

МОДЕЛЬ ДИВЕРСИФИКАЦИИ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НАУКОЕМКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ⁵⁶

Карпов А.Е., Клочков В.В.

ИПУ РАН им. В. А. Трапезникова, г. Москва
НИЦ Институт им. Н.Е. Жуковского, Россия, г. Жуковский
fancy95@mail.ru, vlad_klochkov@mail.ru

Аннотация: Оптимальная программа исследований и разработок формируется с учетом рисков и неопределенностей, присущих научным исследованиям, а также ограничений на имеющиеся ресурсы. В работе предложен инструментарий оценки целесообразности диверсификации областей возможного применения разрабатываемых технологических комплексов с учетом рыночных и интеграционных рисков.

Ключевые слова: диверсификация, стратегическое планирование, исследования и разработки, риски, высокотехнологичная промышленность, эффективность.

Введение

Создание новой высокотехнологичной продукции базируется не только на ее разработке в процессе опытно-конструкторских работ (ОКР), но и на создании необходимых технологий в процессе прикладных научных исследований, выполнения научно-исследовательских работ (НИР). Более того, практика и теоретический анализ показывают, что необходимо учитывать взаимное влияние разрабатываемых технологий, направленных на улучшение конкретных характеристик, для того, чтобы обеспечить улучшение (а не ухудшение, что нередко встречается) характеристик конечного продукта в целом. То есть требуется провести системную интеграцию технологий. Выполнение расчетных оценок и экспериментов для набора интегрированных технологий помогает снизить риски по сравнению с изолированным внедрением отдельных результатов интеллектуальной деятельности.

Результаты исследований взаимодействия новых технологий должны быть получены до начала опытно-конструкторских работ, чтобы избежать дорогостоящих ошибок, которые могут значительно увеличить время разработки конечного продукта. Таким образом, научно-технический задел – результат прикладных научных исследований – должен быть создан опережающим образом для принятия решения о проведении проектных работ.

Более подробное описание современной системы создания новых высокотехнологичных продуктов и необходимости создания опережающего научно-технического задела приведено, например, в работе [1]. Сама эта система, в том числе принцип опережающего создания научно-технического задела, основана на учете важнейшего свойства инновационных процессов – высокого уровня присущих им рисков. Предложенная в статье структура исследовательских проектов, реализуемых для достижения характеристик одной или нескольких платформ (набора конкретных требований к продукту, определяющего его рыночную нишу), обеспечивает широкую диверсификацию прикладных исследований в интересах создания определенного класса продуктов, поскольку одна платформа может быть реализована несколькими способами (концепциями).

Оптимальная программа исследований и разработок формируется с учетом рисков и неопределенностей, присущих научным исследованиям, а также ограничений на имеющиеся ресурсы. В рамках выделенных финансовых ресурсов и установленного срока реализации проекта существуют риски создания технологий с целевыми характеристиками. Вероятность успешного развития технологий можно определить как инновационные риски. Существуют также риски их системной интеграции (отрицательная синергия) в составе целостных систем (частей будущих продуктов) или конечного продукта, далее – интеграционные риски.

Основным способом управления этими рисками является диверсификация:

- направлений поиска отдельных технологий (например, использование альтернативных фундаментальных принципов, на которых они основаны, и технических решений, т.е. конкретной реализации этих принципов);
- комбинации технологий, используемых в перспективных продуктах и системах.

⁵⁶ Исследование выполнено по проекту РФФИ № 21-78-20001 «Разработка теории и модельного инструментария оптимизации управления диверсификацией оборонного производства в условиях экономического кризиса и роста угроз национальной безопасности России».

Система организации прикладных исследований, описанная в работе [1], предполагает анализ широкого спектра альтернативных технологий и их комплексов (технических концепций, обликов будущих продуктов и систем) и дальнейшее сужение этого разнообразия с устранением менее перспективных альтернатив и переходом на более высокие уровни готовности, предполагающие более дорогостоящие, но также более целенаправленные и точные исследования и испытания.

Диверсификация направлений поиска снижает вышеуказанные риски. Но она не осуществляется бесплатно и требует дополнительных ресурсов, часто ограниченных даже не финансовыми факторами. В то же время, как показано в [2, 3], она позволяет сократить ожидаемое время достижения успеха в прикладных научных исследованиях. На ранних стадиях исследований дополнительные затраты на диверсификацию направлений поиска невелики и могут быть многократно окупаемы выигрышем во временной конкуренции на динамичных рынках высокотехнологичных продуктов. Но в каждом конкретном случае планирование развития новых технологий и их сочетаний все равно должно основываться на объективных оценках.

Помимо описанных рисков и методов управления ими, в процессе планирования создания научно-технического задела необходимо учитывать еще один вид рисков.

В данной работе предлагается метод (экономико-математическая модель), позволяющий оценить рациональный набор прикладных исследовательских проектов в случае диверсификации областей возможного применения разрабатываемых технологических комплексов. В статье рассматривается проблема экономического обоснования преимуществ данного подхода по сравнению с вариантом принятия решения о создании конкретных образцов продукции на ранних стадиях исследований и разработок.

1 Постановка задачи исследования

Технологии и, более того, их комбинации (технические концепции, облики) всегда создаются с целью использования в определенных рыночных нишах или областях применения. Например, научно-технический задел для создания нового гражданского воздушного судна (ВС) будет отличаться по составу используемых технологий и их требуемым характеристикам в зависимости от того, какой класс воздушного судна предполагается разрабатывать: дальнемагистральное ВС, региональный самолет или самолет для местных перевозок (хотя еще необходимо показать, что именно использование воздушного судна будет наилучшим решением для целевых задач).

Спектр возможных рыночных ниш, для которых может быть создан опережающий научно-технический задел, достаточно широк. И если диверсификация направлений поиска самих инновационных процессов вряд ли будет неоправданно широкой (из-за малого количества альтернативных технологий и их допустимых комбинаций), то разнообразие возможных областей применения исследований и разработок очень велико. Как правило, даже ведущие корпорации передовых стран в соответствующих отраслях промышленности не в состоянии проводить исследования и разработки для того, чтобы занять все потенциальные рыночные ниши. В то же время не все возможные ниши на момент создания опережающего научно-технического задела будут иметь выгодную рыночную среду для разработки и производства соответствующей продукции. Более того, на момент принятия решения о начале прикладных исследовательских работ отсутствует информация о том, в каких рыночных нишах ситуация будет благоприятной к моменту готовности продукта.

Таким образом, необходимо также учитывать рыночные риски, выбирая направления использования созданного научно-технического задела. Здесь также возможна диверсификация. Можно начать создавать опережающий научно-технический задел избыточным образом, с целью охвата большего количества рыночных ниш, чем тот объем, который, как ожидается, будет освоен в конечном итоге. Но такая избыточность (при условии своевременного создания научно-технического задела для определенных ниш) позволит выбрать, какие сегменты с благоприятной рыночной ситуацией развивать, имея временное преимущество перед конкурентами. Но в данном случае актуальна проблема выбора рациональной степени такой избыточности.

Также диверсификация возможных областей применения создаваемых технологий снижает риск достижения низкого уровня характеристик относительно целевых значений. Например, даже если результаты показали, что новые технологии неприменимы или неэффективны в авиации, при самых высоких требованиях к весовому совершенству изделий, они могут быть продуктивными и эффективными в наземной технике, стационарной и т.д.

В то же время такая межотраслевая интеграция прикладных исследований и диверсификация применения технологий не является бесплатной, она требует дополнительных затрат. И их уровень также должен быть экономически обоснован. Как уже упоминалось выше, необходима разработка

экономико-математического инструментария для поддержки принятия решений при определении целевых направлений и объемов исследований.

Необходимо уметь определять рациональный набор приоритетных (для создания опережающего научно-технического задела) рыночных ниш с конкретными характеристиками платформ (требованиями к перспективным продуктам), учитывая возможности отрасли при существующих финансовых и других ограничениях.

Предлагаемый инструментарий основан на стохастическом подходе к оценке времени разработки технологий и перспективной отечественной продукции T и оценке рыночной конъюнктуры к моменту готовности соответствующей продукции к массовому производству. Критерием эффективности в модели является прибыль отечественной промышленности Π (или выручка R , поскольку финансовые ограничения G – общая стоимость НИР и ОКР – считаются фиксированными), в зависимости от выбора рыночных ниш для реализации продукции. Набор проектов M , который с наибольшей вероятностью приведет к максимальной прибыли (выручке), будет принят как наиболее рациональный.

Состояние рынков предлагается оценивать с использованием функции спроса на продукцию на мировом и внутреннем рынках $Q^{мир}, Q^{ен}$ (распределение по годам) и функции зависимости доли рынка, которую может завоевать отечественная промышленность, от ожидаемого времени разработки изделия (зависимость спроса от показателей эффективности продукции, например, в [4], в данной работе не учитывается).

В следующем разделе приведены формулы, позволяющие оценить выгоду от использования подхода с диверсификацией направлений применения опережающего научно-технического задела по сравнению со способом управления созданием продукции, когда на ранних этапах работ принимается решение о создании конкретных образцов для конкретных рыночных ниш.

2 Модель диверсификации прикладных исследований в наукоемкой промышленности

2.1 Раннее принятие решения о создании конкретных изделий для определенных рыночных ниш

В рамках разовых работ в интересах стратегического планирования развития отрасли определяются приоритетные рыночные ниши для отечественной промышленности и характеристики платформ (наборов требований к изделиям) на ранних этапах разработки новой продукции. Приоритет отдается наиболее емким сегментам, ставятся амбициозные задачи по достижению существенных долей мирового рынка.

Пусть M_0 – общее количество (множество) рассматриваемых рыночных ниш, из которых необходимо выбрать M_1 приоритетных с учетом имеющихся ограничений по финансированию G . T_i – дискретная случайная величина, характеризующая длительность (количество лет) разработки изделия для рынка i из M_0 , которая определена на интервале $[T_i^{\min}; T_i^{\max}]$. Каждый потенциальный проект по разработке изделия (и необходимых для этого технологий) для рыночных ниш из M_0 имеет соответствующую функцию распределения времени момента его успешного завершения:

$$(1) \quad F_{T_i} = \mathbf{P}\{T_i \leq t\}, i \in M_0.$$

Тогда средняя длительность проекта будет определяться по формуле:

$$(2) \quad \mathbf{E}T_i = \sum_{j=0}^{T_i^{\max}-T_i^{\min}} t_{ij} \cdot p_{ij}; \quad p_{ij} = \mathbf{P}\{T_i = t_{ij}\}.$$

В работе не учитывается зависимость успеха конкретного проекта от увеличения объемов его финансирования, наоборот, заданная функция распределения определяет ожидаемые затраты на проект. Пусть известна средняя стоимость одного года работ по проекту G_i^0 , тогда общая ожидаемая сумма затрат, которая потребуется разработчикам, будет равна:

$$(3) \quad \mathbf{E}G_i = G_i^0 \cdot \mathbf{E}T_i.$$

В таком случае условие удовлетворения общему ограничению по затратам на все выбранные проекты можно представить в виде:

$$(4) \quad \sum_{i=1}^{M_1} \mathbf{E}G_i \leq G, i \in M_1.$$

В то же время на момент принятия решений о начале работ заранее неизвестно, в каких именно рыночных нишах конъюнктура окажется благоприятной. Предлагается учитывать рыночные риски в следующем виде.:

Пусть для каждого сегмента дана функция распределения времени ($T_i^{кон}$) выхода зарубежного конкурента со своей продукцией на мировой рынок (формула 5), и функция спроса на продукцию:

- на мировом рынке с момента готовности выпуска изделий отечественной промышленности или зарубежного конкурента $q_i^{мп}(t)$;
- на внутреннем российском рынке $q_i^{ен}(t)$;
- на внутреннем рынке производителя – конкурента $q_i^{ен кон}(t)$.

$$(5) \quad F_{T_i^c} = \mathbf{P}\{T_i^c \leq t\}, i \in M_0.$$

Как схематично показано на рис. 1, соотношение времени готовности к выходу на рынки отечественных и зарубежных изделий может быть различным, поскольку длительности разработки продуктов случайны. В различных нишах отечественные изделия могут как опережать зарубежных конкурентов, так и запаздывать относительно них.

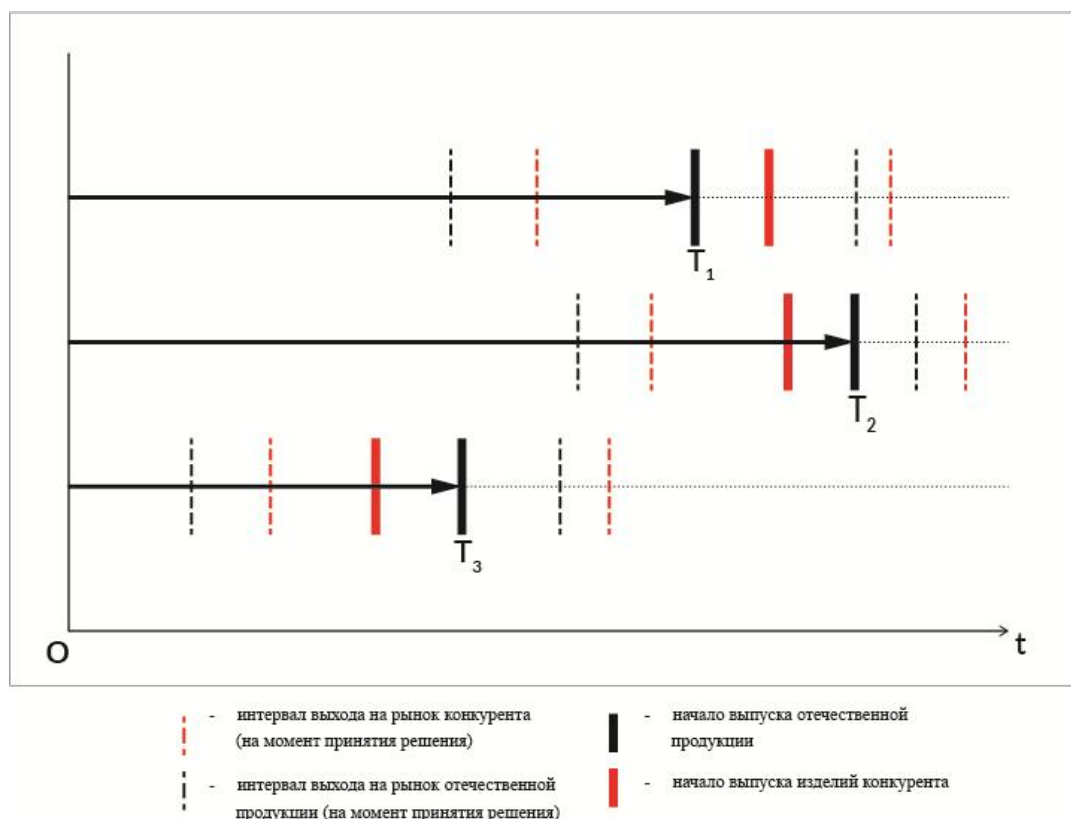


Рис. 1. Принятие решения о выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в обеспечение создании конкретных образцов.

При запаздывании зачастую очень проблематично отвоевать рынки продукции, занятые зарубежным производителем, поэтому будем считать, что в таком случае приходится довольствоваться только внутренним рынком страны $q_i^{ен}$. Такое допущение обусловлено политикой иностранных государств по созданию выгодных условий для реализации собственной продукции. В одной из наиболее наукоемких высокотехнологичных отраслей – авиационной промышленности – в современных геополитических условиях вообще сложно рассчитывать на массовый выход

российской продукции на рынки наиболее развитых в экономическом и технологическом отношениях стран.

Конечно, ранний выход на мировой рынок должен гарантировать преимущество для отечественного производителя, однако для этого продукция должна соответствовать всем принятым требованиям и стандартам. Даже при достижении высокого уровня технико-экономического совершенства отечественной продукции, рынки западных стран остаются практически закрытыми для них вследствие ужесточения разнообразных искусственных барьеров.

Запишем условие для суммарного спроса Q_i на отечественную продукцию в определенном сегменте следующим образом (здесь T_0 – момент окончания реализации продукции):

$$(6) \quad Q_i = \begin{cases} \sum_{t=T_i}^{T_0} q_i^{мур} (t) - \sum_{t=T_i^{кон}}^{T_0} q_i^{6H\ кон} (t), & \text{если } \mathbf{E}T_i < \mathbf{E}T_i^{кон} \\ \frac{1}{2} \cdot \sum_{t=T_i}^{T_0} (q_i^{мур} (t) - q_i^{6H\ кон} (t) + q_i^{6H} (t)), & \text{если } \mathbf{E}T_i = \mathbf{E}T_i^{кон} \\ \sum_{t=T_i}^{T_0} q_i^{6H} (t), & \text{если } \mathbf{E}T_i > \mathbf{E}T_i^{кон} \end{cases}$$

Предложенный принцип оценки спроса на отечественную продукцию является оптимистичным по ряду причин. Несмотря на то, что после появления российского самолета *RRJ-95* на внутреннем рынке региональных самолетов в сегменте вместимости от 90 до 120 мест отсутствуют иностранные ВС, произведенные после 2010 года (по данным Росавиации [5]), ряд средних и мелких российских авиакомпаний расширяли свой парк путем приобретения б/у иностранных ВС (произведенных до 2010 г., причем некоторые близки к исчерпанию ресурса) предпочитая более низкие расходы на амортизацию. Также причиной продолжения эксплуатации иностранной авиационной техники является экономия за счет затрат на унифицированный парк ВС по сравнению с неоднородным парком (см. подробнее [6]).

Пусть P_i - цена изделия (без учета инфляции), тогда общая прибыль Π отечественной промышленности будет определяться по формуле:

$$(7) \quad \Pi = \sum_{i=1}^{M_0} (Q_i \cdot P_i - G_i(T_i)).$$

Таким образом, при наличии ограничения по финансированию рациональный набор проектов можно определить (т.е. выбрать множество M_1) из условий:

$$(8) \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^{M_0} (Q_i \cdot P_i - G_i) \cdot \mathbf{I}\{i \in M_1\} \rightarrow \max_{M_1} \\ \sum_{i=1}^{M_0} (G_i \cdot \mathbf{I}\{i \in M_1\}) \leq G \end{cases}$$

2.2 Принятие решения о создании образца (начала ОКР) после проведения работ по созданию опережающего НТЗ

В рамках системных стратегических исследований и анализа потенциальных областей применения продукции отрасли выполняется диверсификация направлений исследований. Приоритетные рыночные ниши для отечественной промышленности и характеристики платформ определяются из возможностей созданного научно-технического задела (при успешной реализации соответствующих научно-технологических проектов).

Диверсификация направлений исследований в обеспечение создания опережающего НТЗ по сравнению со случаем 1 сопровождается:

- повышением затрат на создание НТЗ;

- снижением рисков создания продукции (решения принимаются для тех направлений, где НТЗ успели создать);
- снижением рисков попасть в неблагоприятные рыночные условия.

Принятие решений о создании изделий на более поздних этапах разработки продукции позволяет сделать выбор по приоритетным рыночным нишам уже имея более точный (доверительный) интервал для успешного выхода на мировой рынок (получение временного преимущества перед конкурентами) и только для тех направлений, где НТЗ уже создан (что и подчеркнуто на рис. 2). Отметим, что затраты на НИР более, чем порядок меньше затрат на выполнение ОКР и технологическую подготовку производства (ТПП), поэтому перераспределение расходов при фиксированном финансовом ограничении, вероятнее всего, сильно не повлияет на результаты моделирования.

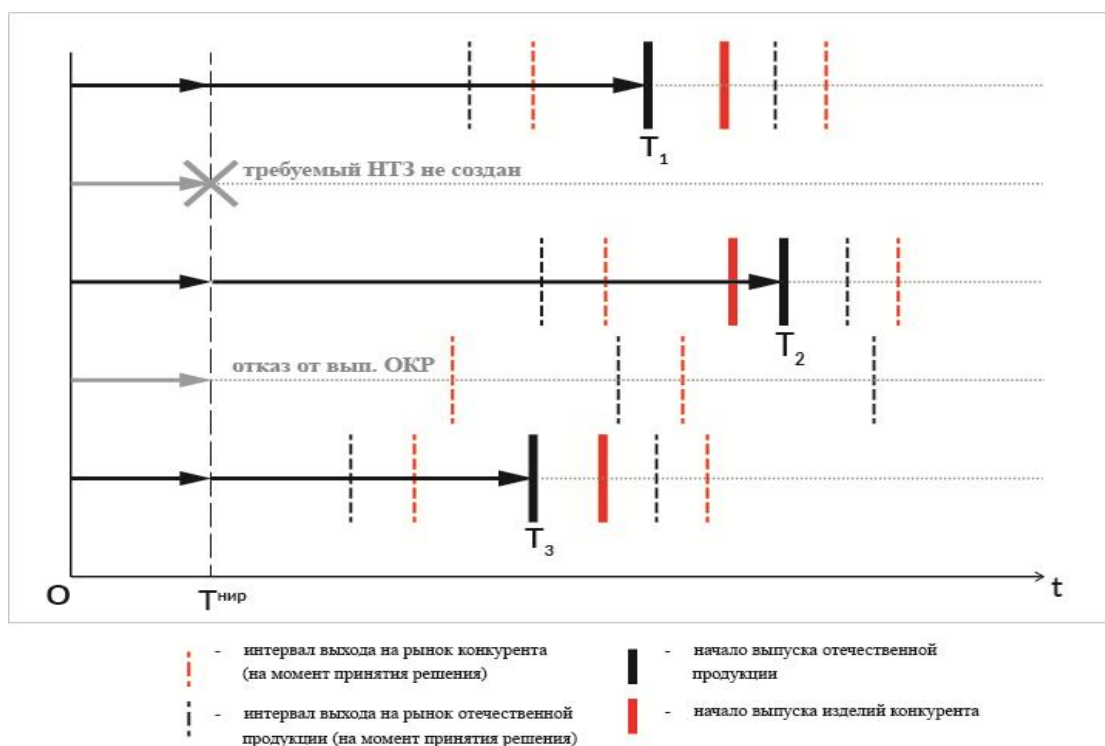


Рис. 2. Принятие решения о создании образца (начала ОКР) после проведения работ по созданию опережающего НТЗ

Пусть для каждого из рынков, потенциально целевых для отечественной промышленности, будет выполнен комплекс научно-исследовательских работ по созданию опережающего НТЗ с продолжительностью $T^{НИР}$ и стоимостью $G^{НИР}$ (на ранних этапах предлагаемая диверсификация возможна и не спровоцирует существенное перераспределение расходов, т.к. стоимость работ по созданию НТЗ в несколько раз меньше, нежели выполнение ОКР и ТПП).

Запишем функцию вероятности успешного завершения работ по созданию НТЗ для определенной ниши в следующем виде:

$$(9) \quad F_{T_i^{НИР}} = \mathbf{P} \{ T_i^{НИР} \leq t \mid t = T^{НИР} \}, i \in M_0.$$

По истечении времени $T^{НИР}$ определяется новое множество M_2 направлений работ, где имеется готовность к переходу к ОКР, с помощью следующего условия:

$$(10) \quad i \in M_2, \text{ если } T_i^{НИР} \leq T^{НИР}.$$

Далее необходимо определить набор ниш M_3 , для которых с учетом созданного НТЗ рационально продолжать работы (выполнять ОКР, ТПП и осваивать серийное производство изделий). По сравнению с предыдущим способом принятия решений сузятся интервалы неопределенности. Для ряда ниш может быть определено, что запоздание уже является критическим и в случае выхода на мировые рынки ожидается спрос только на внутреннем рынке. Это позволяет более рационально

принимать решения относительно определения приоритетных рыночных ниш для отечественного производителя.

Пусть задана функция распределения времени момента завершения работ:

$$(11) \quad F_{T_i'} = \mathbf{P}\{T_i' \leq t\}, i \in M_2.$$

Средняя длительность проекта (в случае дискретной случайной величины и без учета длительности НИР) будет определяться по формуле:

$$(12) \quad \mathbf{E}T_i' = \sum_{j=0}^{T_i^{\max'} - T_i^{\min'}} t_{ij}' \cdot p_{ij}'; \quad p_{ij}' = \mathbf{P}\{T_i' = t_{ij}'\}$$

Пусть $G_i^{0'}$ - средняя стоимость одного года работ с начала выполнения ОКР, тогда общая ожидаемая стоимость проекта будет равна

$$(13) \quad \mathbf{E}G_i' = G_i^{0'} \cdot \mathbf{E}T_i'.$$

а условие удовлетворения ограничению по затратам можно представить в виде:

$$(14) \quad \sum_{i=1}^{M_3} G_i' \leq G - G^{НИР}, i \in M_3.$$

Суммарный спрос на отечественную продукцию определяется аналогично формуле (6):

$$(15) \quad Q_i' = \begin{cases} \sum_{t=T_i'}^{T_0} q_i^{мур}(t) - \sum_{t=T_i^{кон}}^{T_0} q_i^{6H\ кон}(t), & \text{если } \mathbf{E}T_i' < \mathbf{E}T_i^{кон} \\ \frac{1}{2} \cdot \sum_{t=T_i'}^{T_0} (q_i^{мур}(t) - q_i^{6H\ кон}(t) + q_i^{6H}(t)), & \text{если } \mathbf{E}T_i' = \mathbf{E}T_i^{кон} \\ \sum_{t=T_i'}^{T_0} q_i^{6H}(t), & \text{если } \mathbf{E}T_i' > \mathbf{E}T_i^{кон} \end{cases}.$$

Итак, рациональный набор проектов – множество M_3 – определяется из условий, приведенных ниже:

$$(16) \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^{M_2} (Q_i' \cdot P_i' - G_i') \cdot \mathbf{I}\{i \in M_3\} \rightarrow \max_{M_3} \\ \sum_{i=1}^{M_2} (G_i' \cdot \mathbf{I}\{i \in M_3\}) \leq G \end{cases}$$

Далее, построив функции прибыли для оптимальных наборов проектов в зависимости от затрат (финансовых ограничений) для двух рассмотренных случаев, можно определить условия, при которых та или иная система принятия решений будет эффективнее. Переход к варианту принятия решений о разработке конкретных образцов продукции после создания опережающего научно-технического задела будет целесообразным при обеспечении более высокой прибыли для выбранного интервала общих финансовых затрат.

Заключение

В работе предложен метод оценки целесообразности диверсификации направлений исследований с целью охвата большего количества рыночных ниш в обеспечение успешной реализации отечественной высокотехнологичной продукции на внутреннем российском и мировых рынках. Инструментарий позволяет учитывать риски попадания в неблагоприятные рыночные условия и интеграционные риски при создании изделий в наукоемкой промышленности.

Литература

1. *Клочков В.В., Рождественская С.М.* Современные принципы управления прикладными исследованиями в авиационной науке // Интеллект & технологии. 2016. № 1 (13). С. 58-63.
2. *Иванова Н.В., Клочков В.В.* Экономические проблемы управления высокорисковыми инновационными проектами в наукоемкой промышленности // Проблемы управления, № 2, 2010, С. 25-33.
3. *Рождественская С.М.* Анализ эффективности структуры и принципов управления жизненным циклом авиационных технологий на стадии прикладных научных исследований // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 4-3. С. 534-541.
4. *Карнов А.Е., Клочков В.В.* Оценка конкурентоспособности продукции российского вертолетостроения // Аудит и финансовый анализ. 2020. № 4. С. 149-156.
5. <https://favt.gov.ru/>
6. *Карнов А.Е.* Оценка стоимости поддержания готовности парка авиационной техники в зависимости от его численности и структуры // Друкерровский Вестник, 2020, №3, С. 118-133