

А.И. Буравлев, доктор технических наук,
наук, профессор

Управление высокотехнологичными проектами на стадии НИОКР

В статье рассмотрена модель управления проектом на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). Именно эта стадия обладает наибольшей неопределенностью с точки зрения будущей реализации проекта. Предложена вероятностная модель реализации НИОКР, агрегированный параметр которой связан с производственными возможностями проектной организации. Модель позволяет производить анализ и оптимизацию расходов на выполнение НИОКР при заданном уровне риска и производственных возможностях проектной организации.

Введение

Россия вступила в очередную фазу экономического кризиса, вызванного не столько падением курса рубля на мировом рынке и санкциями, предъявленными Западом миром России в связи с событиями на Украине. Причины кризиса в другом, а именно, в сырьевой направленности российской экономики, зависящей от экспорта газа и нефти и, соответственно, от цен на энергоносители.

Сырьевая направленность экономики, низкий уровень промышленного производства, технологическое отставание, неэффективная промышленная политика – основная причина низкой производительности труда и конкурентоспособности отечественной продукции [1].

Будущее России состоит только в технологическом развитии [2]. Этот рывок Россия может сделать, если будут реализованы инновационные формы и методы управления экономикой [3, 4]. Одним из таких направлений является проектное управление, которое позволяет сосредоточить усилия и необходимые ресурсы на ключевых направлениях развития экономики и создавать эффективные «точки роста» в различных ее секторах.

Теория и практика проектного управления хорошо разработана и успешно используется в зарубежных корпорациях [5]. Есть положительные примеры реализации проектного управления в нашей стране [6-8].

Вместе с положительными результатами отмечаются и недостатки проектного управления, которые связаны, прежде всего, с организацией такого управления. В перечень «приоритетных» часто попадают проекты, имеющие недостаточное технико-экономическое обоснование, а исполнители таких проектов зачастую не обладают необходимым научно-техническим, технологическим и производственным потенциалом. В результате затрачиваются немалые финансовые и материальные ресурсы, время, а эффективность таких проектов близка к нулю.

Определенную роль в таком результате играет то, что как в теории, так и в практике проектного управления недостаточно разработаны надежные методы технико-экономической оценки реализуемости проектов, особенно в части создания новой высокотехнологичной продукции. Как правило, технико-экономическая оценка охватывает только организационную и финансовую сторону проекта, управление финансовыми потоками [9, 10].

Всякое «ноу-хау» в значительной степени обязано интеллектуальному труду ученых, инженеров-изобретателей, специалистов высшей квалификации. Проблема объективной оценки результатов интеллектуального труда в процессе создания материального продукта пока далека от решения. Наверное, в том числе и поэтому доля интеллектуальной собственности в стоимости отечественного биз-

неса составляет всего лишь 10%, что в 2,5 раза ниже предельного критического значения, а удельный вес российской высокотехнологической продукции на мировом рынке составляет 0,3%, что в 10 раз ниже предельного критического уровня [4].

Базовой основой проекта создания нового промышленного изделия являются научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР). От полноты и качества выполнения НИОКР зависит будущее проекта и самого изделия.

В данной статье рассматривается методический подход к оценке реализуемости

научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) при создании высокотехнологичной продукции с учетом не только финансовой, но и производственно-технологической составляющей.

Модель управления НИОКР

Жизненный цикл проекта, связанного с созданием промышленного изделия, представляет собой последовательность стадий (этапов), начиная от формирования облика изделия до завершения его эксплуатации и последующей утилизацией (рисунок 1).

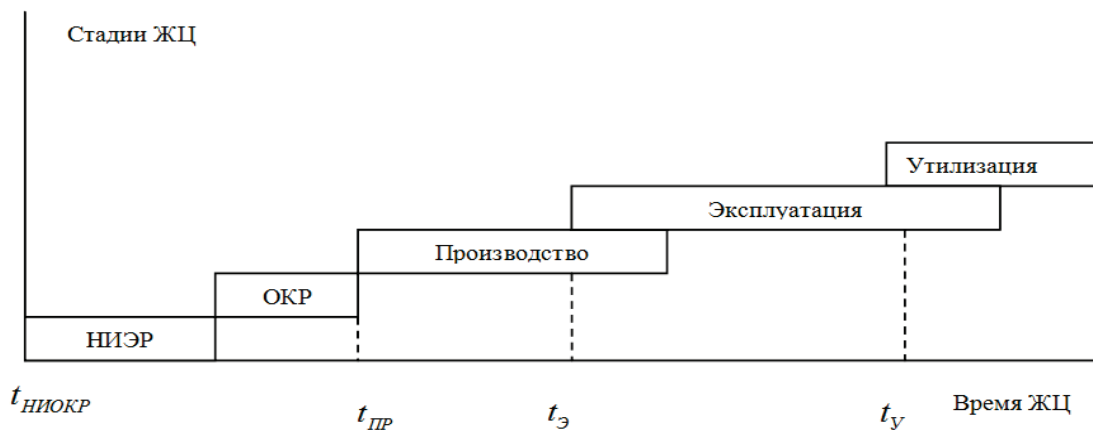


Рисунок 1 – Жизненный цикл изделия

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы являются первоначальной стадией проекта, в процессе которых осуществляется обоснование облика и целесообразности разработки изделия.

Стадия НИОКР реализуется в два этапа. На первом этапе проводятся научно-исследовательские и экспериментальные работы (НИЭР) по обоснованию технико-экономических требований к изделию, исследованию рынка, обоснование принципов и возможных вариантов его создания. На этом этапе вместе с формированием облика будущего изделия разрабатывается концепция его сервисного обслуживания, путей и методов обеспечения его надежности и безопасности в процессе эксплуатации.

Результатом работы на данном этапе является разработка проекта технического задания на опытно-конструкторские работы.

На этапе ОКР разрабатывается эскизный и технический проекты, реализующие конструктивно и технологически обоснованный облик будущего изделия. На этом этапе решаются задачи по обеспечению требований к техническому ресурсу, характеристик безотказности, контролепригодности и ремонтпригодности изделия, разрабатываются необходимые средства сервисного обслуживания изделия в процессе его эксплуатации. В процессе ОКР разрабатывается рабочая конструкторская и технологическая документация, изготавливаются опытные образцы, проводятся их предварительные и приемо-сдаточные испытания.

Полнота и качество НИОКР играет главенствующую роль в последующей реализации проекта. Все недостатки и просчеты, допущенные на этом этапе, неизбежно будут трансформированы на последующие стадии – производство и эксплуатацию изделия.

Вместе с тем ожидаемые результаты НИОКР всегда содержат элемент неопределенности. Во-первых, потому что они всегда связаны с применением новых конструктивных и технологических решений, внедрение которых содержит элемент случайности. Во-вторых, результат интеллектуального труда ученых, инженеров, изобретателей, создающих «ноу-хау» не может быть предсказан однозначно. В-третьих, в выполнении НИОКР участвует большое количество исполнителей, занимающихся разработкой составных частей изделия. И не всегда сроки и объемы выполнения их работ удастся точно скоординировать по времени. Поэтому ожидаемый к определенному времени результат имеет вероятностный характер.

Для получения с высокой вероятностью требуемых результатов в ходе выполнения НИОКР важную роль играет обеспеченность проекта кадровыми, материальными, информационными и финансовыми ресурсами. Каждый из этих видов ресурсов имеет свой вклад в ожидаемый результат работы, повышая или снижая вероятность его получения. Немаловажный вклад в результат интеллектуального труда вносит организация труда, профессиональный уровень сотрудников, наличие творческой атмосферы в научном коллективе.

Анализ статистики разработки проектов по различным промышленным изделиям показывает, что существует определенная закономерность в выполнении проекта.

В таблице 1 приведены средние значения по относительной длительности этапов НИОКР и объема их выполнения относительно стоимости проекта. На рисунке 2 приведены диаграммы распределения объемов работ по этапам проекта.

Таблица 1 – Средние значения длительности этапов НИОКР и объема их выполнения относительно стоимости проекта

Этапы НИОКР	НИЭР	Эскизный проект	Технический проект	Изготовление опытных образцов и их испытания	Корректировка РКД после испытаний
Относительная длительность этапа	0,05..0,07	0,1..0,12	0,6..0,7	0,7..0,76	0,03..0,05
Объем выполнения проекта	0,12..0,15	0,15..0,22	0,3..0,35	0,3..0,35	0,05..0,07

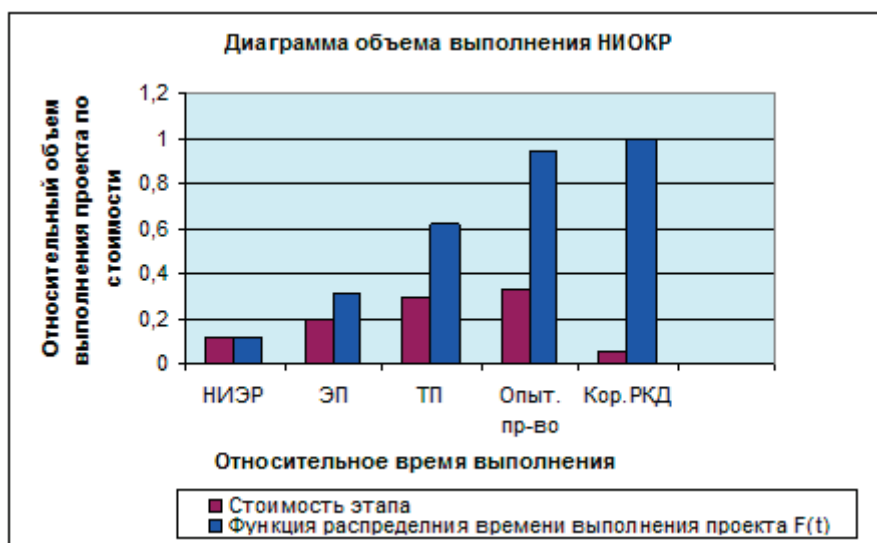


Рисунок 2 – Диаграммы объема работ по этапам НИОКР

Из диаграммы видно, что статистическое распределение относительных объемов работ напоминает *логистическое* распределение.

Это распределение часто наблюдается в экономике, производстве, технике [12]. Используем логистическую модель для вероятностного описания процесса создания высокотехнологической продукции. Характеристикой процесса является случайное время выполнения проекта θ с определенной вероятностью за время t .

В работах [6, 11] рассмотрена модель управления стоимостью затрат по жизненному циклу проекта на основе логистической

зависимости, которая задается следующим выражением:

$$C(t) = C_{пр} \left(\frac{t}{T} \right) \exp \left[\alpha \left(1 - \frac{t}{T} \right) \right]; \quad 0 < t \leq T, \quad (1)$$

где $C_{пр}$ – стоимость проекта;
 T – заданный срок выполнения проекта;
 $\alpha > 0$ – интенсивность выполнения проекта.

Согласно зависимости (1) стоимость затрат на проект монотонно возрастает от нуля до величины $C_{пр}$ при $t = T$. Характер зависимости $C(t)$ зависит от величины параметра α , характеризующего интенсивность труда. На рисунке 3 показаны графики зависимости (1) от параметра α .

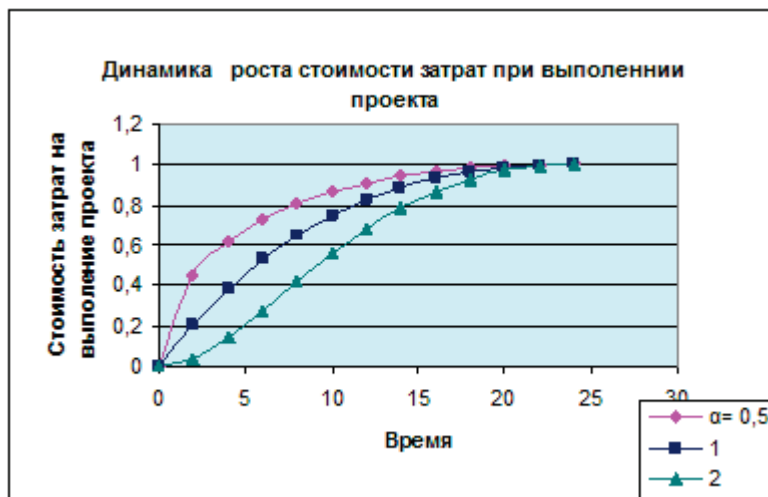


Рисунок 3 – Динамика роста стоимости затрат при выполнении проекта

В качестве недостатка модели (1) следует указать, что на момент открытия проекта произвести точный расчет стоимости затрат $C_{пр}$ на проект является делом практически невозможным. За время выполнения проекта изменяется конъюнктура цен на материалы и комплектующие, происходят различные задержки в темпах выполнения работ, возникают неизбежные проектные ошибки, требующие дополнительных затрат на их исправление.

Вместе с тем эта модель может быть использована для оценки вероятности выполнения проекта за заданное время, если в выражении (1) принять $C_{пр} = 1$, а вместо времени T рассматривать максимально возможное время выполнения проекта T_{max} с учетом всех возможных задержек. Выражение для вероятности выполнения проекта за время t будет иметь вид:

$$p(t) = P(\theta < t) = \left(\frac{t}{T_{max}} \right) \exp \left[\alpha \left(1 - \frac{t}{T_{max}} \right) \right]; \quad 0 < t \leq T_{max}. \quad (2)$$

Модель содержит два параметра α, T_{max} , определение которых по данным экспертов и статистики проектно-конструкторской деятельности представляет определенную сложность. Кроме того, в модели предполагается, что при достижении времени T_{max} проект реализуется с вероятностью единица. Сам факт определения этого времени является проблемной задачей. Кроме того, на практике возможна ситуация, когда даже при максимально возможном времени T_{max} проект может быть не выполнен.

Рассмотрим более простую модель, в которой темп выполнения объема работ по проекту пропорционален оставшемуся объему работ и производительности труда α разработчиков проекта. Такое предположение вполне логично и соответствует практике проектно-конструкторских работ. Если интерпретировать относительный объем выполненных работ как вероятность выполнения проекта, то динамику изменения этой вероятности можно описать следующим выражением:

$$\frac{dp(t)}{dt} = k\alpha(t)[1-p(t)]. \tag{3}$$

где $k > 0$ – коэффициент пропорциональности.

Решение этого уравнения с начальным условием $p(t) = p_0$ при условии, что производительность труда α может зависеть от времени, имеет следующий вид:

$$p(t) = 1 - (1 - p_0) \exp\left(-\int_0^t k\alpha(\tau) d\tau\right). \tag{4}$$

Здесь p_0 характеризует начальный уровень проработки проекта (например, успешную защиту аванпроекта по результатам НИЭР и составляющего 5-10% от НИОКР).

Это типичная логистическая функция, в которой параметр $\alpha(t)$ характеризует интенсивность выполнения проекта с вероятностной точки зрения и связан с производительностью труда.

На рисунке 4 показана зависимость вероятности реализации проекта от времени работы для разных функций интенсивности $\alpha(t)$.

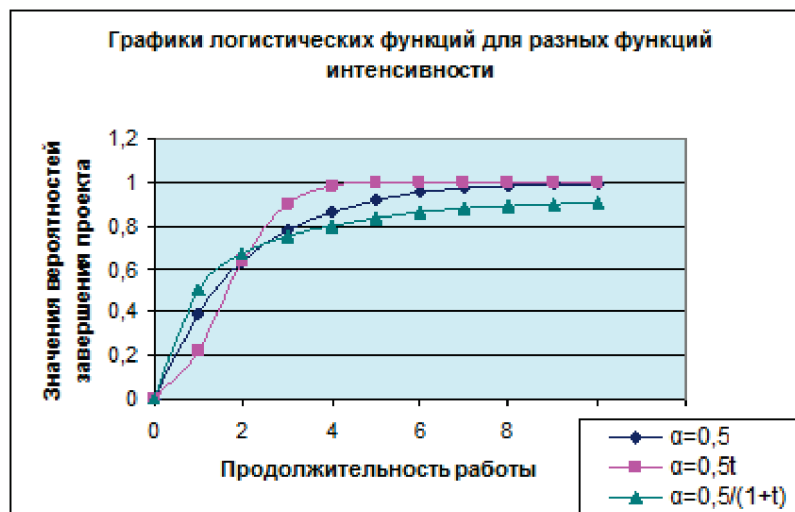


Рисунок 4 – Зависимость вероятности выполнения проекта от времени работы над ним

Для определения параметра $\alpha(t)$ используем производственную функцию Кобба-Дугласа, описывающую производственную деятельность проектной организации. Эта функция часто используется в микро- и ма-

кроэкономических исследованиях и имеет вид [12]:

$$Y = AK^\beta S^{1-\beta}, \tag{5}$$

где Y – стоимость произведенной продукции;

K – производственные фонды (здания, сооружения, приборы и оборудования, технологии, материалы) в стоимостном измерении;

S – оплата труда работников;

$0 \leq \beta \leq 1$ – показатель эластичности, характеризующий степень влияния производственных факторов на объем производства;

A – масштабный коэффициент, учитывающий уровень инновационности проекта и повышающий его стоимостную оценку по сравнению с аналогами (прототипами).

Для научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций ключевую роль играет численность n научных и инженерно-конструкторских кадров, выполняющих основную работу по созданию высокотехнологической продукции. Как показывает практика, доля этой группы работников $\frac{n}{N}$, где

N – общая численность проектной организации, оказывает существенное влияние на эффективность труда, использование оборудования и технологий, придает результатам труда инновационный характер. Поэтому логично предположить, что показатель β определяется именно долей работников высшей квалификации в составе производственного коллектива:

$$\beta = \frac{n}{N}. \quad (6)$$

При $n=1$, $\beta = \frac{1}{N}$ из (5) следует

$Y = AK^{\frac{1}{N}} S^{1-\frac{1}{N}} \approx AS$, т. е. отсутствие в составе рабочего коллектива высококвалифицированных работников (кроме одного – руководителя работ) приводит к результату, сопоставимому с уровнем оплаты труда работников. Такой случай соответствует самой примитивной организации труда, при которой практически не создается добавленной стоимости.

При $n=N$, $\beta=1$ результат труда составляет $Y=AK$ и является максимально возможным результатом. Такая организация соответствует наивысшей форме высокотехнологического труда.

Производная $\frac{dY}{dt}$ характеризует стоимостную производительность работ по проекту и с учетом (5) описывается выражением:

$$\frac{dY}{dt} = \beta \frac{Y}{K} \frac{dK}{dt} + (1-\beta) \frac{Y}{S} \frac{dS}{dt}. \quad (7)$$

Для этапа НИОКР оплата труда S составляет определенную долю ϑ от бюджета проекта $C_{пр}$:

$$S = \vartheta C_{пр}.$$

При постоянном бюджете $\frac{dS}{dt} = 0$.

Темп изменения производственных фондов K в процессе производства описывается дифференциальным уравнением, учитывающим потребление и восстановление производственных фондов [11]:

$$\frac{dK}{dt} = -\nu K + I,$$

где ν – интенсивность износа производственных фондов;

I – величина инвестиций на восстановление и развитие производственных фондов.

Полагая, что оставшаяся часть бюджета расходуется в качестве инвестиций $I = (1-\vartheta)C_{пр}$, получаем

$$\frac{dK}{K} = \mu dt, \quad (8)$$

где $\mu = -\nu + (1-\vartheta)\frac{C_{пр}}{K}$ – интенсивность изменения производственных фондов.

Для нормальной практики, не связанной с экономическими

правонарушениями, интенсивность роста производственных фондов μ является положительной величиной. В исключительных случаях и на отдельных временных интервалах допускается $\mu=0$. Однако, в среднем за время выполнения проекта $\mu > 0$.

Успешность выполнения проекта с экономической точки зрения определяется его рентабельностью:

$$R = \frac{Y}{C_{пр}}. \quad (9)$$

Чем выше рентабельность проекта, тем успешнее представляется проект. Если $R < 1$, то с экономической точки зрения проект является убыточным, а его выполнение не может быть признано успешным.

С учетом сказанного, для оценки темпа выполнения проекта используем следующее выражение:

$$\alpha = \frac{dY}{Cdt} = \beta \mu \frac{Y}{C}, \quad (10)$$

учитывающее текущую рентабельность проекта.

Из выражения (10) видно, что с ростом уровня квалификации персонала проектной организации, 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.

При заданном бюджете проекта $C_{пр}$ изменением параметров β, ϑ можно достигать различной добавленной стоимости Y , сроков T и вероятности $p(T)$ завершения проекта.

$$S(T) = [s_1 n + s_0 (N - n)] T = [1 + \beta (\chi - 1)] NT. \quad (12)$$

Чтобы исключить зависимость задачи от численности сотрудников проектной организации N далее будем использовать удельные показатели $\frac{C_{пр}}{N}, \frac{K}{N}, \frac{Y}{N}$, не изменяющие сути и результата решения задачи.

В рассмотренной выше постановке задачи управления предполагается, что в ходе работы над проектом техническое задание Заказчика будет реализовано полностью. Однако на практике часто возникает ситуация, когда на достижение требуемых технико-экономических характеристик изделия требуется дополнительное время, новые материалы, оборудование и технологии.

Влияние указанных факторов можно учесть корректировкой бюджета проекта $C_{пр}$

Рассмотрим задачу управления проектом, обеспечивающую при заданном бюджете $C_{пр}$ выполнение проекта с заданной вероятностью $\hat{p}(T)$ за время T $p(T, \alpha) \geq \hat{p}(T)$ и максимальной рентабельностью

$$R(\beta, \vartheta, \hat{p}(T)) \rightarrow \max. \quad (11)$$

Для решения данной задачи найдем явную зависимость между величиной оплаты труда и параметрами управления проектом. Оплата труда S зависит от численности работников различных категорий N и тарифной ставки оплаты труда для каждой категории.

Весь персонал проектной организации представим в виде двух групп работников: инженерно-конструкторский и управленческий персонал со средней тарифной ставкой оплаты труда s_1 и вспомогательный персонал с тарифной ставкой оплаты труда s_0 . Соотношение между тарифными ставками

$$\chi = \frac{c_1}{c_0}$$

этих групп работников отражает их

вклад в конечный результат деятельности – произведенную стоимость проекта Y .

Выражение для оплаты труда работников проектной организации в этом случае будет иметь следующий вид:

и параметра интенсивности его выполнения α .

Рассмотрим пример использования рассмотренной выше модели.

Требуется оценить результаты выполнения проекта проектной организацией, имеющей следующие технико-экономические показатели: $A = 1,5$; $\frac{K}{N} = 0,5$ млн у.е./чел.;

$$\beta = 0,15; \quad \chi = \frac{c_1}{c_0} = 2; \quad \vartheta = 0,7; \quad \nu = 0,3 \text{ год}^{-1};$$

$$k = 1; \quad p_0 = 0.$$

Срок выполнения проекта не должен превышать $T = 3$ лет. Бюджет проекта составляет

$\frac{C_{пр}}{N} = 3,0$ млн у.е., риск невыполнения проекта задается на уровне $q = 1 - p = 0,05$.

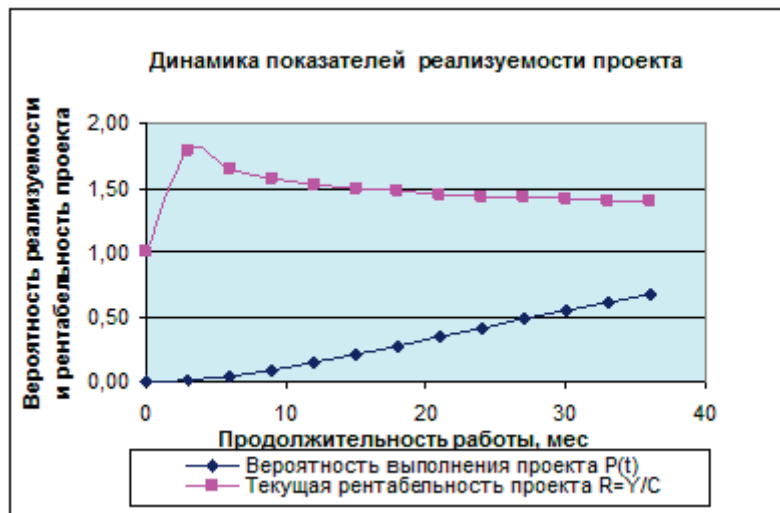


Рисунок 5 – Динамика показателей реализуемости проекта

Решение. По формулам (4), (5), (8), (11) рассчитываем показатели $\frac{Y(t)}{N}$, $p(t)$, $R(t)$. Динамика этих показателей показана на рисунке 5.

Как видно из рисунка 5, проект в течение заданного времени $T=3$ года может быть реализован только с вероятностью $p(T)=0,64$, а его рентабельность составляет $R=1,4$. Это типичная ситуация для так называемых «инновационных» проектных органи-

заций, не имеющих достаточной производственной базы, научно-технических и инженерно-конструкторских кадров, но берущихся за исполнение сложных и высокотехнологических проектов.

Изменим технико-экономические показатели проектной организации:

$$\frac{K}{N}=3,0 \text{ млн у.е./чел.}; \quad \beta=0,3, \quad p_0=0,1.$$

Результаты реализуемости проекта показаны на рисунке 6.

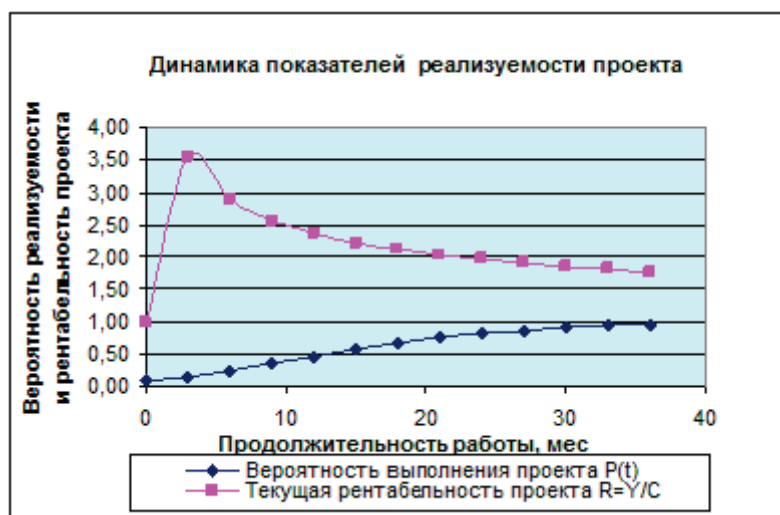


Рисунок 6 – Динамика показателей реализуемости проекта

Видно, что проектная организация, имеющая более высокий производственный и инженерно-конструкторский потенциал, способна выполнить проект при неизменном

бюджете с меньшим риском ($q < 0,05$) и более высокой рентабельностью ($R=1,76$).

Исследования предложенной модели управления жизненным циклом НИОКР пока-

зали вполне адекватные существующей практике результаты.

Модель позволяет на этапе отбора конкурирующих проектных организаций оценить их возможности по выполнению проектов и определить уровень бюджетных расходов на период выполнения проекта.

Особую актуальность модель приобретает для органов планирования государственного оборонного заказа (ГОЗ) при оценке возможностей проектных организаций в конкурсном участии на выполнение ГОЗ.

Заключение

В статье рассмотрена вероятностная модель управления проектом на этапе НИОКР, играющей важную роль в создании высокотехнологической продукции.

Модель позволяет получить вероятностную оценку выполнения НИОКР при известных характеристиках проектной организации, а также управлять проектом посредством изменения его бюджета и производственного потенциала организации.

Список использованных источников

1. Лившиц В.Н., Тищенко Т.И., Фролова М.П. Российская государственная экономическая политика как неэффективное крупномасштабное мероприятие / Материалы седьмой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем MLSD, 2013». (30 сентября – 2 октября 2013 г., Москва). – М.: ИПУ РАН, 2013.
2. Сценарий и перспектива развития России / Под ред. В.А. Садовниченко, А.А. Акаева, А.В. Коротаяева, Г.Г. Малинецкого. – М.: ЛЕНАНД, 2011.
3. Сухарев О.С. Реиндустриализация экономики России как проблема управления крупномасштабной системой / Материалы седьмой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем MLSD, 2013». (30 сентября – 2 октября 2013 г., Москва). – М.: ИПУ РАН, 2013.
4. Глазьев С.Ю. Выход из хаоса // Военно-промышленный курьер. – 2014. – №№ 42, 45, 46.
5. Казаковцев Д. Зарубежная практика структурно-технологического развития в промышленности // Проблемы теории и практики управления. – 2003. – № 3.
6. Багриновский К.А., Бендиков М.А., Хрусталева Е.Ю. Современные методы управления технологическим развитием. – М.: РОССПЭН, 2001.
7. Буравлев А.И., Горчица Г.И., Трусов В.Н. Проектное управление как метод повышения эффективности научно-производственной деятельности авиапромышленных предприятий // Вооружение. Политика. Конверсия. – 2006. – № 2 (68).
8. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. – М.: ПМСОФТ, 2005.
9. Станиславчик Е.Н. Бизнес-план: Управление инвестиционными проектами. – М.: Ось-89, 2001.
10. Решецкий В.И. Экономический анализ и расчет инвестиционных проектов. – Калининград: ФГУИПП «Янтарный сказ», 2001.
11. Хрусталева Е.Ю., Хрусталева О.Е. Моделирование жизненного цикла программы создания наукоемкой продукции // Экономический анализ: теория и практика. – 2012. – № 16 (271).
12. Лебедев В.В., Лебедев К.В. Математическое и компьютерное моделирование экономики. – М.: НВТ-Дизайн, 2002.