализа функционирования комплекса организаций – соисполнителей требуется определять возможные его состояния, и одним из подходов является представление состояний в виде двумерного массива данных, общие принципы формирования которого аналогичны изложенным в работе [9]. Применительно к исследуемой совокупности «ГИ – КСИ» они могут быть сформулированы так. Количество строк в массиве выбирается по числу обслуживающих подразделений комплекса организаций – соисполнителей, строки располагаются сверху вниз, а их порядок соответствует последовательности обслуживания заявки ГИ соответствующими подразделениями КСИ. Элементы каждой строки характеризуют состояния подсистем обслуживающего подразделения: первый элемент слева представляет собой число заявок, находящихся в очереди перед обслуживающим подразделением, второй и последующие – количество заявок, находящихся на обслуживании в первых и последующих подсистемах подразделения соответственно. Общее число обслуживаемых заявок не превышает количество каналов обслуживания всех подразделений, могут применяться и другие варианты кодировки состояний. Составленный таким образом массив данных однозначно характеризует состояние КСИ, и с помощью него можно анализировать и оптимизировать основные параметры системы в компьютеризированной форме: общее число заявок на обслуживание; количество заявок в подразделениях КСИ; число заявок в каждом обслуживающем подразделении; количество заявок в любых подсистемах любого обслуживающего подразделения; число заявок, находящихся в очереди перед каждым подразделением, и другие характеристики.

Первоначально составляется код, соответствующий отсутствию заявок, он будет иметь столько строк, сколько обслуживающих подразделений в КСИ. В каждой строке будет содержаться столько нулей, сколько подсистем в каналах обслуживающего подразделения, соответствующего данной строке. В каждой строке слева добавляется по одному нулю, указывающему на отсутствие очередей перед подразделениями. После составления такого исходного массива данных о состоянии КСИ для случая отсутствия заявок перечисляются все состояния, соответствующие поступлению от головного исполнителя одной заявки на обслуживание. Полученные состояния принимаются за исходные, и рассматриваются состояния комплекса организаций – соисполнителей при поступлении в него еще одной заявки, затем из полученных описаний состояний отбираются различающиеся между собой, которые вновь принимаются за исходные. Такая процедура повторяется до тех пор, пока не будут описаны все состояния, соответствующие максимальному числу заявок в КСИ. Такое определение всех возможных состояний комплекса позволяет составлять при необходимости дифференциальные или алгебраические уравнения для вероятностей этих состояний. Решения систем указанных уравнений дают возможность оценивать параметры целевых процессов и характеристики состояния головного исполнителя в сопоставлении с состояниями комплекса организаций – соисполнителей. Постановки и решения подобных задач применительно к ресурсному обеспечению приведены, в частности, в работах [10; 11].

Для заданной структуры ГИ вероятности указанных состояний позволяют определить характеристики ее целевых процессов путем нахождения решений указанной выше системы уравнений аналитическими или численными методами. Если полученные в результате решений

характеристики неудовлетворительны, то необходимо изменить параметры КСИ или ее структуру, повторно выполнить соответствующие расчеты и вновь оценить эти характеристики. Рассмотренные методики применимы к комплексам организаций – соисполнителей, в общем случае имеющих почти любую структуру, однако для практических применений чаще всего возникает необходимость изучать более простые структуры, представляющие собой совокупность типовых систем. Поэтому целесообразнее выполнять модельные исследования КСИ со сравнительно элементарными и часто повторяющимися структурами. Такой подход позволяет многократно использовать на практике полученные результаты для анализа и синтеза аналогичных обслуживающих комплексов организаций – соисполнителей проектов, что значительно сокращает сложность, трудоемкость и стоимость работ, повышает их качество.

#### Коррекция результатов реализации предыдущих этапов проекта

Рассмотрим возможную технологию оперативной коррекции управления инновационного проектом (ИП) по созданию и территориальному размещению описанной выше совокупности экономических систем «ГИ – КСИ». На практике вследствие влияния случайных или неучтенных факторов всегда существует риск не уложиться в заданные сроки, что крайне нежелательно при выполнении государственного заказа. Один из возможных вариантов решения проблемы заключается в последовательном уточнении значения вероятности успешного выполнения рассматриваемого проекта с учетом фактического времени, затраченного на предыдущие этапы.

Обозначим  $z_{nl}$  – плановое (нормативное) значение продолжительности всего цикла создания совокупности экономических систем;  $\hat{t}_i$  – продолжительность  $i$ -го этапа,  $i = (1, N)$ , то есть  $\sum_{i=1}^N \hat{t}_i = z_{nl}$ . Будем полагать, что параметры распределения величин  $\hat{t}_i$  и  $\hat{z} = \sum_{i=1}^N \hat{t}_i$  однозначно связаны с соответствующими директивными характеристиками.

Пусть первый этап процесса ИП был реализован за время  $t_1^*$ , причем  $t_1^* > t_1^{nl}$ , то есть величина  $t_1^* - t_1^{nl}$  – это величина задержки (опоздания). В этом случае продолжительность выполнения этого проекта подлежит уточнению:

$$\hat{z}_1 = \hat{z} / t_1^* = t_1^* + \hat{t}_2 + \hat{t}_3 + \dots + \hat{t}_N.$$

Обозначим  $1 - \gamma_{t_1^*} = R_{t_1^*}$  – риск невыполнения требований потребителя (государственного заказчика) по созданию совокупности экономических систем. Применив аппарат теории вероятностей, получим:

$$\varphi_{t_1^*} = \int_0^{z_{nl}} \varphi_{z_1}(t) dt,$$

где  $\gamma_{z_1} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ju(\hat{t}-t_1^*)} du \cdot \prod_{i=2}^N e^{jux} \varphi_{t_i}(x; A_{\langle K_i \rangle}) dx.$

При невыполнении неравенства  $\gamma_{t_1^*} \geq \gamma_{дир}$  (где  $\gamma_{дир}$  – директивное значение показателя) на оставшихся этапах проекта необходимо проведение дополнительных оперативных мероприятий по обеспечению гарантированного выполнения ИП с требуемой вероятностью  $\gamma_{дир}$  в заданный срок  $z_{nl}$ . В результате принятия этих мер в конечном итоге произойдет корректировка параметров  $A_{\langle K_i \rangle}$  оставшихся этапов. Ограничимся рассмотрением корректировки только одного последующего этапа, для остальных этапов могут быть применены аналогичные подходы.

Обозначим  $Y_{<K_2>}$  – дополнительно привлекаемые ресурсы, то есть  $A'_{<K_2>} = A_{<K_2>} + Y_{<K_2>}$ ;  $f^{(2)}$  – функция зависимости стоимости  $\Delta S^{(2)}$  корректировки от значений дополнительных ресурсов, то есть  $\Delta S^{(2)} = f^{(2)}(Y_{<K_2>})$ . Тогда вектор корректировок должен обеспечивать выполнение равенства  $\gamma_{t_i} = \gamma_{dup}$ . Пусть реализовано  $(\nu-1)$  этапов:

$$\hat{z}/T_{<\nu-1>}^* = \hat{z}_{\nu-1} = \sum_{i=1}^{\nu-1} t_i^* + \hat{t}_\nu + \dots + \hat{t}_N.$$

Тогда риск невыполнения ИП в заданный срок с учетом исхода  $(\nu-1)$ -го этапа определяется по формуле:

$$R_{T_{<\nu-1>}^*}^* = 1 - \int_0^{z_{ml}} \gamma_{\hat{z}/T_{<\nu-1>}^*}(t) dt,$$

где 
$$\gamma_{\hat{z}/T_{<\nu-1>}^*} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ju(t - \sum_{i=1}^{\nu-1} t_i^*)} du \cdot \prod_{i=\nu}^N e^{jux} \varphi_{t_i}^*(x; A_{<K_i>}) dx.$$

Задача оптимальной корректировки процесса выполнения ИП может быть сформулирована следующим образом. Требуется определить такие значения вектора корректировок

$Y_{<K_\nu>}$  на каждом этапе, для которых минимизируются дополнительно привлекаемые ресурсы при ограничении на риск невыполнения всего проекта в заданный срок:

$$\Delta S(Y_{<K_2>}, \dots, Y_{<K_N>}) = \sum \Delta S^{(\nu)}(Y_{<K_\nu>}) \longrightarrow \min_{\{Y_{<\nu>}\}} \Delta S(Y_{<K_2>}, \dots, Y_{<K_N>}) \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\gamma_1^*(t_1^*, Y_{<K_1>}) = \gamma_{dup};$$

$$\gamma_2^*(t_1^*, t_2^*, Y_{<K_1>}) = \gamma_{dup}; \varphi_{t_2}^*(t) = \varphi_{t_2}^*(t; (A_{<K_2>} + Y_{<K_N>}));$$

$$\gamma_{N-1}^*(t_1^*, t_2^*, \dots, Y_{<K_{N-1}>}) = \gamma_{dup}; \varphi_{t_{N-1}}^*(t) = \varphi_{t_{N-1}}^*(t; (A_{<K_{N-1}>} + Y_{<K_{N-2}>})).$$

Специфика данной задачи оптимизации (многоэтапность процесса, аддитивность показателя (1), случайный характер исхода каждого этапа, зависимость исхода этапа от корректировки параметров распределения его продолжительности) делает естественным обращение к алгоритмам стохастического динамического программирования для получения решения. Для некоторых законов распределения величин  $t_i$  и небольшого числа этапов решение может быть получено аналитически. Покажем это на примере четырехэтапного процесса типового ИП для нормального закона распределения продолжительности  $\hat{t}_i$ . Такой вариант может иметь место, например, при следующей схеме последовательной разработки (этапах проекта):

1. Предварительные поисковые исследования.
2. Выполнение прикладной НИР, посвященной выбору (созданию новых) участвующих в проекте организаций, обоснованию их характеристик и технологий взаимодействия.
3. Практическое создание совокупности «головной исполнитель – соисполнители», включая ее территориальное размещение и организацию взаимодействия структурных элементов.
4. Контроль пробного функционирования указанной совокупности и коррекция механизмов ее деятельности.

#### Алгоритм динамической корректировки

Проведем следующие рассуждения. Пусть реализован первый этап, он продолжался  $t_1^*$  единиц времени, и вероятность  $\gamma_1^*$  оказывается меньше заданной  $\gamma_{dup}$ . Надо полагать, что стои-

мость дополнительных ресурсов, выделяемых и используемых на 2-м этапе, пропорциональна величине «опоздания» ( $t_1^* - m_1$ ). Пусть после корректировки параметров  $M[\hat{t}_2], \sigma[\hat{t}_2]$  реализован 2-й этап и  $\gamma_2^* < \gamma$ . Тогда стоимость дополнительно используемых на 3-м этапе ресурсов будет пропорциональна суммарной величине «опоздания»:  $(t_1^* - m_1 + t_2^* - m_2)$ . Аналогично:

$$\Delta s^{(4)} \sim t_1^* - m_1 + t_2^* - m_2 + t_3^* - m_3.$$

Выберем в качестве параметра состояния  $\hat{x}$  величину «опоздания». Это дискретная случайная величина, принимающая значения:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= t_1^* - m_1; \\ \hat{x}_2 &= t_1^* - m_1 + \hat{t}_2 - m_2; \\ \hat{x}_3 &= t_1^* - m_1 + \hat{t}_2 - m_2 + \hat{t}_3 - m_3 \\ \Delta s^{(2)} &\sim t_1^* - t_1^{nl} = t_1^* - m_1 \end{aligned} \right\}$$

Вероятность своевременного создания рассматриваемой совокупности экономических систем с учетом исхода  $t_1^*$  первого этапа равна:

$$\gamma_1^* = \frac{1}{2} \left[ \Phi \left( \frac{z_1^{nl} - t_1^* - m_2 - m_3 - m_4}{\sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} \sqrt{2}} \right) + 1 \right],$$

где  $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$  при  $\gamma_1^* < \gamma$ :  $m_2' = m_2 + y_1$ ,  $\sigma_2' = \sigma_2 + y_1'$ , то есть:

$$Y_{\langle K_2 \rangle} = \langle y_1, y_1' \rangle^T.$$

Затраты на корректировку равны:  $\Delta \hat{s}^{(2)} = \Delta s^{(2)}(\hat{x}_1, y_1, y_1')$ , а компоненты вектора корректировки должны удовлетворять равенству:

$$\frac{1}{2} \left[ \Phi \left( \frac{z_1^{nl} - t_1^* - m_2 - y_1 - m_3 - m_4}{\sqrt{(\sigma_2 + y_1')^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} \sqrt{2}} \right) + 1 \right] = \gamma \text{ или } y_1' = \psi_1(y_1, t_1^*).$$

Пусть  $t_2 = t_2^{**} = t_2^*(y_1, y_1')$ . Вероятность  $\gamma_2^{**}$  равна:

$$\gamma_2^{**} = \frac{1}{2} \left[ \Phi \left( \frac{z_1^{nl} - t_1^* - t_2^{**} - m_3 - m_4}{\sqrt{\sigma_3^2 + \sigma_4^2} \sqrt{2}} \right) + 1 \right]$$

при  $\gamma_2^{**} < \gamma$ :

$$\left. \begin{aligned} m_3' &= m_3 + y_2, \sigma_3' = \sigma_3 + y_2'; \\ Y_{\langle K_3 \rangle} &= \langle y_2, y_2' \rangle^T; \\ \Delta \hat{s}^{(3)} &= \Delta s^{(3)}(\hat{x}_2, y_2, y_2'). \end{aligned} \right\}$$

Введем понятие «суммарного показателя затрат на корректировку», после реализации и корректировки третьего этапа он равен:

$$\hat{\eta}_{2,3}(\hat{x}_1, y_1, y_1', y_2, y_2') = \Delta s^{(2)}(\hat{x}_1, y_1, y_1') + \Delta s^{(3)}(\hat{x}_2, y_2, y_2'),$$

где компоненты  $y_2, y_2'$  вектора корректировки на третьем этапе удовлетворяют равенству:

$$\frac{1}{2} \left[ \Phi \left( \frac{z_1^{nl} - t_1^* - t_2^{**} - m_3 - y_2 - m_4}{\sqrt{(\sigma_3 + y_2')^2 + \sigma_4^2} \sqrt{2}} \right) + 1 \right] = \gamma \text{ или } y_2' = \psi_2(y_2, t_1^*, t_2^{**}).$$

Аналогично рассуждая, получим задачу определения оптимальных (в смысле выбранного критерия) значений вектора корректировки. Заметим, что обратить в минимум величину  $\hat{\eta}_{2,3,4}$  нельзя, так как при любой корректировке суммарные затраты  $\hat{\eta}_{2,3,4}$  (а также и затраты  $\Delta\hat{s}^{(v)}$  на каждом шаге) остаются случайной величиной. Однако мы можем выбрать такую корректировку, при которой среднее значение  $M[\hat{\eta}_{2,3,4}]$  стоимости дополнительно используемых ресурсов будет минимально.

Пусть  $t_1 = t_1^*$ . Чтобы «уложиться» в заданное время  $z^{na}$ , мы должны каким-то образом распределить «опоздание»  $x_1 = t_1^* - m_1$  по оставшимся этапам. Если мы хотим компенсировать «опоздание»  $x_1$  на втором этапе, то, очевидно, должны проводить такую корректировку параметров распределения его продолжительности, которая уменьшит математическое ожидание  $\bar{t}_2$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{\hat{t}_2}$ , то есть должно быть:

$$\Delta\bar{t}_2 = \bar{t}'_2 - \bar{t}_2 < 0,$$

$$\Delta\sigma_{\hat{t}_2} = \sigma'_{\hat{t}_2} - \sigma_{\hat{t}_2} < 0.$$

При этом очевидно, стоимость корректировки пропорциональна модулям величин  $\Delta\bar{t}_2, \Delta\sigma_{\hat{t}_2}$ :

$$\Delta s^{(2)} \sim |\Delta\bar{t}_2|; \Delta s^{(2)} \sim |\Delta\sigma_{\hat{t}_2}| \text{ по } \Delta\bar{t}_2 = y_1, \Delta\sigma_{\hat{t}_2} = y'_1.$$

Можно доказать, что среднее значение суммарного показателя эффективности корректировки равно:

$$\eta_{2,3,4}(x_1, y_1, y'_1, y_2, y'_2, y_3, y'_3) = \sum_{v=1}^3 c_v^x x_v + c_v^{\Delta m} y_v^2 + c_v^{\Delta\sigma} y'_v, \quad (2)$$

$$x_1 = t_1^* - m_1, y'_1 = \psi_1(y_1, t_1^*)$$

где:  $x_2 = x_1 + y_1, y'_2 = \psi_2(y_2, t_1^*, t_2^{**})$

$$x_3 = x_2 + y_2, y'_3 = \psi_3(y_3, t_1^*, t_2^{**}, t_3^{**}).$$

Сформулируем формализованную постановку задачи оптимизации корректировки процесса ИП для рассматриваемого примера. Требуется определить такие значения  $\tilde{y}_1, \tilde{y}'_1, \tilde{y}_2, \tilde{y}'_2, \tilde{y}_3, \tilde{y}'_3$  компоненты вектора корректировки на каждом шаге, которые дают минимум среднего суммарного показателя затрат на корректировку (2):

$$\eta_{2,3,4}(x_1, \tilde{y}_1, \tilde{y}'_1, \tilde{y}_2, \tilde{y}'_2, \tilde{y}_3, \tilde{y}'_3) = \min_{\{Y\}} (x_1, \tilde{y}_1, \tilde{y}'_1, \tilde{y}_2, \tilde{y}'_2, \tilde{y}_3, \tilde{y}'_3) = \mu$$

при ограничениях:

$$\begin{cases} y'_1 = \psi_1(y_1, t_1^*) \\ y'_2 = \psi_2(y_2, t_1^*, t_2^{**}) \\ y'_3 = \psi_3(y_3, t_1^*, t_2^{**}, t_3^{**}) \end{cases}$$

Для отыскания решения задачи введем в рассмотрение функцию

$$\mu_N(x) = \min_{\{Y\}} \eta_{2,3,\dots,N}(x, y_1, y'_1, \dots, y_{N-1}, y'_{N-1}).$$

Пусть  $\mu_1(x)$  – средние минимальные затраты на корректировку программы работ в одношаговой операции, начинающейся в состоянии  $x$ . Для второго этапа (первого шага) справедливо:

$$\mu_{1(x)} = \min_{\{y_{1y}, y'_{1y}\}} \Delta s^{(2)}(x, y_{1y}, y'_{1y})$$

при  $y'_{1y} = \psi_1(y_{1y}, t_1^*)$ .

Далее переходим к двухшаговой операции:



$$\mu_2(x) = \min_{\{y_{2y}(x), y'_{2y}(x)\}} \left[ \Delta s^{(2)}(x, y_{2y}, y'_{2y}) + \mu_1(\underbrace{x + \tilde{y}_{1y}}_{x_2}) \right]$$

и к трехшаговой операции, объединяя при этом 2-й и 3-й шаги в один шаг. Тогда в соответствии с принципом оптимальности

$$\mu_3(x) = \min_{y_{31}, y'_{31}} \Delta s^{(2)}(x_2, y_{31}, y'_{31} + \mu_2(x_2)) \text{ при } y'_{3y} = \Psi_1(y_{3y}, t_1^*). \quad (3)$$

Величина  $\mu_2(x_2)$  определяется так же, как  $\mu_2(x_1)$ , однако на вспомогательные переменные  $y_{21}, y'_{21}$  накладывается ограничение  $y'_{21} = \Psi_2(y_{21}, t_1^*, t_2^{**})$ , а на вспомогательные переменные  $y_{22}, y'_{22}$ , используемые для определения  $\mu_1(x_3)$  – ограничение  $y'_{22} = \Psi_3(y_{22}, t_1^*, t_2^{**}, t_3^{**})$ :

$$\left. \begin{aligned} \mu_2(x_2) &= \min_{\{y_{21}, y'_{21}\}} [\Delta s^{(3)}(x_2, y_{21}, y'_{21}) + \mu_1(x_3)] \\ y'_{21} &= \Psi_2(y_{21}, t_1^*, t_2^{**}), x_2 = x_1 + y_{1y} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_1(x_3) &= \min_{\{y_{22}, y'_{22}\}} \Delta s^{(4)}(x_3, y_{22}, y'_{22}) \\ y'_{22} &= \Psi_3(y_{22}, t_1^*, t_2^{**}, t_3^{**}), x_3 = x_2 + y_{22} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Рекуррентные соотношения (3), (4), (5) соответствуют ретроспективной развертке (обратному ходу) алгоритма, а значения

$$\tilde{y}_{3y}(x), \tilde{y}'_{3y}(x), \tilde{y}_{2y} = \tilde{y}_{21}, \tilde{y}'_{2y} = \tilde{y}'_{21}, \tilde{y}_{1y}(x) = y_{22}, \tilde{y}'_{1y}(x) = y'_{22}$$

являются условно-оптимальными значениями компонентов вектора корректировки. Решив последовательно функциональные уравнения (3), (4), (5) при  $x = x_1 = t_1^* - m_1$ , определяем минимальные средние дополнительные затраты на обеспечение ИП:

$$\mu = \mu_3(x_1)$$

Затем, построив прямую развертку (прямой ход алгоритма), определяем оптимальные значения компонента вектора корректировки. Оптимальная корректировка на 2-м этапе:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{y}_1 &= \tilde{y}_3(x_1) \\ \tilde{y}'_1 &= \tilde{y}'_3(x_1) \end{aligned} \right\}$$

Оптимальная корректировка на 3-м этапе:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{y}_2 &= \tilde{y}_{2y}(x_1) \\ \tilde{y}'_2 &= \tilde{y}'_{2y}(x_1) \end{aligned} \right\}$$

Оптимальная корректировка на 4-м этапе:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{y}_3 &= \tilde{y}_{1y}(x_1) \\ \tilde{y}'_3 &= \tilde{y}'_{1y}(x_1) \end{aligned} \right\}$$

В вышеизложенном подходе к управлению найденная оптимальная корректировка является адаптивной и зависит от того, как развернется случайный процесс реализации инновационного проекта по созданию совокупности «ГИ – КСИ». Таким образом, жесткая «программа корректировки» не была определена, но указано для каждой фазы процесса то «управление», которым следует отвечать на любой случайный исход предыдущего этапа проекта.

### Заключение

Процесс создания совокупности экономических систем в рамках выполнения государственного заказа обычно ограничен директивными сроками, поэтому любая задержка недопустима, и ее устранение может быть обеспечено в большинстве случаев только за счет привлечения дополнительных ресурсов на последующих этапах проекта. Разработанный алгоритм базируется на принципе оптимальности Р. Беллмана, иными словами, с его помощью определяется не окончательный план корректировки, а разрабатывается гибкая программа управляющих воздействий,

зависящих от фактического исхода каждого этапа, длительность которого превысила заданный норматив. Предложенная методика может быть реализована в системах поддержки принятия решений для разных уровней иерархии управления, а также использована для предварительного имитационного моделирования процессов осуществления инновационного проекта.

#### **Ссылки:**

1. Математические основы управления проектами / под ред. В.Н. Буркова. М., 2005.
2. Новиков Д.А. Управление проектами: организационные механизмы. М., 2007.
3. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М., 2006.
4. Верзилин Д.Н., Черешнев В.В., Максимова Т.Г. Управление сложными организационными системами: концепции, принципы, инструментарий. Екатеринбург, 2009.
5. Киселев А.В. Исследование непрерывного пополнения запасов организации. Л., 1973.
6. Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М., 2006.
7. Ивасенко А.Г., Никонова Я.И., Сизова А.О. Инновационный менеджмент. М., 2009.
8. Шаныгин С.И. Управление организацией проектного типа: стратегия и тактика. СПб., 2012.
9. Киселев А.В. Указ. соч.
10. Там же.
11. Шаныгин С.И. Указ. соч.

#### **References:**

1. Burkov, VN (ed.) 2005, *Mathematical Foundations of project management*, Moscow.
2. Novikov, DA 2007, *Project management: institutional arrangements*, Moscow.
3. Ohtilev, MY, Sokolov, BV & Yusupov, RM 2006, *Intelligent technologies for monitoring and management of the structural dynamics of complex technical objects*, Moscow.
4. Verzilin, DN, Chereshev, VV & Maksimova, TG 2009, *Management of complex organizational systems: concepts, principles, tools*, Ekaterinburg.
5. Kiselev, AV 1973, *Investigation of the continuous replenishment of the organization*, Leningrad.
6. Petukhov, GB & Yakunin, VI 2006, *Methodological bases of the external design of targeted processes and purposeful systems*, Moscow.
7. Ivasenko, AG, Nikonova, YI & Sizova, SA 2009, *Innovation Management*, Moscow.
8. Shanygin, SI 2012, *Organization Management Project type: strategy and tactics*, St. Petersburg.
9. Kiselev, AV 1973, *Investigation of the continuous replenishment of the organization*, Leningrad.
10. Kiselev, AV 1973, *Investigation of the continuous replenishment of the organization*, Leningrad.
11. Shanygin, SI 2012, *Organization Management Project type: strategy and tactics*, St. Petersburg.