

**ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ СРЕДСТВ,  
ВЫДЕЛЯЕМЫХ НА СОЗДАНИЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ\*****Александр Михайлович БАТЬКОВСКИЙ<sup>а\*</sup>, Александр Васильевич ЛЕОНОВ<sup>б</sup>,  
Алексей Юрьевич ПРОНИН<sup>с</sup>**

<sup>а</sup> доктор экономических наук, профессор кафедры управления высокотехнологичными предприятиями, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация  
batkovsky@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5145-5748>  
SPIN-код: 9024-3229

<sup>б</sup> доктор экономических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, 46-й Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны РФ, Москва, Российская Федерация  
alex.clein51@yandex.ru  
ORCID: отсутствует  
SPIN-код: отсутствует

<sup>с</sup> кандидат технических наук, старший научный сотрудник, 46-й Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны РФ, Москва, Российская Федерация  
pronin46@bk.ru  
ORCID: отсутствует  
SPIN-код: 6833-7914

\* Ответственный автор

**История статьи:**

Получена 09.08.2018  
Получена в доработанном виде 18.09.2018  
Одобрена 22.11.2018  
Доступна онлайн 30.01.2019

УДК 338.244

JEL: B41, C41, C51, C65,  
L51**Ключевые слова:**

финансирование,  
инструментарий, модели,  
высокотехнологичная  
продукция

**Аннотация**

**Предмет.** Экономико-математический инструментарий, позволяющий оптимизировать использование финансовых ресурсов, выделяемых на создание высокотехнологичной продукции. Прогнозную оценку результатов выполнения проекта представляется возможным осуществить лишь на вероятностном уровне ввиду высокой степени неопределенности, обусловленной действием множества случайных факторов.

**Цели.** Разработка универсального экономико-математического инструментария, позволяющего оптимизировать использование финансовых ресурсов, выделяемых на создание высокотехнологичной продукции в условиях риска на основе принципа самоорганизации. Данный инструментарий должен обеспечивать возможность корректировки плана финансирования и сметы расходов на выполнение проекта по созданию высокотехнологичной продукции.

**Методология.** Используются методы логического и статистического анализа, экономико-математического моделирования, теории игр, нечеткой логики и экспертные оценки.

**Результаты.** Рассмотрены теоретические подходы к регулированию экономической динамики, определены принципы самоорганизации в моделях экономической динамики создания высокотехнологичной продукции, разработаны модели оптимизации финансирования процесса создания продукции, предложены комплексная модель регулирования экономической динамики и оценка возможности ее использования на этапах создания высокотехнологичной продукции.

**Выводы.** Практическое использование предложенных моделей позволяет осуществлять технико-экономическую оценку различных вариантов создания высокотехнологичной продукции и выбирать варианты, обеспечивающие оптимальное использование финансовых ресурсов, выделяемых на эти цели с максимальной эффективностью выполнения проекта в условиях риска.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2018

**Для цитирования:** Батьковский А.М., Леонов А.В., Пронин А.Ю. Оптимизация использования финансовых средств, выделяемых на создание высокотехнологичной продукции // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2019. – Т. 18, № 1. – С. 164 – 178.  
<https://doi.org/10.24891/ea.18.1.164>

## Введение

При решении проблемы оптимизации финансирования процесса создания высокотехнологичной продукции (ВТП) целесообразно использовать методологию экономической динамики. Ее развитие в работах В.В. Леонтьева, Ф. Рамсея, Л.В. Канторовича, И.В. Романовского, В.Л. Макарова, А.М. Рубина, В.З. Беленького, В.В. Знаменского и других авторов превратило ее в самостоятельную ветвь теоретической математической экономики [1, 2]. Работы некоторых авторов в области экономической динамики позволили установить, что в процессе прохождения этапов проекта по созданию высокотехнологичной продукции существует определенная закономерность [3, 4]. В частности, выявлено, что статистическое распределение относительных объемов работ представляет собой логистическое распределение [5, 6]. Логистическая модель в настоящее время рассматривается как одна из основных закономерностей экономической динамики создания ВТП [7, 8]. Данное распределение часто наблюдается в экономике, производстве, технике. Отечественными учеными рассмотрены некоторые методические подходы и модели процессов разработки и производства ВТП [9], раскрыты основные аспекты вероятностного описания процесса создания высокотехнологичной продукции на основе использования логистической модели [10], исследованы вопросы самоорганизации моделей экономической динамики сложных систем, в частности индуктивный метод самоорганизации.

Большое внимание данной проблематике уделяют и зарубежные исследователи. Например, в работах П.Ф. Боера рассмотрены финансовые аспекты процесса разработки и внедрения новых технологий [11], а в трудах

М. Лангдона – применение гибкой методологии разработки для повышения эффективности инновационных разработок [12]. Методологию управления проектами исследовал Л. Вингейт [13], Л. Кили – типологизацию инноваций [14], Б. Вилладсен и Е. Рис – риски осуществления инновационных процессов [15, 16], К.М. Кристенсенем осуществлен анализ объективных закономерностей, характерных для инновационного развития [17]. В работах М. Доджсона рассмотрена проблема повышения динамики создания инновационной высокотехнологичной продукции [18]. Анализ этих и других работ показал, что главными ограничениями в использовании предлагаемых зарубежными учеными методических подходов к регулированию динамики создания высокотехнологичной продукции являются отраслевая принадлежность, необходимость адаптации математического аппарата под современные отечественные экономические условия, ориентация на какой-либо один фактор создания ВТП [19], трудности с получением исходных данных и т.п. Данные ограничения существенно осложняют комплексную оценку возможности выполнения проектов по созданию высокотехнологичной продукции в течение заданного времени, особенно в условиях риска, в том числе применительно к российским предприятиям [20].

Таким образом, модели регулирования экономической динамики создания ВТП в достаточной мере и комплексно, с системных позиций не были рассмотрены в мировой и отечественной научно-технической литературе. Широкий спектр видов высокотехнологичной продукции, наличие большого количества параметров, влияющих на стоимость ее создания, и многие другие факторы обусловили необходимость совершенствования существующего инструментария управления экономической динамикой создания ВТП в условиях неопределенности значительного

\* Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 16-06-00028.

объема исходных данных и их недостаточной достоверности.

### Методы регулирования динамики создания высокотехнологичной продукции

Экономическая динамика представляет собой непрерывную последовательность этапов создания ВТП. Характеристика данных этапов представлена в *табл. 1*.

В соответствии с данными этапами экономическая динамика создания ВТП моделируется как многоконтурный процесс самоорганизации, базирующийся на следующих принципах:

- множественности (большое количество моделей экономической динамики ВТП, имеющих различные значения относительной длительности этапов и объемов выполняемых работ);
- внешнего дополнения (преобразование ВТП на каждом этапе ее создания на основе исходных данных, поступающих от предыдущего этапа и в соответствии с требованиями, предъявляемыми последующим этапом);
- неокончателности решений (выбор оптимальной стратегии управления экономической динамикой с достаточной свободой выбора рациональных решений на каждом этапе создания ВТП).

В соответствии с указанными принципами формирование экономической динамики ВТП на каждом этапе проекта осуществляется одновременно за счет двух разнонаправленных движущих сил самоорганизации: требований, предъявляемых последующим этапом к предыдущему этапу (множество требований – контур  $\{T\}$ ); исходных данных, поступающих от предыдущего этапа к последующему (множество исходных данных – контур  $\{ID\}$ ). Согласно сформулированным принципам самоорганизации создание ВТП носит характер многоэтапного процесса технологического совершенствования. Это означает, что ВТП следует разрабатывать

по принципу приращений, так, чтобы разработчик мог использовать научно-технический задел, полученный при разработке более ранних версий ВТП. Практический опыт показывает, что успех в создании продукции будет максимальным, если процесс разработки осуществляется в виде серии небольших «шагов самоорганизации», каждый из которых включает в себе четко определенный результат, основанный на внедрении совокупности зрелых технических решений и технологий. Начальные шаги этого процесса связаны с проведением поисковых исследований, направленных на разработку и экспериментальную проверку путей и методов использования новых научных знаний в интересах создания ВТП. При этом имеется возможность возврата к предыдущему успешному шагу в случае неудачи: перед тем, как задействовать все производственно-технологические и финансовые ресурсы, выделенные на создание ВТП, разработчик на основе результатов лабораторных исследований и стендовых испытаний имеет возможность исправить имевшиеся просчеты и ошибки в реализуемом проекте. В ходе каждой итерации ВТП дорабатывается с использованием новых знаний, технологий и технических решений, и она при необходимости может расширять свои функциональные возможности или увеличивать технические характеристики.

При практической реализации принципов самоорганизации необходимо руководствоваться следующими положениями:

- задание требований к проектируемой высокотехнологичной продукции, разнесенных по времени;
- модульное построение на основе принципов открытой архитектуры;
- использование базового образца или образца-аналога и проектирование под прогнозируемые изменения;
- использование имеющихся научно-технологического и производственно-технологического заделов.

Таким образом, самоорганизация в моделях экономической динамики ВТП заключается в конечном счете в выборе рациональной стратегии экономической динамики из множества возможных с учетом многоэтапности создания продукции. Модели экономической динамики на основе принципов самоорганизации подразделяются на два вида: в условиях достаточности и недостаточности финансирования проекта. Общая постановка задач первого вида сформулирована следующим образом: известны заданный срок выполнения проекта, стоимость проекта на этапах и полная стоимость всего проекта, множество исходных данных и требований, предъявляемых к работам на каждом этапе выполнения проекта; требуется определить рациональную стратегию управления экономической динамикой по этапам создания ВТП, обеспечивающую максимальную вероятность реализации проекта:

$$P(S^*, t) \rightarrow \arg \max_{S \in \{Z\}} P[S_n(\{ID_n\}, \{T_n\}), t, C],$$

$$C \leq C_{pr}, C = \sum_{n=1}^N C_n, 0 \leq t \leq T, \quad (1)$$

где  $P(S^*, t)$  – вероятность реализации проекта в заданное время  $t$ ;

$S^*$  – оптимальная стратегия управления экономической динамикой;

$\{Z\}$  – множество возможных стратегий управления экономической динамикой;

$C_n, C_{pr}$  – стоимость проекта на  $n$ -м этапе и заданная стоимость всего проекта соответственно;

$\{ID_n\}, \{T_n\}$  – множество исходных данных и требований на  $n$ -м этапе выполнения проекта соответственно;

$T$  – заданный срок реализации проекта.

Общая постановка задач второго вида вербально может быть сформулирована следующим образом: известны совокупность затрат по этапам проекта, коэффициенты важности каждого этапа; требуется найти такое распределение ограниченного

финансового ресурса по этапам создания высокотехнологичной продукции (или по составным частям ВТП), чтобы осуществить реализацию проекта в наибольшей степени удовлетворяющей требования заказчика. Постановка такой задачи далее рассматривается для двух вариантов выполнения проекта: первый – все этапы создания высокотехнологичной продукции жестко зависимы друг от друга, то есть выполнение последующего этапа невозможно без исполнения предыдущего этапа; второй вариант – все этапы создания ВТП являются относительно самостоятельными и могут выполняться практически независимо друг от друга.

### **Инструментарий оптимизации управления созданием высокотехнологичной продукции в условиях достаточности финансирования проекта**

В соответствии с изложенными положениями при проведении исследования были использованы вероятностные и стоимостные модели экономической динамики для решения следующих задач.

**Оценка вероятности выполнения проекта в заданное время.** В основу логистической модели для вероятностного описания процесса создания ВТП положена зависимость стоимости затрат по жизненному циклу проекта от интенсивности его реализации:

$$C(t) = C_{np} \left( \frac{t}{T} \right)^a \exp \left[ a \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right],$$

$$0 < t \leq T, \quad (2)$$

где  $C(t)$  – объем финансовых ресурсов, затраченных на реализацию проекта в момент времени  $t$ ;

$C_{np}$  – стоимость проекта;

$T$  – срок реализации проекта;

$a > 0$  – интенсивность реализации проекта.

Согласно данной модели объем финансовых ресурсов на реализацию проекта монотонно возрастает от нуля до величины  $C_{np}$ , при  $t = T$ .

При этом характер зависимости  $C(t)$  определяет величина параметра  $a$ . Формула (2) может быть использована для оценки вероятности реализации проекта за время  $t$ , если принять  $C_{пр} = 1$ , а вместо времени  $T$  принять максимально возможное время реализации проекта  $T_{\max}$ . Тогда формула для оценки вероятности реализации проекта за время  $Q < t$  будет иметь следующий вид:

$$p(t) = P(Q < t) \left( \frac{t}{T_{\max}} \right)^a \exp \left[ a \left( 1 - \frac{t}{T_{\max}} \right) \right],$$

$$0 < t \leq T_{\max}, \quad (3)$$

где  $p(t)$  – вероятность реализации проекта за время  $t$ ;

$Q$  – текущее время реализации проекта.

В данной модели основным параметром, регулирующим экономическую динамику (регулятором), является параметр  $a > 0$  – интенсивность выполнения проекта. Поскольку определение параметра  $a$ , а также времени выполнения проекта  $T_{\max}$ , по данным экспертов и статистики проектирования ВТП, является сложной научной задачей, то представляется целесообразным использовать упрощенную математическую модель экономической динамики, представленную далее.

**Оценка вероятности реализации проекта с учетом производительности труда разработчиков.** В предлагаемой модели время реализации проекта пропорционально оставшемуся объему работ и производительности труда разработчиков. Такое предположение базируется на опыте проведения проектно-конструкторских работ по созданию высокотехнологичной продукции. Если представить относительный объем выполненных работ как вероятность реализации проекта, то экономическую динамику можно описать следующим уравнением:

$$\frac{dp(t)}{dt} = ka(t)(1-p(t)), \quad (4)$$

где  $k > 0$  – коэффициент пропорциональности.

При начальном условии  $p(t=0) = p_0$  решение уравнения (4) будет иметь следующий вид:

$$p(t) = (1 - p_0) \exp \left( - \int_0^t ka(t) dt \right), \quad (5)$$

где  $p_0$  – начальный уровень реализации проекта по созданию ВТП.

В уравнении (5) параметр  $a(t)$  характеризует интенсивность реализации проекта и связан с производительностью труда работников. Для определения параметра  $a(t)$  целесообразно использовать функцию Кобба – Дугласа, описывающую деятельность организации оборонно-промышленного комплекса, занятой производством ВТП:

$$Y = AK^b S^{1-b}, \quad (6)$$

где  $Y$  – стоимость продукции;

$A > 1$  – коэффициент, характеризующий уровень инновационности реализуемого проекта, повышающий его стоимостную оценку по сравнению с аналогами (прототипами);

$K$  – производственные фонды организации (здания, цеха, производственные линии, высокотехнологичное оборудование) в стоимостном выражении;

$b$  – показатель, характеризующий степень влияния производственных факторов на объем выпускаемой продукции;

$S$  – заработная плата работников (для этапа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ).

Успешность реализации проекта по созданию ВТП с экономической точки зрения определяется его рентабельностью:

$$R = Y / C_{пр}. \quad (7)$$

Чем выше рентабельность проекта, тем успешнее реализуется проект. Если  $R < 1$ , то проект является убыточным, а его выполнение не может быть признано успешным. Поэтому для оценки времени реализации проекта используем выражение, которое учитывает его текущую рентабельность:

$$a = \frac{dY}{Cdt} = bm \frac{Y}{C}, \quad (8)$$

где  $m$  – интенсивность изменения производственных фондов предприятия – разработчика ВТП.

Из выражения (8) следует, что с ростом уровня квалификации персонала предприятия – разработчика ВТП, объема и стоимости производственных фондов, рентабельности проекта повышается производительность труда, а значит, и вероятность успешной реализации проекта за заданное время. Для убыточного проекта вероятность его успешной реализации  $p(T)$  за заданное время всегда будет меньше единицы.

**Оценка вероятности реализации проекта с максимальной рентабельностью.** В данной модели оценка вероятности выполнения проекта по созданию ВТП с заданной вероятностью  $p(T)$  за время  $T$   $p(T; a) \geq p(T)$  при фиксированном бюджете  $C$  осуществляется на основе достижения максимальной рентабельности:

$$R(b, w, p(t)) \rightarrow \max_{b, w}, \quad (9)$$

где  $w$  – доля от бюджета проекта, приходящаяся на оплату труда научных, инженерных и конструкторских кадров, выполняющих работы по созданию ВТП.

Решение сформулированной задачи может быть найдено с использованием методов нелинейного программирования. Для практического решения рассматриваемой задачи необходимо найти зависимость между величиной заработной платы и параметрами регулирования процесса создания проекта. Для исключения зависимости рассматриваемых параметров задачи от численности сотрудников  $N$  целесообразно ввести удельные показатели  $C/N$ ,  $K/N$ ,  $Y/N$ , не оказывающие влияния на суть и результат решаемой задачи. На практике иногда встречаются ситуации, когда на достижение требуемых характеристик выпускаемой продукции требуется дополнительное время, новые технические решения, оборудование и

материалы. Влияние данных факторов целесообразно учесть корректировкой стоимости проекта  $C_{пр}$  и параметра интенсивности его реализации  $a$ .

### **Инструментарий оптимизации управления процессом создания высокотехнологичной продукции в условиях недостаточности финансирования проекта**

В процессе создания ВТП часто по тем или иным причинам возникает ситуация, когда реальное финансирование оказывается значительно меньшим, чем было запланировано. В этом случае перед разработчиками ВТП возникает задача по распределению ограниченных финансовых ресурсов по этапам создания высокотехнологичной продукции (или составным частям высокотехнологичной продукции), что предполагает использование стоимостных моделей экономической динамики. Математическая постановка данной задачи состоит в следующем: известны  $C$  ( $C = C_1, C_2, \dots, C_N$ ) – объемы финансовых затрат по  $N$  этапам создания ВТП;  $y_i$  – коэффициент значимости каждого этапа, численно равный относительной стоимости реализации соответствующего этапа:

$$y_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^N C_i}, \quad (i = \overline{1, N}). \quad (10)$$

Практика показывает, что в ходе реализации проектов реальный объем финансирования  $C_F$  оказывается меньше запланированного

$$C_F \leq C_P = \sum_{i=1}^N C_i.$$

Требуется найти такое распределение выделенного объема финансовых ресурсов  $C_F$ , чтобы все работы по созданию продукции были выполнены в полном объеме и в установленные сроки. В случае взаимосвязанных этапов создания высокотехнологичной продукции оптимальная стратегия  $S^*$  управления экономической динамикой создания ВТП устанавливается на основе максимизации целевой функции:

$$S^*(x_1, x_2, \dots, x_N) \Rightarrow \max \sum_{i=1}^N y_i x_i; \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^N y_i x_i \leq C_F, \quad (12)$$

где  $y_i$  – относительная доля реализованной сметной стоимости проекта при выделенных объемах его финансирования;  $x_i = 1$ , если  $i$ -й этап проекта реализуется при выделенных объемах финансирования,  $x_i = 0$  – в противном случае.

Поиск оптимальной стратегии управления экономической динамики сводится к определению значений булевых переменных  $x_i$  ( $x_1, x_2, \dots, x_N$ ), при которых достигается максимум целевой функции (11) при условии (12). Решение рассматриваемой задачи может быть осуществлено с использованием алгоритма типа «дерева поиска» [21]. Для реализации предлагаемого алгоритма все этапы проекта упорядочиваются по важности  $y_1 \geq y_2 \geq \dots \geq y_N$ . Далее каждой переменной  $x_i$ , начиная с  $x_1$ , присваивается значение «1» до момента нарушения условия (12). Набор данных переменных будет результатом решения исходной задачи. Для независимых этапов создания ВТП оптимальная стратегия  $S^*$  управления экономической динамикой устанавливается на основе минимизации целевой функции в виде среднего квадрата отклонения реально выделенного объема ресурсов от запланированного объема:

$$S^*(y_1^*, y_2^*, \dots, y_N^*) \Rightarrow \min \sum_{i=1}^N (C_i - y_i^* C_F)^2 \quad (13)$$

при следующих ограничениях:

$$y_i^* \geq 0; \quad \sum_{i=1}^N y_i^* = 1, \quad (14)$$

где  $y^* = (y_1^*, y_2^*, \dots, y_N^*)$  – вектор распределения финансовых ресурсов для новых условий финансирования.

Новый вектор распределения финансовых ресурсов находится из условия минимума целевой функции (13) при ограничениях (14).

Для этого составляем функцию Лагранжа и находим ее минимум по  $y_i^*$  и  $l$ :

$$L(y_1^*, y_2^*, \dots, y_N^*; l) = S^*(y_1^*, y_2^*, \dots, y_N^*) + l \left( 1 - \sum_{i=1}^N y_i^* \right). \quad (15)$$

Из системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{dL}{dy_i} = 0 \\ \frac{dL}{dl} = 0 \end{cases} \quad (16)$$

получаем

$$y_i^* = \frac{1}{N} + \left( y_i - \frac{1}{N} \right) / q, \quad (17)$$

где  $q = C_F / C_N$  – относительный объем финансирования.

Для выполнения условия  $y_i^* \geq 0$  необходимо, чтобы объем финансирования был не ниже допустимого уровня  $q \geq \max(1 - Ny_i) = q$ . При объеме финансирования  $q$  ниже допустимого уровня значение  $y_i^*$  будет меньше 0. В данном случае задача не имеет решения для всех этапов проекта. Поэтому один из них должен быть исключен, а соответствующий коэффициент  $y_i^*$  принят равным нулю. После этого необходимо произвести пересчет коэффициентов важности остальных этапов проекта. Расчетная методика на основе приведенных моделей регулирования экономической динамики может быть использована для обоснования требуемых объемов финансовых средств на планирование и практическую реализацию комплекса мероприятий по созданию ВТП.

### Пример использования разработанного инструментария на практике

Рассмотрим гипотетическое изделие высокотехнологичной продукции, создание которого предполагается осуществить в четыре взаимосвязанных этапа. Запланированный объем финансирования на реализацию проекта составляет 200 у.е.

Значения запланированных объемов финансирования по этапам создания образца ВТП и коэффициенты значимости этапов представлены в *табл. 2*.

Однако в ходе реализации проекта выделенный объем финансирования оказался меньше запланированного и составил 180 у.е. Необходимо найти такое распределение выделенного объема финансовых ресурсов, чтобы все работы по созданию ВТП были выполнены в полном объеме и в установленные сроки.

Решение задачи осуществляется с использованием алгоритма типа «дерева поиска» [21]. Все этапы создания ВТП упорядочиваются по важности: этап 3 (важность – 0,4)  $\geq$  этап 2 (важность – 0,25)  $\geq$  этап 1 (важность – 0,2)  $\geq$  этап 4 (важность – 0,15).

В рассматриваемом примере оптимальная стратегия  $S^*$  управления экономической динамикой создания ВТП устанавливается на основе максимизации целевой функции (11) при условии (12). Результаты расчетов представлены в *табл. 3*.

Таким образом, оптимальная стратегия управления экономической динамикой создания ВТП заключается в последовательном выполнении работ, предусмотренных в рамках этапов 3, 2, 1 в полном объеме и в установленные сроки, а оставшиеся ресурсы могут быть использованы на выполнение отдельных работ в рамках четвертого этапа.

### Результаты исследования

При проведении исследования установлено, что существующие модели оптимизации финансирования процесса создания ВТП носят весьма разрозненный характер, опираются на различные исходные данные и не позволяют дать комплексную оценку возможности выполнения НИОКР по ее созданию в течение заданного времени, особенно в условиях риска. Поэтому был учтен ряд специфических особенностей создания ВТП: уникальность разработки критических технологий и технических

решений, высокая степень производственного и технологического рисков, отсутствие образцов-аналогов, универсальный характер большинства используемых технологий и др. В результате установлены виды рисков, которые необходимо учитывать при выборе модели регулирования экономической динамики ВТП, основными из которых являются:

- финансово-экономический риск (возможность недостаточного финансирования разработок высокотехнологичной продукции и превышения фактических затрат над запланированными и др.);
- научно-технический риск (возможность невыполнения организациями – разработчиками ВТП технических требований, прекращение работ по научно-техническим причинам и др.);
- производственно-технологический риск (старение производственных фондов, износ технологических линий, утрата важнейших технологий производства и др.).

С учетом установленных особенностей и факторов риска предложены модели управления экономической динамикой ВТП, базирующиеся на принципах самоорганизации (вероятностные и стоимостные модели), и разработана комплексная модель управления экономической динамикой ВТП. В основу комплексной модели положены частные модели, позволяющие определить:

- вероятность реализации проекта за заданное время  $p(T)$ ;
- вероятность реализации проекта с учетом производительности труда разработчиков  $p(a)$ ;
- вероятность реализации проекта с максимальной рентабельностью  $p(R_{\max})$ ;
- оптимальную стратегию управления экономической динамикой для независимых и взаимосвязанных этапов создания высокотехнологичной продукции  $S^*$ .

С учетом регуляторов  $p(T)$ ,  $p(a)$ ,  $p(R_{\max})$ ,  $S^*$  выбирается оптимальная стратегия



экономической динамики создания ВТП, обеспечивающая рациональное использование бюджетных средств, минимизацию рисков и временных затрат. Предложенная комплексная модель управления экономической динамикой направлена на технико-экономическое обоснование требуемых значений показателей ВТП и может найти широкое применение в различных отраслях российской экономики. Она позволяет выбирать необходимый вид модели в условиях риска и соответствующие параметры регулирования.

### Выводы

В данном случае процесс создания ВТП представлен как многоэтапный многоконтурный процесс, базирующийся на сформулированных принципах самоорганизации:

- множественности моделей создания ВТП, имеющих различные значения относительной

длительности этапа и объема выполняемых работ (принцип множественности решений);

- преобразования ВТП на каждом этапе ее создания на основе исходных данных, поступающих от предшествующего этапа и в соответствии с требованиями – критериями, предъявляемыми последующим этапом (принцип внешнего дополнения);
- многоэтапности выбора оптимальной стратегии регулирования экономической динамики с достаточной свободой выбора рациональных решений на каждом предыдущем этапе (принцип неокончательных решений).

Основным принципом дальнейшего совершенствования методического инструментария регулирования экономической динамики ВТП должно стать достижение минимума затрат и (или) максимума эффективности при заданных затратах.

**Таблица 1**

**Характеристика основных этапов создания высокотехнологичной продукции**

**Table 1**

**Characteristics of the main stages of high-tech product creation**

Характеристика	Этап 1. Научно-исследовательские и экспериментальные работы	Этап 2. Эскизный проект	Этап 3. Технический проект	Этап 4. Изготовление опытных образцов и их испытания	Этап 5. Разработка рабочей конструкторской документации и ее корректировка после испытаний
Относительная длительность этапа	0,05–0,07	0,1–0,12	0,2–0,3	0,6–0,66	0,03–0,05
Объем выполнения проекта	0,12–0,15	0,15–0,22	0,3–0,35	0,4–0,45	0,05–0,07

*Источник:* авторская разработка

*Source:* Authoring

**Таблица 2**  
Исходные данные для расчетов

**Table 2**  
Input data for calculations

Показатель	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4
Запланированный объем финансирования, у.е.	40	50	80	30
Коэффициент значимости этапа	0,2	0,25	0,4	0,15

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

**Таблица 3**  
Результаты расчетов

**Table 3**  
The results of calculations

Показатель	Этап 3	Этап 2	Этап 1	Этап 4
Запланированный объем финансирования по этапам, у.е.	80	50	40	30
Коэффициент значимости этапа	0,4	0,25	0,2	0,15
Запланированный объем финансирования, у.е.	180			
Результат максимизации целевой функции (11)	80	130	170	200
Оценка выполнения условия (12)	Выполняется	Выполняется	Выполняется	Не выполняется

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

## Список литературы

1. Беленький В.З. Оптимизационные модели экономической динамики: Беллмановский подход. Понятийный аппарат. Одномерные модели. М.: Наука, 2007. 259 с.
2. Знаменский В.В., Вагина Е.В. Феномены, оказывающие отрицательное влияние на экономическую динамику // Управление риском. 2013. № 2. С. 9–18.
3. Воронов А.А. Методология геополитического анализа теоретического и метатеоретического уровней в контексте влияния на экономическую динамику национальных экономических систем // Перспективы науки. 2015. № 4. С. 154–157.  
URL: <http://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/67/science-prospect-4%2867%29-main.pdf>
4. Копотева А.В. К моделированию вклада научно-технического прогресса в экономическую динамику // Фундаментальные исследования. 2008. № 7. С. 116–117.  
URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=3546>
5. Хрусталёв Е.Ю., Хрусталёв О.Е. Моделирование жизненного цикла программы создания наукоемкой продукции // Экономический анализ: теория и практика. 2012. № 16. С. 2–12.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/modelirovanie-zhiznennogo-tsikla-programmy-sozdaniya-naukoemkoj-produktsii>

6. Клочков В.В., Дутов А.В. Модель управления прикладными исследованиями и разработками в наукоемкой промышленности // *Экономический анализ: теория и практика*. 2012. № 35. С. 9–17. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-upravleniya-prikladnymi-issledovaniyami-i-razrabotkami-v-naukoemkoj-promyshlennosti>
7. Буренок В.М., Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Оценка стоимостных показателей высокотехнологичной продукции. М.: Граница, 2012. 424 с.
8. Batkovskiy A.M., Leonov A.V., Pronin A.Yu. et al. Models of Economic Evaluation of High-Tech Products. *Indian Journal of Science and Technology*, 2016, vol. 9, iss. 28, pp. 230–241. URL: <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/97660>
9. Лебедев В.В., Лебедев К.В. Математическое и компьютерное моделирование экономики. М.: НБТ-Дизайн, 2002. 256 с.
10. Багриновский К.А., Бендиков М.А., Хрусталёв Е.Ю. Современные методы управления технологическим развитием. М.: Российская политическая энциклопедия, 2001. 272 с.
11. Boer P.F. *The Valuation of Technology: Business and Financial Issues in R&D. Operations Management Series*. Published by Wiley, 1999, 432 p.
12. Morris L., Ma M., Wu P.C. *Agile Innovation: The Revolutionary Approach to Accelerate Success, Inspire Engagement, and Ignite Creativity*. John Wiley & Sons, 2014, 400 p.
13. Wingate L.M. *Project Management for Research and Development: Guiding Innovation for Positive R&D Outcomes. Series: Best Practices and Advances in Program Management*. CRC Press, 2013, 517 p.
14. Keeley L., Walters H., Pikkell R. *Ten Types of Innovation: The Discipline of Building Breakthroughs*. John Wiley & Sons, 2013, 276 p.
15. Harris D., Villadsen B., Kolbe L., Vilbert M.J. *Risk and Return for Regulated Industries*. Elsevier Academic Press, 2017, 354 p.
16. Ries E. *The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses*. Crown Business, 2011, 299 p.
17. Christensen Clayton M. *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Boston, MA, Harvard Business Review Press, 1997, 239 p.
18. Dodgson M., Gann D.M., Salter A. *The Management of Technological Innovation: Strategy and Practice*. Oxford University Press, 2008, 373 p.
19. Tidd J., Bessant J. *Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change*. John Wiley & Sons, 2013, 680 p.
20. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. М.: ПМСОФТ, 2005. 206 с.
21. Бородакий Ю.В., Авдонин Б.Н., Батьковский А.М., Кравчук П.В. Моделирование процесса разработки наукоемкой продукции в оборонно-промышленном комплексе // *Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Электронная вычислительная техника*. 2014. № 2. С. 21–34. URL: <https://www.radioprom.org/jour/article/view/115/0>

### **Информация о конфликте интересов**

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

## OPTIMIZING THE USE OF FINANCIAL FUNDS ALLOCATED FOR HIGH-TECH PRODUCT DEVELOPMENT

Aleksandr M. BAT'KOVSKII <sup>a\*</sup>, Aleksandr V. LEONOV <sup>b</sup>, Aleksei Yu. PRONIN <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation  
batkovsky@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5145-5748>

<sup>b</sup> 46th Central Research Institute of RF Ministry of Defense, Moscow, Russian Federation  
alex.clein51@yandex.ru  
ORCID: not available

<sup>c</sup> 46th Central Research Institute of RF Ministry of Defense, Moscow, Russian Federation,  
pronin46@bk.ru  
ORCID: not available

\* Corresponding author

### Article history:

Received 9 August 2018  
Received in revised form  
18 September 2018  
Accepted 22 November 2018  
Available online  
30 January 2019

**JEL classification:** B41,  
C41, C51, C65, L51

**Keywords:** financing, tool,  
model, high-technology  
products

### Abstract

**Subject** The article considers economic and mathematical tools enabling to optimize the use of financial resources allocated for high-tech product development. The forecast evaluation of project results is possible only at the probabilistic level due to the high degree of uncertainty caused by a variety of random factors.

**Objectives** The aim of the study is to develop a universal economic and mathematical toolkit to streamline the use of financial resources allocated for high-tech products creation in a risk environment on the basis of the self-organization principle. The toolkit should provide an opportunity to adjust the funding plan and cost estimates for high-tech product project.

**Methods** We employ methods of logical and statistical analysis, the economic-mathematical modeling, game theory, fuzzy logic and expert estimations.

**Results** We considered theoretical approaches to economic dynamics regulation, defined principles of self-organization in models of economic dynamics of high-tech production, developed models to optimize the financing process of product creation, offered a complex model of economic dynamics regulation, and estimated the possibility of its use at the stages of high-tech product development.

**Conclusions** If applied in practice, the offered models enable to perform technical and economic evaluation of various options of high-tech product creation and choose those ones that ensure the optimal use of financial resources.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2018

**Please cite this article as:** Bat'kovskii A.M., Leonov A.V., Pronin A.Yu. Optimizing the Use of Financial Funds Allocated for High-Tech Product Development. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2019, vol. 18, iss. 1, pp. 164–178.  
<https://doi.org/10.24891/ea.18.1.164>

### Acknowledgments

The article was supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant No. 16-06-00028.

### References

1. Belen'kii V.Z. *Optimizatsionnye modeli ekonomicheskoi dinamiki: Bellmanovskii podkhod. Ponyatiinyi apparat. Odnomernye modeli* [Optimization models of economic dynamics: The Bellman approach. Conceptual framework. One-dimensional models]. Moscow, Nauka Publ., 2007, 259 p.

2. Znamenskii V.V., Vagina E.V. [Phenomena that have a negative impact on economic dynamics]. *Upravlenie riskom = Risk Management*, 2013, no. 2, pp. 9–18. (In Russ.)
3. Voronov A.A. [Methodology of the Geopolitical Analysis of Theoretical and Metatheoretical Levels in the Context of Influence of National Economic Systems on Economic Dynamics]. *Perspektivy nauki = Science Prospects*, 2015, no. 4, pp. 154–157.  
URL: <http://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/67/science-prospect-4%2867%29-main.pdf> (In Russ.)
4. Kopoteva A.V. [On modeling the contribution of scientific and technological progress to economic dynamics]. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*, 2008, no. 7, pp. 116–117.  
URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=3546> (In Russ.)
5. Khrustalev E.Yu., Khrustalev O.E. [Modeling of life cycle of the program of creation of the knowledge-intensive production] *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2012, no. 16, pp. 2–12.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/modelirovanie-zhiznennogo-tsikla-programmy-sozdaniya-naukoemkoy-produktsii> (In Russ.)
6. Klochkov V.V., Dutov A.V. [Management model applied research and development in knowledge-based industry]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2012, no. 35, pp. 9–17. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-upravleniya-prikladnymi-issledovaniyami-i-razrabotkami-v-naukoemkoy-promyshlennosti> (In Russ.)
7. Burenok V.M., Lavrinov G.A., Podol'skii A.G. *Otsenka stoimostnykh pokazatelei vysokotekhnologichnoi produktsii* [Estimating the cost indexes of high-tech products]. Moscow, Granitsa Publ., 2012, 424 p.
8. Batkovskiy A.M., Leonov A.V., Pronin A. Yu. et al. Models of Economic Evaluation of High-Tech Products. *Indian Journal of Science and Technology*, 2016, vol 9, iss. 28, pp. 230–241.  
URL: <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/97660>
9. Lebedev V.V., Lebedev K.V. *Matematicheskoe i komp'yuternoe modelirovanie ekonomiki* [Mathematical and computer modeling of the economy]. Moscow, NVT-Dizain Publ., 2002, 256 p.
10. Bagrinovskii K.A., Bendikov M.A., Khrustalev E.Yu. *Sovremennye metody upravleniya tekhnologicheskim razvitiem* [Modern methods of technological development management]. Moscow, Rossiiskaya politicheskaya entsiklopediya Publ., 2001, 272 p.
11. Boer P.F. *The Valuation of Technology: Business and Financial Issues in R&D*. Operations Management Series. Wiley, 1999, 432 p.
12. Morris L., Ma M., Wu P.C. *Agile Innovation: The Revolutionary Approach to Accelerate Success, Inspire Engagement, and Ignite Creativity*. John Wiley & Sons, 2014, 400 p.
13. Wingate L.M. *Project Management for Research and Development: Guiding Innovation for Positive R&D Outcomes*. Series: Best Practices and Advances in Program Management. CRC Press, 2013, 517 p.
14. Keeley L., Walters H., Pikkell R. *Ten Types of Innovation: The Discipline of Building Breakthroughs*. John Wiley & Sons, 2013, 276 p.
15. Harris D., Villadsen B., Kolbe L., Vilbert M.J. *Risk and Return for Regulated Industries*. Elsevier Academic Press, 2017, 354 p.

16. Ries E. *The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses*. New York, Crown Business, 2011, 299 p.
17. Christensen Clayton M. *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Boston, MA, Harvard Business Review Press, 1997, 239 p.
18. Dodgson M., Gann D.M., Salter A. *The Management of Technological Innovation: Strategy and Practice*. Oxford University Press, 2008, 373 p.
19. Tidd J., Bessant J. *Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change*. John Wiley & Sons, 2013, 680 p.
20. Matveev A.A., Novikov D.A., Tsvetkov A.V. *Modeli i metody upravleniya portfelyami proektov* [Models and methods of project portfolio management]. Moscow, PMSOFT Publ., 2005, 206 p.
21. Borodakii Yu.V., Avdonin B.N., Bat'kovskii A.M., Kravchuk P.V. [Modeling of the process of developing high-tech products in the military-industrial complex]. *Voprosy radioelektroniki = Radio Industry*, 2014, no. 2, pp. 21–34. URL: <https://www.radioprom.org/jour/article/view/115/0> (In Russ.)

### **Conflict-of-interest notification**

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.