

УДК 519.876.2 + 658.012

О.Е. ФЕДОРОВИЧ, А.В. ПРОХОРОВ, Е.М. ЖИГУЛИНА*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина***ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЕКТАМИ С УЧЕТОМ РИСКОВ**

Предложена имитационная модель с механизмами динамического параметрического и структурного изменения, которая позволяет учесть влияние множества внешних и внутренних факторов риска при определении показателей проекта создания сложных наукоемких изделий модернизации и развития аэрокосмического производства, за счет совместного моделирования процессов реализации проекта и процессов реализации мероприятий устранения последствий проявления факторов риска с учетом вероятностного характера их возникновения.

имитационное моделирование, риск, методы управления риском, дефицит, типовые блоки, динамическое изменение модели, резервный фонд, профиль финансирования

Введение

При управлении проектами создания сложных наукоемких изделий модернизации и развития аэрокосмического производства необходимо заранее учитывать неопределенности и риски, если при равных возможных условиях реализации затраты и результаты по проекту различны, что в общем случае заключается в планировании и реализации действий по реагированию на негативные или позитивные рискованные события, которые с некоторой долей вероятности могут проявиться в ходе выполнения проекта. Такие риски, как несоблюдение сроков реализации проекта, превышение стоимости и т.п., как правило, присутствуют в любых проектах [1]. Автоматизация процессов идентификации, моделирования, анализа и принятия решений, планирования реагирования на риски значительно повышает как эффективность работы менеджеров, так и реализуемость и прибыльность проекта.

**1. Особенности планирования
и управления проектами
с учетом факторов риска**

1.1. Проблемы моделирования рисков при управлении проектами. На сегодняшний день существует большое число программных пакетов, реа-

лизующих различные методы и подходы к анализу и оценке влияния рисков, поддерживающих те или иные процессы управления рисками. Среди основных инструментальных средств, используемых при управлении рисками, следует отметить программные пакеты *Microsoft Project* и *Primavera*. *Microsoft Project* имеет описательный механизм рисков с привязкой к работам проекта, другим рискам и дальнейшей возможностью влияния на текущую задачу, а также решает задачи ввода оптимистических и пессимистических оценок длительности работ с последующим расчетом средневзвешенной оценки длительности по методу PERT [2]. Но последний обладает рядом недостатков, одним из которых является то, что продолжительность работы может изменяться между двумя границами (пессимистической и оптимистической оценками) и при этом не учитывается, что можно осуществлять управление путем выделения на ее выполнение больших или меньших ресурсов. Кроме того, описанные инструменты управления рисками не входят в базовую конфигурацию пакета, а поставляются отдельно по значительной стоимости.

Среди отличительных особенностей *Primavera* перед *Microsoft Project* можно отметить наличие средств моделирования последствия влияния рисков

по методу Монте-Карло, назначение ответственных за риски, моделирование для каждого риска ситуации "что-если" и расчет потенциального ущерба от рискового события. Однако при таком подходе для получения достоверного статистического распределения результатов моделирования необходимо сделать очень большое число проходов, и риски учитываются укрупненно, путем изменения значений результирующих показателей проекта (объема продаж, цены, затрат и др.) на прогнозируемую вероятностную величину.

Авторами предлагается подход, основанный на использовании метода дискретно-событийного имитационного моделирования с механизмами динамического структурного и параметрического изменения модели, что позволяет легко и гибко учитывать влияние факторов риска на реализацию проекта и дает наиболее качественные результаты для оценки процессов управления рисками в организационной структуре участников проекта.

1.2. Учет и управление рисками проекта. Все риски с точки зрения их влияния на проект можно

подразделить на внешние (рыночные, политические, финансовые и т.д.) и внутренние (научно-технические, технологические, производственные и т.д.) факторы [3].

С точки зрения особенностей учета влияния перечисленных факторов риска, можно выделить следующие категории рисков: недостижения требуемого качества, риски, связанные с отказами обеспечивающих ресурсов, затратные риски (удорожание обеспечивающих ресурсов), риски, связанные с динамикой финансирования (недостаточное и несвоевременное финансирование проекта), а также рыночные риски (изменение спроса и предложения).

Данные группы рисков в конечном итоге могут оказывать влияние на структуру работ по проекту, организационную структуру исполнителей, объем финансирования и время реализации. Характер влияния каждой группы выделенных факторов представлен на рис. 1, из которого видно, что большинство влияний сводится к увеличению объема финансирования и продолжительности проекта.

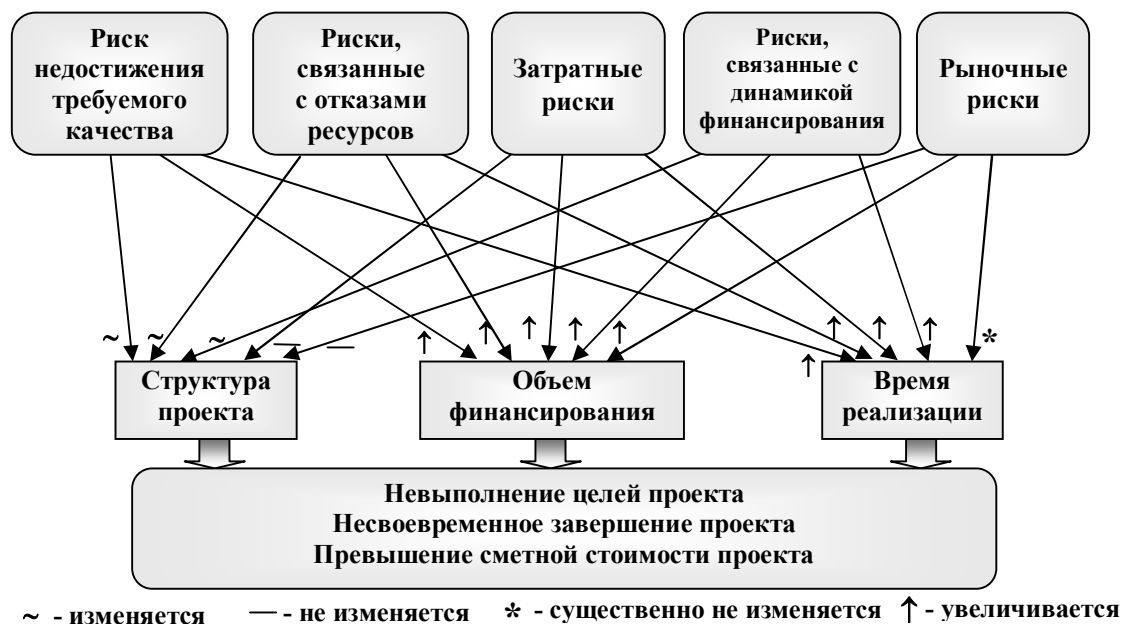


Рис. 1. Особенности проявления факторов риска проекта

Указанные риски должны рассматриваться в комплексе, с учетом их взаимного влияния (включая мультипликативный эффект проявления рисков, положительно или отрицательно коррелированных

по отношению друг к другу). Это приводит к необходимости разработки подхода, учитывающего совместное влияние множества разнородных факторов риска на технико-экономические показатели проек-

та. Применительно к рассмотренной ранее классификации проектных рисков, в табл. 1 приведены методы снижения их влияния на проект.

Среди применяемых методов управления риском можно выделить четыре типа:

1. Методы уклонения от риска (отказ от услуг не-

надежных партнеров, сомнительных проектов и др.).

2. Методы локализации риска (сокращение сферы действия).

3. Методы распределения риска (распределение общего риска путем объединения (с разной степе-

Таблица 1

Основные проектные риски и методы их снижения

Риск	Методы снижения
Технологические	
Риск не завершить работу вовремя	увеличение установленного времени выполнения работы
Риск отказа (выхода из строя) ресурса	определение источников привлечения заменяющих ресурсов привлечение страховых ресурсов реализация процессов восстановления ресурсов составление сетевого плана, не слишком чувствительного к выходу из строя наиболее труднозаменимых ресурсов
Риск выполнения работы с ненадлежащим качеством	мониторинг качества управление качеством страхование потерь из-за повторного выполнения работ, выполненных с ненадлежащим качеством составление плана, мало зависящего от работ, риски качества для которых самые высокие
Финансовые	
Риск обесценивания активов	диверсификация активов страхование активов
Риск потери инвестора/возникновение финансовых трудностей у инвестора	страхование проекта диверсификация инвесторов
Риск недооценки затрат	учёт надбавки на непредвиденные затраты при финансовом планировании страхование непредвиденных затрат страхование проекта
Риск недооценки/задержки поступлений	страхование финансовых рисков создание собственных финансовых резервов открытые кредитные линии
Риск потерь средств в обороте	страхование потерь в обороте создание собственных финансовых резервов открытые кредитные линии
Риск штрафных санкций	страхование ответственности создание собственных финансовых резервов открытые кредитные линии
Организационные	
Риск нетрудоспособности	избыточность штатов страхование проекта
Риск утечки кадров	высокая оплата труда неустойки при разрыве трудовых договоров социальный пакет управление социальным климатом в трудовом коллективе повышение квалификации страхование ответственности должностного лица за счёт фирмы
Риск профессиональной непригодности	повышение квалификации
Прочие виды рисков	
Логистические риски	создание материальных запасов определение ответственности и штрафных санкций составление плана, мало зависящего от устойчивости наиболее рискованных поставок
Обстоятельства непреодолимой силы	страхование проекта параллельное выполнение множества проектов, в разной степени зависящих от обстоятельств непреодолимой силы обеспечение экстренных и аварийно-спасательных мероприятий

нию интеграции) с другими участниками; диверсификация (деятельности, рынка сбыта, закупок сырья и материалов и др.) с обеспечением отрицательной корреляции доходности и рентабельности части проектов, реализуемых предприятием).

4. Методы компенсации риска (самострахование – образование на предприятии специального резервного фонда и обеспечение возможности покрытия убытков за счет части собственных оборотных средств, хеджирование – создание встречных коммерческих, кредитных, валютных и иных требований и обязательств, лимитирование за счет установления предельных сумм расходов, продаж, кредита, различные формы и виды страхования, в том числе страхование ответственности).

Страхование является наиболее универсальным способом парирования рисков [5]. При этом единственным критерием целесообразности использования страхования является цена страховки. Страхование способно перекрыть все риски, которые не удастся или же слишком дорого парировать. Страхование не устраняет причин и не снижает вероятности рисковых ситуаций, но позволяет заменить неопределенно большие по величине и по времени внеплановые финансовые потери из прибыли на небольшие страховые платежи, включаемые в себестоимость продукции.

2. Имитационная модель анализа процессов управления проектами с учетом рисков

Предлагаемая система имитационного моделирования динамики процессов управления проектами обеспечивает реализацию следующих функций: автоматизированное построение имитационной модели бизнес-процессов, исключая промежуточные фазы генерации кода и компиляции, на основе визуально сформированной структуры работ по проекту; объектно-ориентированное моделирование с воз-

можностью «интеллектуальной» настройки параметров и поведения типовых элементов модели, динамическое структурное и параметрическое изменение модели в результате проявления факторов риска и др.

Динамические процессы в имитационных моделях существуют в виде взаимодействия ряда составляющих, которыми являются заявки, устройства, очереди, события [4]. Заявки, управляемые механизмами моделирования дискретных событий, проходят через блоки модели и обрабатываются ими, аккумулируя статистику по временным, стоимостным и другим показателям на каждом шаге моделирования. Выделенные ресурсы предназначены для ограничения исполняемых операций в исследуемой системе. Для описания, назначения и собственно для реализации всех видов ресурсов, используется элемент системы – устройство. С каждым устройством связывается элемент статистики – очередь. При построении модели анализа процессов управления проектами используются стандартные блоки, перечень которых приведен в табл. 2. Необходимая настройка осуществляется путем наследования определенных структурных свойств, признаков и поведения от базовых классов типовых блоков. Многоуровневая модель с любой степенью детализации формируется путем задания вложенных моделей. В имитационную модель также включаются сигналы управления, предназначенные для обеспечения возможности внешнего управления логикой работы отдельных структурных элементов. Присутствие в блоках имитационной модели логических правил (в качестве модели представления знаний используется исчисление предикатов первого порядка), позволяет описывать поведение типового блока в различных ситуациях и дает возможность адаптировать модель на конкретные условия, исследуемый объект и возникающие риски. При этом осуществляется взаимодействие с подсистемой принятия решений,

Таблица 2

Типовые блоки имитационной модели

Блок	Входы	Выходы	Описание функций
Генератор заявок (БГЗ)	0	1– <i>n</i>	Используется для генерации заявок, поступающих в систему. Пользователь специфицирует интенсивность генерации заявок, редактируя параметры блока.
Задача (БЗ)	1– <i>n</i>	1– <i>n</i>	Используется для представления любой активности. Блок задачи можно подвергать декомпозиции без ограничений, уровень за уровнем.
Останов (БО)	1– <i>n</i>	0	Служит для отметки завершения конкретной последовательности выполнения задач.
Генератор рисков ситуаций (БГРС)	0	1– <i>n</i>	Предназначен для моделирования наступления рисков ситуаций.

которое заключается в отправке запроса на проведение логического вывода, а полученный результат интерпретируется как решение о выборе направления дальнейшего хода моделирования.

Блок задачи (процесс или работа) – основной элемент модели (имеет набор характеристик (временные, стоимостные, признак вложенности, приоритеты, условия синхронизации, ресурсы, директивные сроки и условия выполнения, риски и т.д.) который меняется в зависимости от задачи моделирования).

Для каждой задачи на этапе идентификации рисков (указывается возможность присутствия риска для задачи из классификационного перечня) задается вероятность данного риска («0» – событие не возникает, «25%» – событие, скорее всего, не возникнет, «50%» – о вероятности возникновения или невозникновения события определенно сказать нельзя, «75%» – событие, скорее всего проявится, «100%» – событие реализуется наверняка), опасность данного риска, т.е. насколько существенными окажутся последствия наступления неблагоприятного события (катастрофический, критический, повышенный, минимальный риски), важность риска как произведение вероятности на опасность его наступления. Кроме того, для каждого риска могут быть заданы следующие параметры: фаза выполнения задачи, где проявляется риск (начальная, непосредственно выполнение, завершение); тип и размер убытка (например, в виде требуемых дополнительно

затрат или ресурсов); признак застрахованности для данного риска (указывается источник (собственный резервный фонд или третье лицо); сумма, порядок выплаты и размер процента (для внешнего страхования)).

Блок генератора рисков ситуаций соединяется с блоком задач и предназначен для моделирования наступления рисков ситуаций. Наличие встроенных статистических функций позволяет моделировать вероятностные процессы, связанные с возникновением различных рисков ситуаций. Оператор может разместить их на модели как вручную, так и выбрать режим автоматического размещения (в этом случае блок будет присоединен к задачам, для которых были идентифицированы риски, по одному на каждый вид риска). Заявка, инициирующая наступление рисков ситуации, поступает на блок задач, где формируются основные параметры, характеризующие данный риск, в том числе механизм динамического изменения имитационной модели (структурный или параметрический).

3. Механизмы динамического изменения модели при проявлении факторов риска

На рис. 2 представлены основные механизмы динамического структурного и параметрического изменения модели, как результат проявления факторов риска. Рассмотрим механизмы моделирования некоторых типичных рисков ситуаций при реализации проектов.

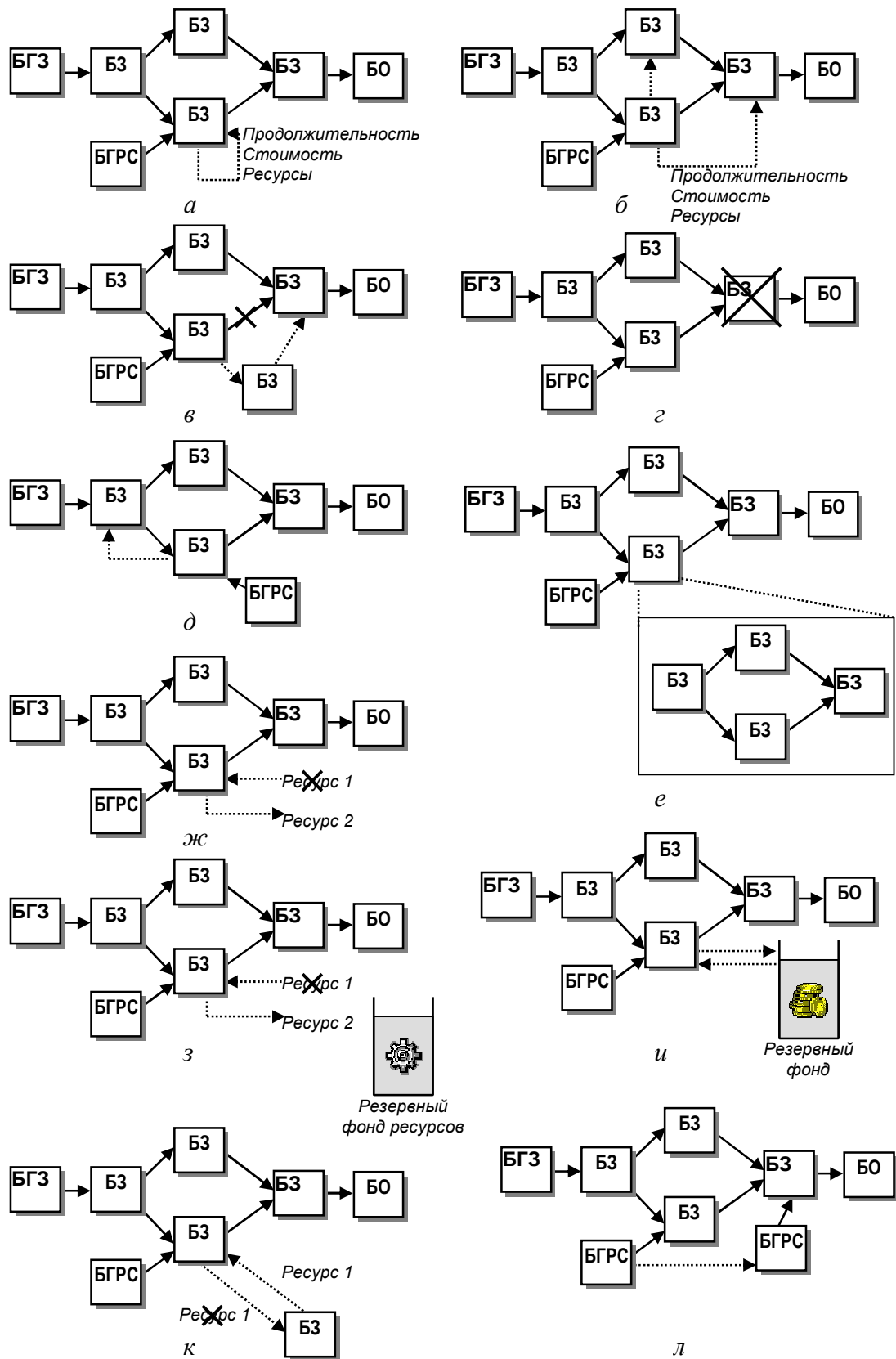


Рис. 2. Основные механизмы динамического изменения имитационной модели:

a – изменение параметров задачи; *б* – изменение параметров других задач; *в* – добавление новой задачи; *г* – исключение задачи; *д* – возвратная связь (повторение множества работ); *е* – комплекс (вложенная модель) дополнительных работ; *ж* – передача работы свободному ресурсу; *з* – использование ресурса из резервного фонда; *и* – покрытие риска за счет резервного фонда; *к* – восстановление ресурса; *л* – взаимовлияние рисков (повышение/уменьшение вероятности)

Ресурсные риски связаны с возможностью нехватки или недоступности обеспечивающих ресурсов для выполнения работы.

При моделировании рискованных ситуаций для ресурсов выбирается (прямым указанием или случайным образом) отказавший ресурс (устройство), который переходит в состояние “отказ”. Механизмы моделирования восстановления ресурса в данном случае следующие: передача работы свободному ресурсу; ремонт собственными силами; передача на ремонт; передача выполнения работы на другое предприятие. Каждый из указанных вариантов восстановления чаще всего предполагает целый комплекс дополнительных работ (вложенная модель), включающий не только основную операцию восстановления, но и вспомогательные работы (демонтаж, транспортировка, диагностика, покупка, монтаж нового, пуско-наладочные работы и др.).

Выбор того или иного варианта восстановления осуществляется в соответствии с логическими правилами, заданными для данной задачи, и зависит от разных критериев: по параметрам ресурса (допускающий или нет восстановление, наработка на отказ, время восстановления), возможность самостоятельного восстановления, наличие свободного ресурса, наличие данного ресурса в резервном фонде предприятия, срочность работы (если работа имеет свободный резерв, то желательно, чтобы работы по восстановлению были выполнены в этот промежуток времени).

В случае, когда недостаточно данных для точного описания необходимого комплекса мероприятий по восстановлению ресурса, используется обычный параметрический механизм изменения имитационной модели, который может заключаться в увеличении сроков начала работ, в которых используется данный ресурс. Система моделирования имеет механизм, который предполагает организацию поиска среди множества альтернативных вариантов (устройств, очередей, заявок и др.). Так, например, аль-

тернативными устройствами (исполнители, ресурсы) являются такие устройства, которые имеют условия, обеспечивающие возможность приема на обработку поступающих заявок данного типа.

В качестве сценариев поиска могут быть заданы различные критерии: наименьшей стоимости; требуемого значения коэффициента соответствия или компетентности; наименьшего коэффициента использования; наименьшего или наибольшего приоритета; кратчайшей очереди и др. Правила поиска задаются в виде моделей знаний, а поиск осуществляется логическим интерпретатором подсистемы принятия решений, реализующим логический вывод.

Система поддерживает функции ведения календаря для ресурсов на основе установки ограничений по времени (установка доступности ресурса по минутам, часам, дням, неделям и т.д.). При этом могут устанавливаться временные окна/периоды, даты, когда ресурс доступен. Эти параметры могут быть заданы до начала процесса моделирования для имитации воздействия на проект плановых регламентных ремонтных и профилактических работ или сформированы в ходе моделирования автоматически блоками генерации рискованных ситуаций.

Кроме того, варьированием пороговых значений страховых запасов и резервных фондов достигается моделирование различных вариантов реализации проекта для выбора рациональных стратегий управления, позволяющих избежать «замораживания» значительных финансовых ресурсов и объемов товарно-материальных ценностей, которые могут быть использованы предприятием на другие цели (например, инвестиции, новые технологии, маркетинг, повышение производительности труда и социального уровня работников и т.д., что может увеличить общий эффект от реализации проекта).

Для планирования устойчивых к рискам проектов необходимо создавать дополнительный запас страховых ресурсов, предназначенный для парирования комплекса возможных рисков [6].

Имитационная модель может быть запущена в режиме определения необходимых параметров формирования страховых запасов и резервных фондов предприятия. В этом случае системой производится сравнительный анализ затрат на создание, содержание и обслуживание хранимого страхового запаса и затрат приведения ресурса в работоспособное состояние с учетом директивных сроков выполнения работы или проекта и предусмотренных штрафных санкций.

Стоимость обеспечивающих ресурсов на любом из этапов реализации проекта может либо повышаться с момента оценки, либо падать. Это зависит от множества факторов рыночной среды: инфляции, влияния курса банка, уровня дефицита на ресурс и т.д. Для этого в модель дополнительно включаются блоки генерации рискованных ситуаций, настраиваемые на внесение соответствующих изменений в стоимостные параметры модели.

Если система не в состоянии разрешить задачу выбора варианта парирования риска самостоятельно, в автоматическом режиме осуществляется переход в автоматизированный режим с формированием запроса пользователю для выбора дальнейшего направления моделирования.

Организационные риски приводят к невыполнению узлами организационной структуры исполнителей по проекту в полном объеме в установленные сроки и с требуемым качеством своих функций. Блок генерации рискованных ситуаций, связанных с рисками некомпетентности или ухода специалистов, закрепленных за данной задачей, использует следующие механизмы моделирования: формирует коэффициент удлинения времени выполнения работы, создает блок задач или вложенную модель, которая соответствует переподготовке специалистов и повышению их квалификации (поиск и прием на работу новых специалистов), формирует запрос на подключение к выполнению данной задачи одного или нескольких других исполнителей организации. Рис-

ковая ситуация потери узлами трудоспособности моделируется аналогично ситуации полной или временной недоступности обеспечивающих ресурсов, рассмотренной выше.

При моделировании процессов управления проектами с учетом рисков одним из важных аспектов является определение схем распределения финансовых средств и рисков, которые могут привести к убыткам и невозможности завершения проекта в заданные сроки в условиях заданной динамики финансирования. В ходе моделирования реализации проекта формируется фактический профиль поступлений и затрат, в процессе анализа которого может возникнуть либо дефицит денежных средств, либо иметь место наличие временно свободных денежных средств. Во втором случае необходимо сбалансировать и равномерно распределить по работам, либо по этапам проекта финансовые потоки, поскольку средства могут быть обесценены (инфляционное воздействие) со временем и затем возникнет не планируемый дефицит. Эти действия выполняются системой либо автоматически с использованием процедуры сглаживания профиля потребности в ресурсах, либо итерационно (в пошаговом режиме моделирования) с привлечением пользователя. Выравнивание потребления финансовых средств позволяет сгладить профиль функции использования финансовых ресурсов при сохранении заданной продолжительности проекта либо минимизировать длительность проекта при выполнении ограничений на эти ресурсы. В ситуациях, когда возникает дефицит финансирования, возможно либо приостановить («заморозить») выполнение проекта (при этом возникают простои, грозящие штрафными санкциями, а также появляется риск морального или физического старения), либо использовать привлечение заемного финансирования. Привлечение заемных финансовых средств для проекта моделируется схемой погашения кредитов и выплаты дивидендов, таким образом, чтобы процентные ставки по заемным либо

привлеченным средствам были меньше процента прибыли проекта.

В предлагаемой системе моделирования учитывается не только определение возможности покрытия дефицита, который может возникнуть вследствие нехватки оборотных денежных средств, но и возможность покрытия случайного дефицита, который может наступить из-за реализации рисковой ситуации – страхование. Рассматривается три основных механизма страхования, которые определяются важностью риска и размером возможного ущерба: самострахование (формируется резервный фонд для покрытия возможного ущерба за счет средств исполнителя), взаимное страхование (риски перераспределяются между участниками проекта и формируется общий резервный фонд), коммерческое страхование – риски передаются на удержание третьему лицу, которое покрывает ущерб в случае

проявления факторов риска, а за это исполнитель выплачивает проценты.

Таким образом, предложенная имитационная модель с механизмами динамического параметрического и структурного изменения позволяет учесть влияние множества внешних и внутренних факторов риска при определении показателей проекта, за счет совместного моделирования процессов реализации проекта и процессов управления риском или реализации мероприятий устранения последствий проявления факторов риска с учетом вероятностного характера их возникновения. При этом обеспечивается сбор статистики по временным, стоимостным и другим параметрам с учетом всех видов основных и страховых обеспечивающих ресурсов, необходимых для реализации проекта в условиях влияния факторов риска и с учетом динамики их проявления (рис. 3).

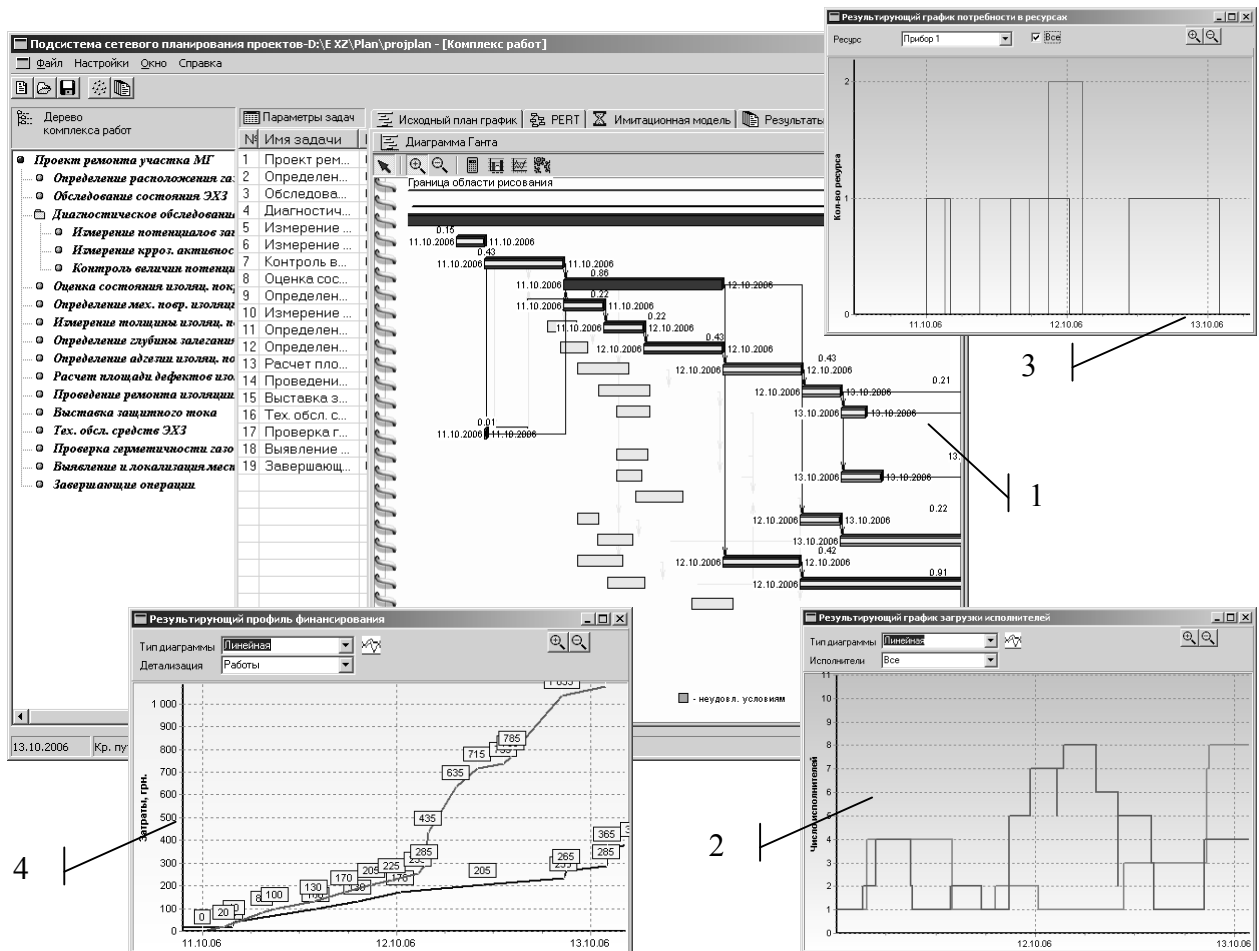


Рис. 3. Результаты моделирования проекта с учетом проявления факторов риска

В процессе обработки результатов моделирования определяются: фактические план-график выполнения работ (рис. 3, поз. 1), загрузки исполнителей (рис. 3, поз. 2), потребности в ресурсах (рис. 3, поз. 3) и профиль финансирования (рис. 3, поз. 4); «рисковые» работы, наиболее загруженные элементы, ненадежные элементы («узкие места»: высокий процент загрузки, возникновение очередей, большое число отказов и т.д.); дефициты в обеспеченности ресурсами и др. В результате может быть сформировано несколько альтернативных сценариев реализации проекта с учетом динамики проявления факторов рисков, с различными механизмами парирования рисков, которые могут быть оценены с помощью подсистемы принятия решений. Также как и в ходе моделирования, на этапе интерпретации результатов используется подсистема принятия решений, в которой на основе базы фактов (полученной в ходе моделирования), сформированной заранее базы правил и базы вопросов происходит анализ полученных результатов моделирования. Взаимодействие с подсистемой принятия решений производится на естественном языке, значительно упрощающее работу с системой моделирования и понимание результатов.

Заключение

Представленная системой моделирования информация используется менеджерами проекта для определения «узких мест» проекта, реальных механизмов парирования рисков, обеспечивающих повышение реализуемости проекта с достижением требуемых технико-экономических показателей. Система позволяет провести моделирование проекта с различными вариантами механизмов покрытия и нейтрализации проявления факторов риска: перераспределение финансовых средств; перепланирование хода реализации работ; оптимизация сроков и затрат, форсирование работ; привлечение дополнительных финансовых средств; страхование рисков и

др. Сравнение возможностей предприятия или системы кооперации, задействованной в реализации проекта с принятыми на предыдущем шаге моделирования механизмами парирования рисков, может привести к необходимости перепланирования комплекса работ, изменения профиля финансирования и даже отказа от реализации проекта. Модифицированная таким образом модель подвергается повторному моделированию с целью уточнения характеристик устойчивости проекта к учитываемым рискам.

Литература

1. Шапкин А.С., Шапкин В.А. Теория риска и моделирование рискованных ситуаций. – М.: Дашков и Ко, 2006. – 880 с.
2. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами: Учебное пособие. – М.: Омега-Л, 2005. – 664 с.
3. Балдин К.В., Воробьев С.Н. Управление рисками. – М.: Юнити-Дана, 2005. – 512 с.
4. Прохоров А.В., Садовничий А.С., Бек В.А. Системное моделирование логистических процессов в распределенных технологических комплексах // Технология приборостроения. – 2001. – № 1-2. – С. 32-39.
5. Дружинин Е.А. Основные положения риск-ориентированного подхода к управлению проектами // Труды Четырнадцатой международной конференции «Новые технологии в машиностроении». – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2004. – С. 22-23.
6. Системные информационные технологии управления проектами и программами создания сложной наукоемкой продукции: Учеб. пособие / Е.А. Дружинин, М.М. Митрахович, Е.С. Яшина, М.С. Мазорчук. – Х.: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2002. – 72 с.

Поступила в редакцию 10.01.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.В. Ткачук, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.