

# **Управление инновационным риском на основе имитационного моделирования. Основные подходы к оценке инновационного риска<sup>1</sup>**

## **Часть 1. Оценка риска**

**И.В. Демкин**

**Статья опубликована в журнале «Проблемы анализа риска», том 2, №3, 2005, с. 249**

### **Аннотация**

Статья посвящена проблемам оценки инновационного риска производственного предприятия на основе имитационного стохастического моделирования. Приводится классификация основных факторов инновационного риска. Проведен анализ основанных на имитационном моделировании подходов к количественной оценке инновационного риска. Показано, что основными подходами, учитывающими особенности инновационных проектов, являются методы, основанные на анализе стохастических графов. Для исследования влияния факторов риска на показатели эффективности инновационных проектов предлагается механизм построения информационных моделей бизнес-процессов в форме стохастических графов с циклами. Раскрывается алгоритм количественной оценки инновационного риска, основанный на имитационном моделировании.

### ***Ключевые слова***

Антирисковые мероприятия, стохастический граф, опцион, инновационный проект, возмещение ущерба, имитационная модель

---

<sup>1</sup> Статья выполнена в соответствии с п. 3.10 координационного плана научно-исследовательских работ в области организации производственных и социальных систем на период 2003-2005 г. Международной академии науки и практики организации производства (“Развитие форм и методов конкурентоспособности машиностроительных предприятий”).

# **The Management of Innovation Risk on the Base of Imitation Simulation**

## **Part 1 Risk estimation**

### **I.V. Dyomkin**

*“MATI” – Russian State Technology University named by K. E. Tsiolkovsky, Moscow*

### **Abstract**

This article is devoted to the problems of innovation risk estimation of production enterprise on the base of simulation of casual modeling. The classification of principal factors of innovation risk of innovation risk is shown. The analysis of approaches to the quantitative estimation of innovation risk based on the simulation modeling is made. It is shown that the basic approaches taking into account the characteristics of innovation projects, are the methods based on the analysis of the casual graphs. For examining the influence of the risk factors on the innovation projects efficiency indicators the mechanism of information models building of business-process in the form of casual graphs with cycles is offered. The algorithm of quantitative estimation of innovation risk, based on casual modeling is determined.

### **Key words**

Anti-risk measures, casual graph, option, innovation project, compensation of damage, simulation model

## Содержание

### Введение

1. Основные термины и определения
2. Особенности инновационных проектов
3. Основные факторы инновационного риска производственного предприятия
4. Анализ основных подходов к оценке инновационного риска

### Литература

## Введение

В последнюю четверть прошлого века, благодаря развитию высоких технологий и растущему материальному уровню населения, произошел переход от экономики массового производства к экономике индивидуальных услуг. В подобной, ориентированной на клиента, ситуации предприятия сталкиваются со стремительно меняющимся рынком. На этом динамичном рынке, все большую важность приобретает поиск разнообразия и предложение инноваций. Не менее важной характеристикой, влияющей на конкурентоспособность предприятия, становится скорость появления новых видов продукции и освоения новых участков производства. Производственное предприятие должно быть полностью ориентировано на принцип МТМ (minimal time-to-market), то есть продукт должен появиться на рынке в нужное время, в противном случае он может оказаться невостребованным.

Крупные производственные гиганты и промышленные группы, имеющие в своем распоряжении большие производственные мощности и немалые оборотные средства, в состоянии своими силами справиться с поставленной выше задачей, чего нельзя сказать о предприятиях средней и малой величины. Данные предприятия не имеют в своем распоряжении достаточно средств, необходимых для быстрой переориентации производства на новые актуальные направления. Одним из выходов в сложившейся ситуации является привлечение заемных средств, что, в свою очередь, приводит к высокой ответственности таких предприятий перед кредиторами. Как следствие, возникает необходимость не только в оценке эффективности инновационных проектов и разработке механизмов их финансирования, но и в своевременной и корректной оценке риска в процессе принятия управленческих решений.

Основной проблемой, стоящей перед производственными предприятиями является сложность, высокая стоимость и длительность процесса освоения новой продукции.

Сложность инновационного процесса обуславливается существованием рискованных ситуаций, особенно на начальных стадиях его жизненного цикла. Такие ситуации могут приводить к отказу от дальнейшего освоения продукции. К их числу можно отнести следующие ситуации:

- отсутствие материально-энергетических ресурсов, необходимых для успешного освоения продукции;
- отсутствие необходимого производственного оборудования;
- отсутствие производственной документации или отсутствие возможностей ее своевременного создания;
- отрицательные результаты патентного анализа;
- отрицательные результаты испытаний продукции;
- изменение рыночной ситуации в процессе освоения, например появление на рынке аналога и т.п.

Величина потерь становится особенно ощутимой по мере приближения начальных этапов жизненного цикла инновационного проекта к завершению. Например, современное фармацевтическое производственное предприятие расходует на первичные маркетинговые исследования современного гормонального препарата, в среднем, от 1 до 10 тысяч рублей. Для полноценного проведения доклинических, клинических испытаний, включая разработку документации и прохождения обязательной процедуры регистрации, уровень затрат поднимается до 1 млн. рублей на одно наименование препарата. Стоимость производственного оборудования, проектных работ по монтажу, наладке и запуску оборудования может исчисляться уже десятками миллионов рублей [1].

Нельзя так же забывать и о возможном риске увеличения сроков и затрат, связанных с освоением продукции, что, в свою очередь, может привести к уменьшению рыночного спроса. Одним из факторов такого риска является необходимость выполнения значительного объема доводочных работ. Общий объем таких доводочных работ предопределяется случайными результатами технического анализа, испытаний опытных образцов и т.п. и может достигать порядка 30-60% совокупного объема работ проекта [1].

Своевременное выявление и оценка факторов инновационного риска - одна из задач риск-менеджера. Другой его задачей является планирование и проведение мероприятий, предназначенных для нейтрализации, компенсации или минимизации возможного ущерба, возникающего вследствие реализации негативных проявлений риска или же для усиления

положительного эффекта, вызванного реализацией событий, связанных с риском. Назовем такие мероприятия антирисковыми. В большинстве случаев проведение антирисковых мероприятий связано с дополнительными затратами, что, в свою очередь, может привести к ухудшению ожидаемых значений показателей эффективности инновационных проектов. Вследствие этого, при управлении инновационным риском возникает необходимость в выработке разумного компромисса между эффективностью и риском инновационного проекта. Такой компромисс определяется склонностью инвесторов к риску [2]. Достижение определенного компромисса может быть установлено формулированием основных требований, предъявляемых риск-менеджером к показателям оценки эффективности и риска инновационного проекта.

Таким образом, для эффективного управления инновационным риском современного предприятия необходимо решать следующие задачи:

- определение основных требований по достижению желаемых значений показателей эффективности и риска инновационного проекта;
- своевременное выявление факторов инновационного риска, их оценка и анализ с учетом выработанных требований;
- планирование и осуществление антирисковых мероприятий.

## 1. Основные термины и определения

К **инновационному риску** отнесем все виды риска, проявляющиеся при создании новой продукции или внедрения новой технологии на производственном предприятии.

**Форвардный контракт** – это обязательное для исполнения соглашение между сторонами о будущей поставке предмета контракта, например товаров, ценных бумаг, валюты и пр. В момент заключения форвардного контракта стороны должны согласовать цену, по которой сделка должна быть исполнена. Такая цена называется **ценой поставки**. Заключение форвардного контракта не требует от сторон каких-либо расходов, за исключением расходов, связанных с оформлением сделки и с выплатой возможной комиссии посреднику [2].

**Справедливая стоимость** актива представляет собой сумму денежных средств, достаточную для приобретения актива или исполнения обязательства при совершении сделки между хорошо осведомленными, действительно желающими совершить такую сделку, независимыми друг от друга сторонами. Оценкой справедливой стоимости актива является **равновесная цена**, т.е. такая цена, при которой инвесторы не могут, не подвергаясь какому-либо риску, обеспечить прибыль путем обмена активами, предполагающие одинаковые денежные

потоки [3].

**Опцион** – это финансовый инструмент, дающий его владельцу право купить (продать) по установленной цене (**цене исполнения**) оговоренный в опционе актив (определенное количество актива) в определенный момент или до истечения установленной даты (**даты истечения**). Опцион предоставляет его владельцу право на получение потенциальных будущих экономических выгод, связанных с изменениями в справедливой стоимости актива.

**Реальный опцион** представляет собой индивидуальный контракт, представляющий интерес только для участников этого контракта и предоставляющий право покупателю опциона в случае наступления определенных условий провести зафиксированные контрактом мероприятия [4,5]. В отличие от рыночного опциона он не является ценной бумагой. Использование реального опциона предполагает расходы покупателя на его оплату путем выплаты **опционной премии**. Если неблагоприятная ситуация (условия исполнения реального опциона) не наступает, то указанные выше расходы не принесут каких либо выгод покупателю опциона. В противном случае, покупателем опциона могут быть произведены мероприятия, позволяющие снижать риски изменения цен, процентных ставок и другие риски исполнения проекта, а также мероприятия, связанные с использованием возможности благоприятного развития рыночной конъюнктуры.

**Период до истечения опциона** – это период времени от момента вступления в силу опционного контракта до даты истечения опциона.

## 2. Особенности инновационных проектов

Инновационные проекты производственного предприятия носят долгосрочный характер и могут быть отнесены к классу инвестиционных проектов. Реализация таких проектов предполагает наличие нескольких фаз жизненного цикла [5,6]:

1. Преинвестиционная фаза, включающая подробное исследование перспективных наименований продукции, включая анализ патентной чистоты, маркетинговый анализ, анализ сырья и технический анализ, проведение предварительных испытаний, подготовку обоснования проекта освоения продукции, оценку его эффективности, выработку организационно-экономического механизма реализации проекта и принятие решения о начале инвестирования;
2. Инвестиционная фаза, включающая проведение переговоров и заключение контрактов с поставщиками, подрядчиками и др. контрагентами, разработку проектной документации, заказ сырья и вспомогательных материалов, приобретение технологического оборудования,

строительно-монтажные работы, производство промышленных серий, прохождение контроля, подготовку кадров и продвижение продукции на рынке;

3. Эксплуатационная фаза, включающая ввод объекта в эксплуатацию, работы по достижению полной производственной мощности, последующей модернизации и расширения предприятия, работы по ликвидации или продаже активов предприятия. На этом этапе происходит окончательное погашение долга по кредитам и выплата дивидендов акционерам.

Риск-анализ инновационного проекта заключается в определении основных факторов инновационного риска, оценке его уровня, выборе антирисковых мероприятий и оценке эффективности их применения.

На примере проекта освоения нового лекарственного препарата производственной фармацевтической компанией рассмотрим особенности риск-анализа первых двух фаз жизненного цикла. Выделим в жизненном цикле три основные этапа такого проекта:

1. Подробное исследование и принятие решений о начале освоения нового препарата;
2. Разработка документации, проведение испытаний и регистрация препарата;
3. Освоение препарата в производстве и его продвижение.

Первый этап характеризуется небольшими временными рамками и затратами, к которым относятся, в основном, текущие расходы на содержание штатных специалистов-аналитиков. Важность данного блока состоит в высокой ответственности при принятии решения о начале освоения и высокой вероятностью отказа от освоения препарата.

Второй этап характеризуется широкими временными рамками (различающимися для каждого типа препаратов) и дорогостоящими исследованиями. Риск отказа от освоения препарата также существует, хотя он значительно меньше аналогичного риска предыдущего этапа.

Последний этап связан с относительно высоким уровнем затрат на приобретение, установку и наладку оборудования, выпуск первых пробных серий препарата, а также высоким уровнем затрат на продвижение препарата. Риск отказа от освоения препарата здесь также существует, хотя и незначителен.

### **3. Основные факторы инновационного риска производственного предприятия**

Основные факторы инновационного риска производственного предприятия, проявляющиеся в различной степени на различных фазах жизненного цикла, условно, можно

разделить на следующие группы [6,7]:

- страновые факторы;
- макроэкономические факторы;
- микроэкономические факторы;
- инновационные факторы;
- прочие факторы.

К группе страновых факторов риска относят:

- войны, социальные волнения, забастовки, террористические акты и т.п.;
- национализация, экспроприация имущества, ограничения денежных платежей и переводов;
- изменение налогового, таможенного, валютного законодательства;
- нарушение работы арбитражно-судебной системы, отмена государственных гарантий и т.п.

Влияние страновых факторов риска можно существенно уменьшить, выбрав страну (регион) осуществления инновационного проекта.

К группе макроэкономических факторов риска относят:

- сбытовой риск или возможные изменения рыночной конъюнктуры, что выражается в изменении спроса (предложения) и, соответственно, цен на материально-энергетические ресурсы, продукцию и пр.;
- инфляционный риск или риск возможного изменения уровня цен в стране вследствие инфляции;
- риск изменения ставки процента или риск, связанный с возможными изменениями ставки рефинансирования, процентных ставок на рынке капитала;
- Валютный риск или риск изменения курсов валют, проявляющийся в случае, когда выбранная основная валюта проекта не совпадает с валютой по контрактам поставки оборудования, продукции и т.п.

Макроэкономические факторы риска, подобно страновым факторам, характеризуются преимущественно объективными обстоятельствами.

Реализация одного из страновых или макроэкономических факторов риска может повлечь за собой пересмотр инвестиционного проекта или отказ от него даже на начальных фазах жизненного цикла. Если масштаб ущерба от проявления факторов риска будет достаточно высок, то участники проекта воспримут его как нерентабельный и понесут ущерб в размере средств, вложенных в разработку такого проекта.

К группе микроэкономических факторов риска относят:



- риск участников проекта или возможность невыполнения участником инновационного проекта своих обязательств (невыполнение договора поставки материалов, оборудования и т.п.);
- риск превышения сметной стоимости проекта по причинам ошибок проектирования, проявлений других факторов риска (риск не проявляется на первой фазе цикла);
- риск несвоевременного завершения строительно-монтажных работ (риск не проявляется на первой фазе цикла);
- производственный риск или риск сбоев (остановки) производства (риск не проявляется на первой фазе цикла);
- конструкционный и технологический риск или риск неосуществимости проекта из-за некачественной проектной документации, технологии и т.п. (риск не проявляется на первой фазе цикла).

Микроэкономические факторы риска характеризуются преимущественно субъективными обстоятельствами или вызваны проявлением других рассмотренных факторов риска.

Инновационные факторы риска связаны с особенностями инноваций в проектах, а также особенностями состава участников проекта.

К группе инновационных факторов риска, проявляющихся в основном на прединвестиционной фазе жизненного цикла, относят:

- риск оригинальности, проявляющийся в возможной неосуществимости проекта, вызванной результатами патентного анализа, исследованиями патентной чистоты состава и чистоты торговой марки продукции;
- риск технологической неадекватности, проявляющийся в возможной неосуществимости проекта или дополнительных объемах так называемых доводочных работ, определяемых результатами технического анализа, испытаний продукции и т.п.;
- риск информационной неадекватности, проявляющийся в недостаточности проектной информации, необходимой для принятия решений об инвестировании. Проявление данного фактора риска может привести к отказу осуществления проекта или необходимости выполнения дополнительных работ по сбору необходимой информации.

К группе прочих факторов риска относят риск наводнений, ураганов, других стихийных бедствий, а также риск непреодолимой силы. Риск данной группы факторов может проявляться на любой стадии проекта и привести его к завершению.

Неблагоприятное влияние отмеченных факторов риска частично снижается вследствие

существующего на предприятии механизма управления риском. Например, влияние фактора сбытового риска, проявляющееся в заниженном спросе на осваиваемый препарат, ослабляется проведением предварительного и подробного маркетингового анализа на различных фазах жизненного цикла. При неблагоприятной рыночной ситуации по результатам указанного анализа инновационный проект может быть своевременно пересмотрен или остановлен.

## **4. Анализ основных подходов к оценке инновационного риска**

### **4.1. Показатели оценки эффективности и риска инновационного проекта**

Интегральными показателями оценки эффективности проекта являются показатели, которые базируются на структурном анализе входных (затратных) и выходных (доходных) притоков и оттоков денежных средств на протяжении всего жизненного цикла проекта. Такой анализ проводится с использованием чистого денежного потока, представляющего разности между значениями доходов, получаемых в ходе реализации проекта и затрат за соответствующие периоды времени, исчисленные в стоимостном выражении [5]. Чистый денежный поток служит основой получения оценок показателей эффективности проекта. Однако на начальных этапах инновационного проекта вследствие многоэтапности и неопределенности значений его параметров получение достоверных оценок притоков средств, в большинстве случаев, не представляется возможным. Вследствие этого показателями оценки эффективности инновационного проекта на начальных фазах жизненного цикла могут являться показатели ожидаемой продолжительности и совокупных издержек проекта (отдельных этапов проекта).

К показателям оценки инновационного риска начальных фаз проектного цикла можно отнести:

- функции распределения и плотности распределения вероятностей продолжительности и бюджета проекта (этапов проекта) для каждого из основных сценариев его будущего развития;
- стандартные отклонения, коэффициенты вариации и асимметрии продолжительности и бюджета проекта (этапов проекта) для каждого из основных сценариев его будущего развития;
- вероятность реализации пессимистических сценариев будущего развития проекта;
- ожидаемый ущерб при реализации пессимистических сценариев будущего развития проекта.

На наш взгляд, с точки зрения эффективности проведения риск-анализа, существенными при реализации инновационного проекта являются три основных сценария будущего развития:

- пессимистический сценарий, включающий все возможные варианты будущего развития проекта, завершением которых является отказ от продолжения работ по проекту. Причинами такого отказа может стать проявление одного или нескольких рассмотренных факторов риска;
- оптимистический сценарий, включающий все возможные варианты будущего развития проекта, не относящиеся к пессимистическим сценариям и не включающий повторных работ. При реализации таких сценариев результаты контроля, испытаний опытных образцов и т.п. положительны и, следовательно, они не инициируют выполнение повторных (доводочных) работ проекта;
- вероятный сценарий, включающий все возможные варианты будущего развития проекта, не относящиеся к пессимистическим сценариям и включающий хотя бы одну повторную работу.

## **4.2. Оценка инновационного риска методом Монте-Карло**

Метод Монте-Карло [8] представляет собой численный метод решения задач при помощи моделирования случайных величин. Использование данного метода при оценке инновационного риска предполагает выполнение следующих основных этапов:

- построение информационной модели бизнес-процессов инновационного проекта (этапов проекта);
- моделирование случайных распределений параметров инновационного проекта;
- осуществление имитационных экспериментов;
- анализ результатов экспериментов.

Практическое использование метода Монте-Карло делает необходимым разработку программного обеспечения по следующим основным соображениям:

- высокая трудоемкость расчетов (для обеспечения желаемой точности результатов необходимо проведение большого числа имитационных экспериментов);
- упрощение построения бизнес-моделей инновационного проекта;
- упрощение анализа результатов экспериментов.

Метод Монте-Карло может использоваться:

- при многофакторном анализе и оценке денежных потоков проекта [6,9,10];
- при анализе стохастических сетей методом анализа и графической оценки проектов (GERT) [11,12];
- при анализе стохастических графов с циклами [1,13].

#### **4.2.1 Методы многофакторного анализа и оценки денежных потоков проекта**

К методам многофакторного анализа и оценки денежных потоков проекта можно отнести:

- имитационную стохастическую модель Дэвида Герца [9,10];
- имитационную стохастическую модель М.В. Грачевой [6].

Имитационная стохастическая модель Дэвида Герца основана на оценке совместного влияния на денежные потоки инвестиционного проекта девяти случайных факторов. Такими факторами являются:

1. Величина рынка;
2. Продажная цена;
3. Темпы роста рынка;
4. Доля рынка (часть рынка, от которой зависят физические объемы продаж);
5. Требуемые инвестиции;
6. Продолжительность жизненного цикла производственных мощностей;
7. Остаточная стоимость инвестиций;
8. Эксплуатационные издержки;
9. Постоянные издержки.

Для каждого из этих факторов определяются соответствующие дискретные распределения вероятностей, основанные на обработке статистических данных или экспертной оценке руководством инвестиционной компании. С помощью имитационного моделирования дискретных распределений определяются их выборочные значения и на дальнейшем шаге вычисляются показатели оценки эффективности инвестиционных проектов (чистая текущая стоимость инвестиций  $NPV$ , внутренняя норма доходности инвестиций  $IRR$  и др.), являющиеся результатом произвольного сочетания случайных выборок перечисленных выше факторов. Процесс многократно повторяется. Процесс имитационного моделирования завершается построением графиков функции выборочного распределения, плотности

распределения показателей оценки эффективности проекта и расчетом значений других показателей риска.

В имитационной модели денежных потоков, предназначенной для оценки эффективности проекта без учета источников финансирования в условиях российской экономики [6], предлагается:

- более детальный учет величины и сроков обращения дебиторской и кредиторской задолженностей в качестве случайных переменных, являющихся ключевыми характеристиками задержки платежей;
- включение в модель случайной ставки дисконтирования (нормы дисконта), являющейся функцией времени с целью учета нестабильной и меняющейся во времени стоимости капитала;
- учет в модели налоговых ставок в качестве случайных переменных при большом горизонте планирования инвестиционного проекта;
- учет в модели инфляции в качестве случайной переменной при планировании в текущих ценах.

Например, базовой моделью расчета эффективности инвестиционного проекта является следующая модель денежных потоков проекта, построенная без учета механизма финансирования проекта:

$$CF(t) = CFO(t) + CFI(t), \text{ где:} \quad (1)$$

$CF(t)$  - денежный поток за период  $t$ ;

$CFO(t)$  - денежный поток от основной деятельности предприятия в период  $t$  по проекту;

$CFI(t)$  - тоже от инвестиционной деятельности.

В свою очередь, модель денежного потока от основной деятельности может быть представлена в следующем виде:

$$CFO(t) = P(t) \cdot Q(t) - \Delta D(t) - \left[ \sum_{i=1}^n AC_i(t) \cdot Q(t) + \sum_{j=1}^m FC_j(t) + W(t) - \Delta K(t) + Taxes(t) \right], \text{ где:} \quad (2)$$

$P(t)$  - цена единицы продукции в периоде  $t$  в ед.ст. с учетом НДС;

$Q(t)$  - объем продаж продукции;  $t$  - шаг (период) расчета в рамках горизонта планирования  $T$  (срока реализации инвестиционного проекта);  $t = 0, 1, \dots, T$ ;

$\Delta D(t)$  - изменение дебиторской задолженности поставщиков в периоде  $t$ ;

$\Delta K(t)$  - изменение кредиторской задолженности перед поставщиками в периоде  $t$ ;

$AC_i(t)$  - переменные затраты на единицу продукции вида  $i$  в периоде  $t$  в ед. ст., где  $i$  - виды переменных затрат (сырье и материалы);  $n$  - количество видов переменных затрат;

$FC_j(t)$  - постоянные затраты вида  $j$  в периоде  $t$ . Здесь  $j$  - виды постоянных затрат;  $m$  - количество видов постоянных затрат;

$W(t)$  - выплаченная зарплата в период  $t$ ;

$Taxes(t)$  - налоги, выплаченные в период  $t$ .

В этих условиях один из основных показателей оценки эффективности инвестиционного проекта  $NPV$  при постоянной норме дисконта  $r$  может быть вычислен следующим образом:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF(t)}{(1+r)^t} \quad (3)$$

Если норма дисконта представляет собой функцию времени, то можно воспользоваться формулой сложных процентов [14]:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF(t)}{\prod_{k=0}^t (1+r_k)}, \text{ где:} \quad (4)$$

$r_k$  - норма дисконта в периоде  $k$  реализации проекта;  $k = 0, 1, \dots, T$ .

Выбор определенного механизма финансирования проекта может изменить чувствительность показателей эффективности (например  $NPV$ ) к составляющим денежного потока. Поэтому представляет интерес также модель денежных потоков проекта с учетом выбранного механизма финансирования [6,15]:

$$CF(t) = CFO(t) + CFI(t) + CFF(t), \text{ где:} \quad (5)$$

$CFF(t)$  - денежный поток от финансовой деятельности в период  $t$  по проекту.

К основным недостаткам методов многофакторного анализа и оценки денежных потоков проекта при их использовании в оценке инновационного риска можно отнести:

- невозможность учета большинства факторов инновационного риска, влияющих на стоимость проекта и, как следствие, невозможность корректной оценки риска стоимости и продолжительности проекта. Например, в рамках рассмотренных моделей не представляется возможным оценить влияние на уровень риска следующих факторов: циклов при выполнении операций проекта, вероятностей выполнения операций и т.п. В процессе управления инновационным риском необходимо предусмотреть антирисковые мероприятия и оценить их

эффективность, что невозможно сделать без корректной оценки риска стоимости проекта (этапов проекта);

- в основе большей части рассмотренных моделей заложен постулат независимости случайных переменных, являющихся составляющими денежного потока проекта. Однако во многих случаях наблюдается корреляционная зависимость между случайными переменными, в том числе и множественная корреляция. Например, может иметь место корреляционная зависимость между ценой и объемами выпускаемой продукции. В этом случае механизм оценки риска существенно усложняется;
- функции распределения случайных переменных в рассмотренных моделях задаются на основе экспертных оценок с учетом возможных различных сценариев будущего развития. Таких сценариев при реализации инновационных проектов может быть достаточно много. Вследствие этого эксперту достаточно сложно получить такие оценки.

## **4.2.2 Метод анализа и графической оценки проектов**

Метод анализа и графической оценки проектов [11,12] предназначен для предварительной оценки различных стратегий (сценариев будущего развития) на стадии изучения физической и экономической реализуемости проекта, позволяет предусмотреть различные затруднения (виды риска) и наметить план их устранения.

### **4.2.2.1 Определение GERT-сети**

Управление инновационным проектом согласно “GERT” может быть представлено в виде стохастической сети. Любая такая сеть имеет следующие свойства:

1. Сеть состоит из узлов, реализующих логические функции, и направленных ветвей. Узлам соответствуют события или цели проекта. Ветвям соответствуют работы (операции) проекта и (или) процессы передачи определенной информации. Логические функции предназначены для моделирования взаимосвязей выполнения работ и реализации событий;
2. Выделяют узел источник, как правило, предназначенный для описания момента начала выполнения работ по проекту и один или несколько узлов стоков, предназначенных для описания моментов завершения проекта (этапа проекта)

3. Под реализацией стохастической сети понимается реализация определенной совокупности ветвей и узлов, достаточной для достижения цели проекта (реализации задаваемого определенного набора узлов стоков).

#### 4.2.2.2 Описание параметров ветви GERT-сети

Представляемые ветвями операции проекта, в общем случае, характеризуются следующим набором параметров:

- условная вероятность выполнения операции (вероятность выполнения операции при условии реализации узла, являющегося исходящим для операции);
- тип распределения вероятностей продолжительности операции и совокупность параметров, характеризующих тип распределения;
- показатель счета;
- номер операции.

Случайная или детерминированная переменная времени выполнения операции задается в GERT с использованием:

1. Типа распределения;
2. Совокупностью параметров распределения.

Проектировщик GERT-сети может самостоятельно выбрать один из следующих типов распределения:

1. Константа (время выполнения операции в этом случае представляет собой детерминированную величину);
2. Нормальное;
3. Равномерное;
4. Экспоненциальное;
5. Логарифмически нормальное;
6. Пуассоновское;
7.  $\beta$  – распределение;
8.  $\gamma$  – распределение.

Каждый тип распределения определяет структуру параметров, значения которых должны быть заданы проектировщиком сети. Например, для нормального типа распределения (на практике используется усеченное нормальное распределение, которое ограничивает возможные



значения случайной величины минимальным и максимальным значениями) проектировщику сети необходимо задать значения следующих параметров:

1. Среднее значение величины;
2. Стандартное отклонение величины;
3. Минимальное значение;
4. Максимальное значение.

Для равномерного типа распределения достаточно задания лишь двух последних вышеперечисленных параметров.

Ветвь сети считается реализованной, если выбрана конкретная реализация величины времени выполнения соответствующей этой ветви операции на основании задаваемого распределения. Узел считается реализованным, если приписываемая ему логическая функция принимает истинное значение.

Показатель счета, является внутренним параметром ветви и увеличивается на единицу каждый раз, когда реализуется очередная ветвь. Номер операции предназначен для идентификации операций сети и позволяет при необходимости различать операции с одинаковыми начальными и конечными узлами и (или) для осуществления замены одного узла другим с целью изменения логики сети.

### **4.2.2.3 Описание параметров узла GERT-сети**

Узлы GERT-сети, в общем случае, характеризуются следующим набором параметров:

1. Порядковый номер узла
2. Начальное число степеней свободы;
3. Число степеней свободы, необходимое для последующих реализаций узла;
4. Вид узла;
5. Тип узла.

Порядковый номер узла предназначен для его идентификации в сети. Нумерация узлов в GERT-сети осуществляется натуральными числами, начиная с единицы.

Параметры числа степеней свободы предназначены для задания логических функций, истинность которых означает реализацию узла. Например, начальное число степеней свободы, равное пяти указывает, что для первоначальной реализации узла достаточно реализации пяти инцидентных (непосредственно предшествующих) операций сети. Если таких инцидентных операций в сети больше пяти, например семь, и сеть не содержит циклов, то для первоначальной

реализации узла достаточно реализации пяти любых инцидентных операций в любых комбинациях. Поскольку GERT-сеть допускает циклы повторное исполнение операций и узлов, в ряде случаев, необходимо задать число степеней свободы для последующих за первой реализаций узла.

В GERT-сети допускается использование двух видов узлов:

1. Узел с детерминированными выходами;
2. Узел со стохастическими выходами.

Изображение параметров узлов с детерминированными и стохастическими выходами показано на рис. 1 и .2. На рис. 1 б изображен узел с двумя детерминированными выходами. Дуга окружности в правой части узла соответствует детерминированным выходам, где условная вероятность реализации выходных ветвей  $D$  и  $C$  равна единице. На рис. 2 б изображен узел с двумя вероятностными выходами. Заметим, что ровно одна из выходных ветвей  $D$  или  $E$  должна быть реализована при реализации стохастического узла. Следовательно, по теореме о вероятности полной группы несовместных событий [16], в данном случае должно выполняться условие:

$$P_E + P_D = 1 \quad (6)$$

В общем случае, если узел сети имеет  $n$  стохастических выходов, а  $P_i$  - условная вероятность реализации  $i$ -ой выходной ветви, то аналогичное условие записывается следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (7)$$

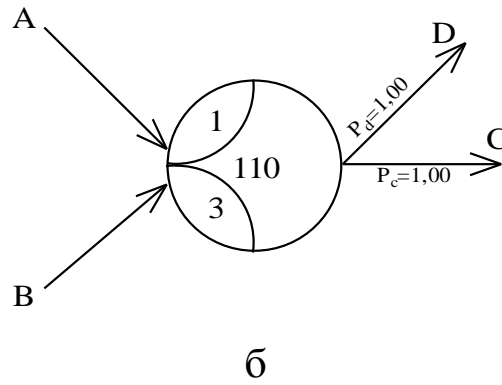
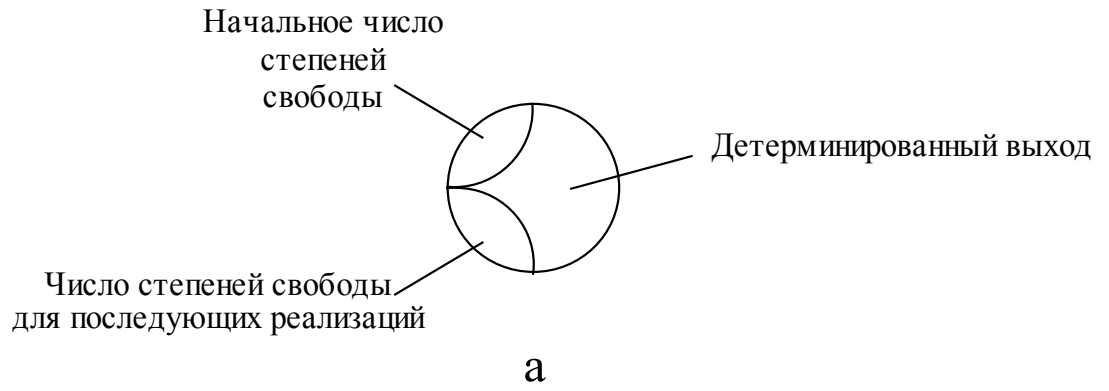


Рис. 1 Изображение узла с детерминированными выходами

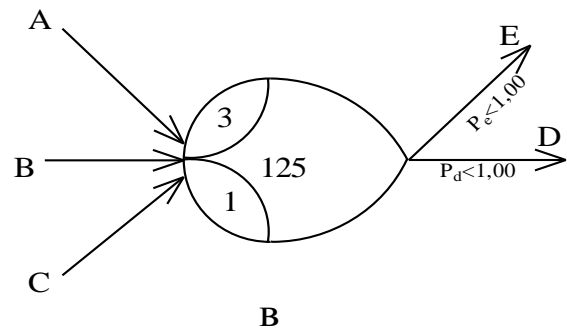
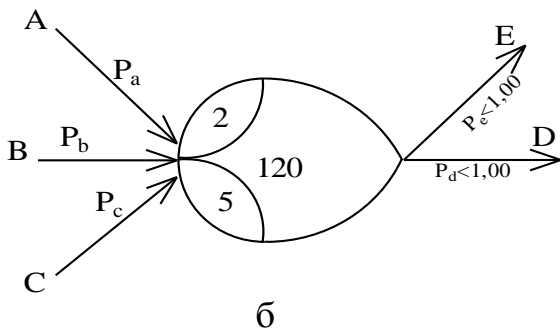
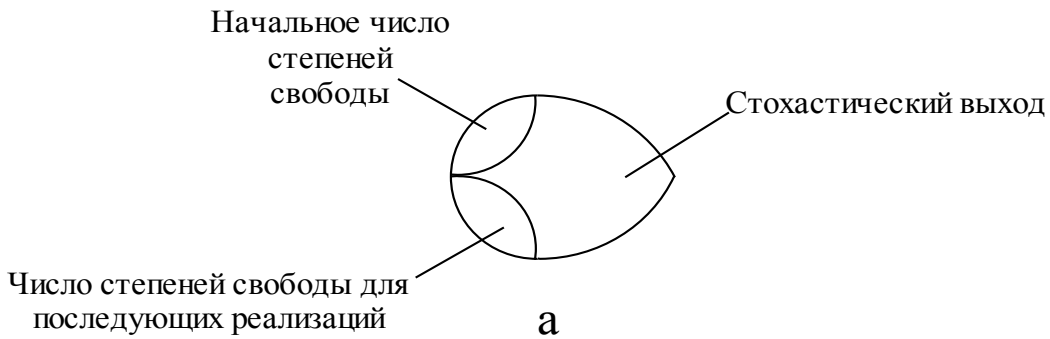


Рис. 2 Изображение узлов со стохастическими выходами

В GERT-сетях выделяют следующие типы узлов, имеющих различные функции:

1. Узел-источник;
2. Узел-сток;
3. Узел-статистика;
4. Узел-метка.

Для узла-источника не существует входящих в него ветвей и операции, исходящие из этого узла начинаются в начальный (нулевой) момент времени. Таким узлом определяется событие начала выполнения проекта. Соответственно, для конечного узла-стока не существует исходящих из него ветвей. Сеть считается реализованной, если реализованы задаваемые проектировщиком наборы узлов-стоков. Изображение детерминированного и вероятностного узлов-источников показано на рис 3 а и 3.б соответственно, а узла-стока на рис. 3 в.

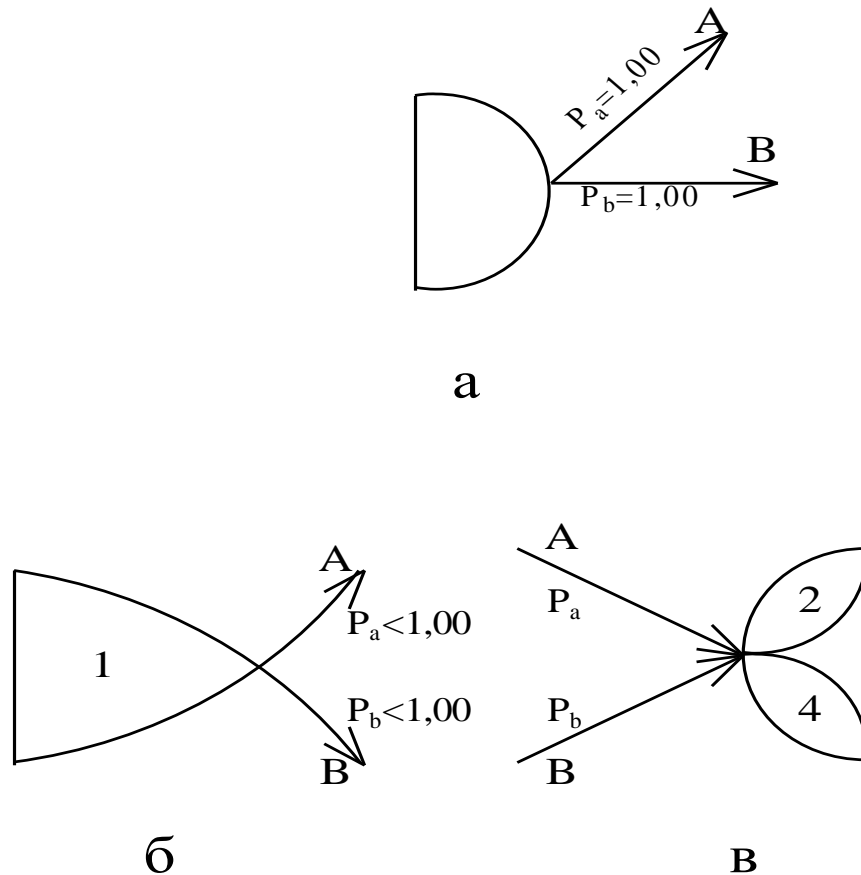


Рис. 3 Изображение узлов-источников и узла-стока

Результатом моделирования на основе GERT-сети является статистика числа реализаций каждого узла. Кроме того, для узлов-статистик возможен сбор пяти типов данных:

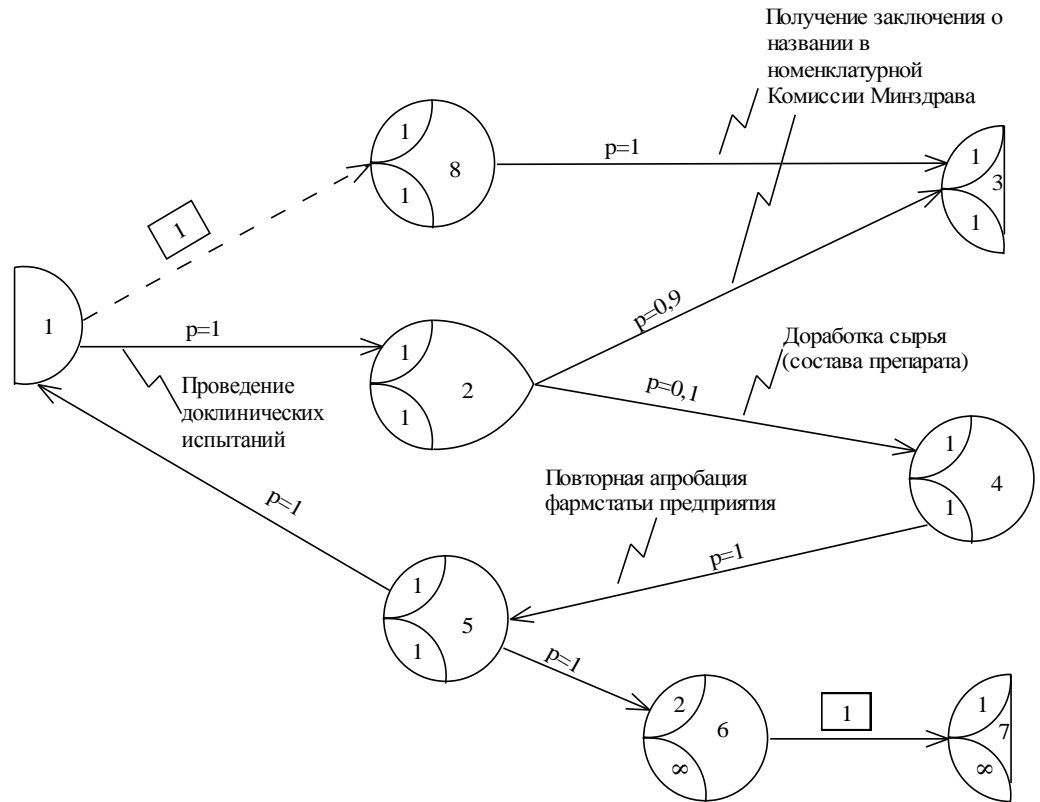
1. Момент первой реализации узла;
2. Моменты каждой реализации узла;
3. Временной интервал между реализациями двух выбранных проектировщиком узлов сети;
4. Временные интервалы между реализациями одного узла;
5. Запаздывание реализации узла относительно момента завершения ранней операции инцидентной этому узлу.

Узел-метка предназначен для расчета временных интервалов между реализациями двух узлов сети. Момент реализации узла-метки рассматривается, как момент начала интервала между узлом-меткой и ближайшим узлом-статистикой.

Все узлы-стоки являются узлами-статистиками.

#### **4.2.2.4 Модификация логики GERT-сети**

При моделировании циклически повторяющихся работ в задачах управления проектами требуется модификация логики сети. Рассмотрим следующий пример. Допустим, требуется выполнить моделирование на основе GERT-сети этапа проведения доклинических испытаний нового лекарственного препарата фармацевтического производственного предприятия. Предположим, что результат операции “Проведение доклинических испытаний нового препарата” случаен. С условной вероятностью 0,1 требуется доработка по результатам испытаний сырья (состава препарата), заканчивающаяся повторной апробацией фармстатьи предприятия. После такой повторной апробации необходимо повторное проведение доклинических испытаний. С условной вероятностью 0,9 по результатам доклинических испытаний может быть получено заключение о названии препарата в номенклатурной Комиссии Минздрава. На основе исторических данных по аналогичным проектам известно, что операции “Проведение доклинических испытаний”, “Доработка сырья”, “Повторная апробация фармстатьи” не могут выполняться более двух раз. GERT-сеть такого процесса представлена на рис. 4.



**Рис. 4 Фрагмент GERT-сети этапа проведения доклинических испытаний нового лекарственного препарата**

Узел 2 имеет два стохастические выхода. Первый выход совпадает с операцией “Получение заключения о названии препарата в номенклатурной Комиссии Минздрава” и реализуется с условной вероятностью 0,9. Другой выход узла 2 связан с циклом и совпадает с операцией “Доработка сырья (состава препарата)”. Ветвь из узла 5 в узел 6 используется для подсчета числа реализаций узла 5. Узел 6 реализуется только после двукратной реализации инцидентной ему ветви, что эквивалентно двукратной реализации цикла (при условии отрицательных результатов доклинических испытаний в обоих случаях). Когда узел 6 реализован, операция, помеченная на сети номером 1, вызывает смену узла 1 узлом 8, что, в свою очередь, приводит к выходу из цикла при двукратном его выполнении. Заметим, что в условиях данного примера, результаты доклинических испытаний могут оказаться положительными. В этом случае будет сразу же реализована операция “Получение заключения

о названии препарата в номенклатурной Комиссии Минздрава” без выполнения циклических операций.

#### 4.2.2.5 Стохастическое имитационное моделирование на основе GERT-сети

Реализация ветвей и узлов стохастической сети производится в ходе статистических испытаний методом Монте-Карло. Для реализации детерминированной ветви (ветвей), исходящей из реализованного узла, либо из источника, используется основная GERT процедура, состоящая в получении случайной функции распределения длительности операции, представленной данной ветвью исходя из совокупности параметров и типа распределения. Далее с помощью генератора случайных чисел получают конкретные реализации случайной величины в соответствии с задаваемым распределением. Данная процедура повторяется для каждой ветви, инцидентной рассматриваемому узлу. Для реализации случайных ветвей, исходящих из вероятностного узла, до выполнения основной GERT процедуры, необходимо выбрать реализуемые ветви. Такой выбор осуществляется на основе генератора случайных чисел, имеющих равномерное распределение на отрезке [0,1]. Алгоритм выбора реализуемых ветвей изложен в работах [1,11]. Если узел реализуется, то моделирование продолжается для ветвей, исходящих из этого узла, и проводится до тех пор, пока не будут реализованы соответствующие узлы-стоки. Моделирование повторяют достаточно большое число раз, после чего статистика, собранная для необходимых узлов, анализируется.

#### 4.2.2.6 Оценка ранних моментов реализации узла GERT-сети

В связи с тем, что узлу сети могут быть инцидентны несколько ветвей, перед проектировщиком встает задача оценки ранних моментов реализации каждого узла сети.

Если число степеней свободы узла совпадает с числом инцидентных узлу ветвей, то при отсутствии циклов в графе, ранний момент реализации  $i$ -ого узла сети  $t_{pi}$  может быть вычислен по формуле вычисления пути наибольшей длины, изложенного в методе критического пути “СРМ”[11,17]:

$$t_{pi} = \max_j (t_{pj} + t_{ji}), \text{ где:} \quad (8)$$

$j$  - номер узла, являющегося началом ветви, которая инцидентна узлу  $i$ ;

$t_{ji}$  - реализация продолжительности выполнения операции, начинающейся в узле  $j$  и заканчивающейся в узле  $i$  сети.

В других случаях расчет ранних моментов реализации узла сети представляет собой более сложную задачу. Например, при отсутствии узлов со стохастическими выходами и циклов, если принять число степеней свободы узла  $i$ , равное двум, а число инцидентных узлу ветвей, равное трем (предположим для простоты инцидентные ветви  $(1, i)$ ;  $(2, i)$ ;  $(3, i)$ ), то  $t_{pi}$  можно определить по формуле:

$$t_{pi} = \min(\max(t_{p1} + t_{1i}, t_{p2} + t_{2i}), \max(t_{p1} + t_{1i}, t_{p3} + t_{3i}), \max(t_{p3} + t_{3i}, t_{p2} + t_{2i})) \quad (9)$$

В общем случае, формула оценки ранних моментов реализации узла еще более усложняется, что ограничивает широту применения рассматриваемой модели на основе GERT-сетей.

#### 4.2.2.7 Пример оценки инновационного риска с использованием GERT-сети

Рассмотрим порядок расчета показателей инновационного риска по модели, представленной фрагментом GERT-сети рис.4. Для простоты положим, что продолжительность выполнения любой операции сети представляет собой детерминированные (усредненные) величины, значения которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Описание параметров операций сети

Начальный узел	Конечный узел	Условная вероятность реализации	Продолжительность операции, ед.времени
1	2	1	10
2	3	0,9	5
2	4	0,1	6
4	5	1	5
5	1	1	0
8	3	1	5
5	6	1	0



Теперь можно начать моделирование переходов от узла к узлу, начиная от узла-источника с номером один. Момент первой реализации узла-источника равен нулю. В результате на первом шаге расчетов получаем:

Таблица 2

### Результаты моделирования на первом шаге

Операция	Число степеней свободы конечного узла	Число реализаций конечного узла	Длительность операции	Ранний момент первой реализации конечного узла
1-2	1	1	10	10

Так как число степеней свободы узла 2 совпало с числом реализаций инцидентных узлу дуг, то узел 2 считается реализованным. Данный узел имеет два стохастических выхода 2-3 и 2-4. Предположим, что в ходе моделирования на основе датчика случайных равномерно-распределенных чисел на отрезке  $[0,1]$  выбрано число 0,06.

Тогда выбрана к реализации операция 2-4. Результаты расчетов, полученные на шагах 2-5 приведены в таблице 3.

Таблица 3

### Результаты моделирования на шагах 2-5

Операция	Число степеней свободы конечного узла	Число реализаций инцидентных дуг конечного узла	Длительность операции	Ранний момент реализации конечного узла
2-4	1	1	6	16
4-5	1	1	5	21
5-1	1	1	0	21
5-6	2	1	0	-
1-2	1	1	10	31

Заметим, что на 4-ом шаге узел 6 не может быть реализован, так как число реализаций инцидентных дуг меньше числа степеней свободы этого узла.

Предположим, что в ходе моделирования шестого шага на основе датчика случайных равномерно-распределенных чисел выбрано число 0,08.

В этом случае, как и ранее, выбрана к повторной реализации операция 2-4. Результаты расчетов, полученные на шагах 6-9 приведены в таблице 4.

Таблица 4

#### Результаты моделирования на шагах 6-9

Операция	Число степеней свободы конечного узла	Число реализаций инцидентных дуг конечного узла	Длительность операции	Ранний момент реализации конечного узла
2-4	1	1	6	37
4-5	1	1	5	42
5-1	1	1	0	42
5-6	2	2	0	42
1-8	1	1	0	42
8-3	1	1	5	47

Приведенные расчеты соответствуют одному возможному сценарию будущего развития инновационного проекта. Окончательные результаты, полученные при однократном моделировании:

- продолжительность проекта - 47 ед.времени;
- в момент 31 ед. времени была завершена последняя операция в узле 2;
- в момент 37 ед. времени была завершена последняя операция в узле 4;
- в момент 42 ед. времени была завершена последняя операция в узле 5.

Можно заметить, что в данном частном сценарии расчета сети, ветвь 2-3 не была реализована ни разу. При проведении многократных расчетов с использованием данной модели могут быть получены статистические данные по всем интересующим проектировщика узлам. Окончательные результаты имитационного моделирования включают следующие основные статистические характеристики времени выполнения проекта (завершения операций в узлах сети):

1. Ожидаемое время;
2. Стандартное отклонение;

3. Коэффициент вариации;
4. Минимальное время;
5. Максимальное время;
6. Гистограммы распределения вероятностей;
7. Гистограммы плотности распределения вероятностей.

#### **4.2.2.8 Ограничения имитационных моделей оценки инновационного риска на основе GERT-сетей**

К основным недостаткам моделей оценки инновационного риска на основе GERT-сетей, ограничивающих область их применения, можно отнести:

- невозможность учета всех основных факторов риска, влияющих на стоимость проекта и, как следствие, невозможность корректной оценки риска стоимости проекта. Основное назначение моделей на основе GERT-сетей заключается в оценке риска продолжительности проекта (этапов или операций проекта) и исследование влияния на уровень риска различных факторов (длительностей отдельных операций, циклов при выполнении операций, вероятностей выполнения операций и т.п.). Однако в процессе управления инновационным риском необходимо предусмотреть антирисковые мероприятия и оценить их эффективность, что невозможно сделать без корректной оценки риска стоимости проекта (этапов проекта);
- в ряде случаев корректный расчет моментов реализации узла сети на основе числа реализаций инцидентных ветвей, моментов реализации других узлов и продолжительностей операций представляет собой сложную задачу. Это приводит к необходимости существенного упрощения GERT-сетей;
- использование GERT-сети для моделирования доводочных работ, являющихся случайными результатами контроля, анализа или испытаний новой продукции предприятия не всегда корректно. Как показывает существующий опыт выполнения инновационных проектов [1], во многих случаях, продолжительности выполнения доводочных работ в циклах не являются постоянными и функционально зависят от шага цикла. Причем, продолжительность повторного выполнения доводочной работы (операции по устранению замечаний по результатам контроля и испытаний) оказывается существенно меньше продолжительности первоначального выполнения

такой работы. Такую функциональную зависимость не удастся отразить моделями на основе GERT-сетей;

- одним из показателей инновационного риска является вероятность реализации определенных сценариев будущего развития проекта. В частности, может представлять значительный интерес вероятность отказа от проекта на том или ином этапе по причинам отрицательных результатов маркетингового анализа, исследований патентной чистоты и пр. Однако без проведения дополнительных расчетов получить такие данные только лишь моделированием на основе GERT-сетей не удастся.

### **4.2.3 Метод анализа стохастических графов с циклами**

Перечисленные ограничения имитационных моделей оценки риска на основе GERT-сетей большей частью могут быть устранены имитационным моделированием на основе стохастических графов с циклами [1,11]. Имитационное моделирование и оценка инновационного риска в этом случае представляет собой механизм управления, включающий выполнение следующих шагов:

- выявление основных факторов инновационного риска. При данном подходе среди всей совокупности различных факторов риска отдельно выбраны макроэкономические и инновационные факторы. Именно влияние данных групп факторов, по мнению авторов, является наиболее существенным при риск-анализе инновационного проекта;
- построение информационной модели бизнес-процессов на основе стохастических графов с циклами;
- моделирование распределений параметров стохастического графа с циклами;
- оценка ранних сроков свершения событий графа;
- осуществление имитационных экспериментов и оценка инновационного риска;
- анализ результатов имитационных экспериментов;
- выбор метода управления инновационным риском и оценка его эффективности.

#### **4.2.3.1 Построение информационной модели бизнес-процессов на основе стохастических графов с циклами**

Моделирование существующих бизнес-процессов инновационных проектов осуществляется в рамках действующего механизма управления инновационным проектом с учетом выявленных факторов риска. В результате проектировщику необходимо построить

стохастический граф с циклами, предназначенный для получения количественных оценок инновационного риска.

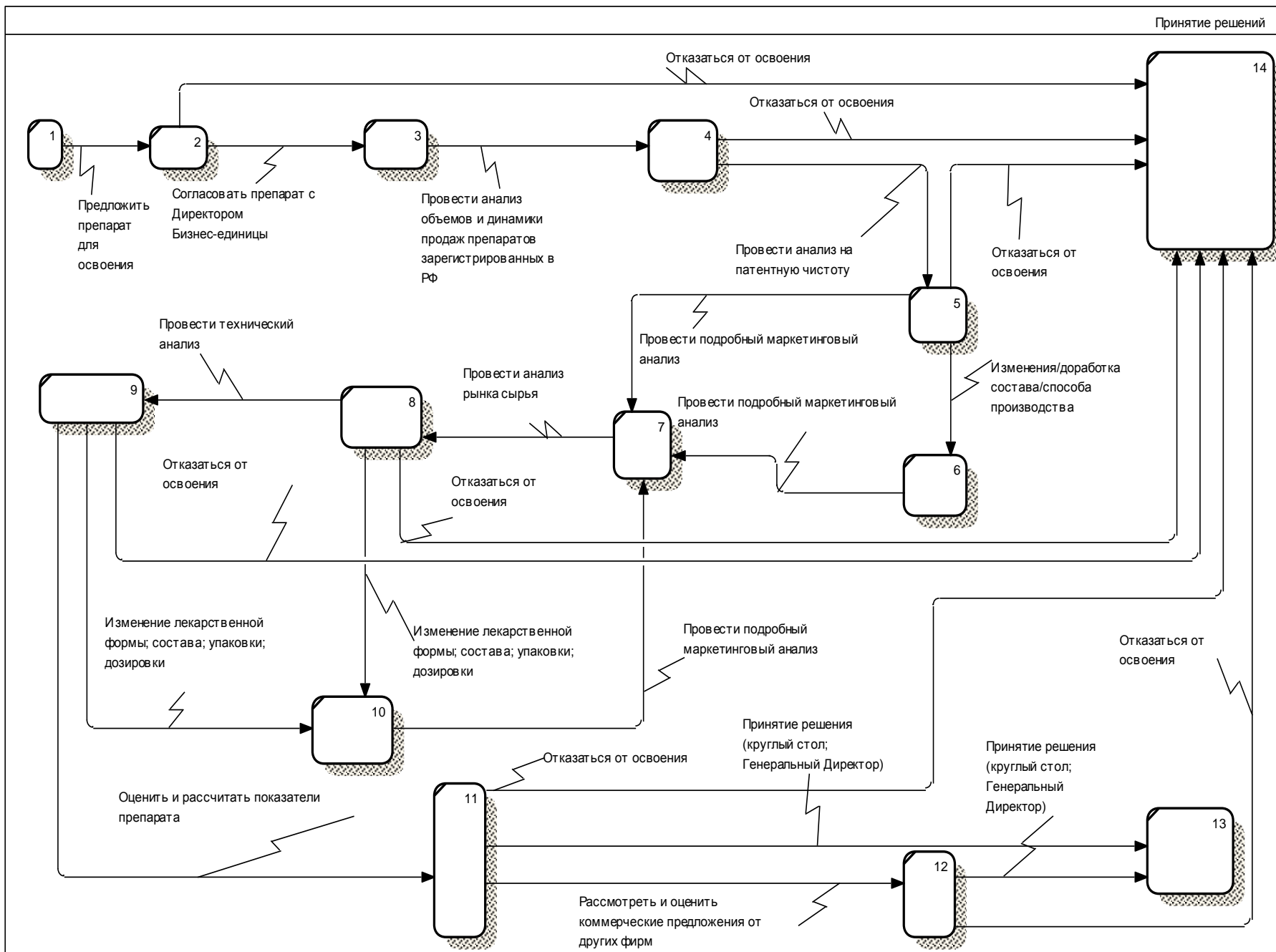
Стохастическим графом с циклами (СГ) назовем граф, обладающий следующими признаками:

- направленные дуги графа называются работами;
- вершины графа называются событиями.

Соединением вершин графа дугами показывается логическая связь между работами и событиями. Пример СГ работ, соответствующих каждому из трех этапов жизненного цикла фармацевтического производственного предприятия, представлен на рис.5-7.

Работы в СГ могут использоваться в широком смысле. Во-первых, действительной работой назовем любой протяженный во времени процесс, требующий затрат ресурсов (например, испытание нового образца изделия). Любая действительная работа должна иметь четкое описание, ответственного исполнителя и список исполнителей. Во-вторых, работа-ожидание представляет собой протяженный во времени процесс, который не требует затрат трудовых ресурсов (например, твердение бетона). В третьих, фиктивная работа представляет собой логическую связь между двумя или более работами, не требующая затрат трудовых, материальных ресурсов или времени. Такая работа указывает, что возможность начала выполнения одной работы зависит от результатов другой. В четвертых, возвратной называется работа, связанная с переходом к повторному выполнению предшествующих работ. Возвратные работы всегда носят случайный характер. Возвратные работы, как правило, являются результатом предшествующих работ, носящих контролирующий характер, например работ, связанных с анализом, контролем, испытанием опытных образцов и т.п. Нумерация работ в СГ осуществляется с использованием нумерации событий. Например, представленная на рис. 6 работа “проведение ряда экспертиз”, нумеруется с использованием номеров начальных и конечных событий, т.е. имеет номер (8,9)





**Рис 5. Стохастический граф проведения исследований и принятие решения о начале освоения препарата**



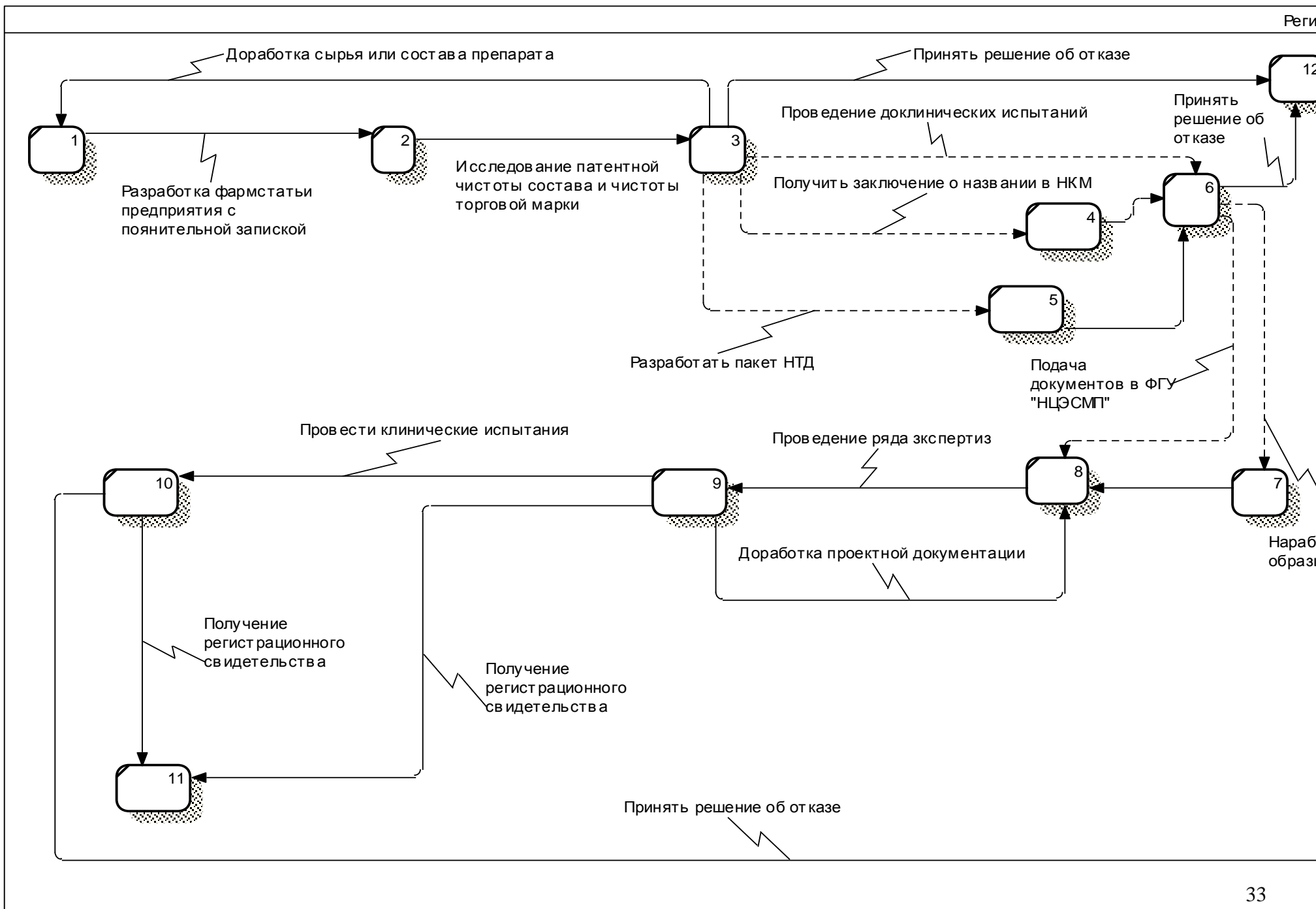
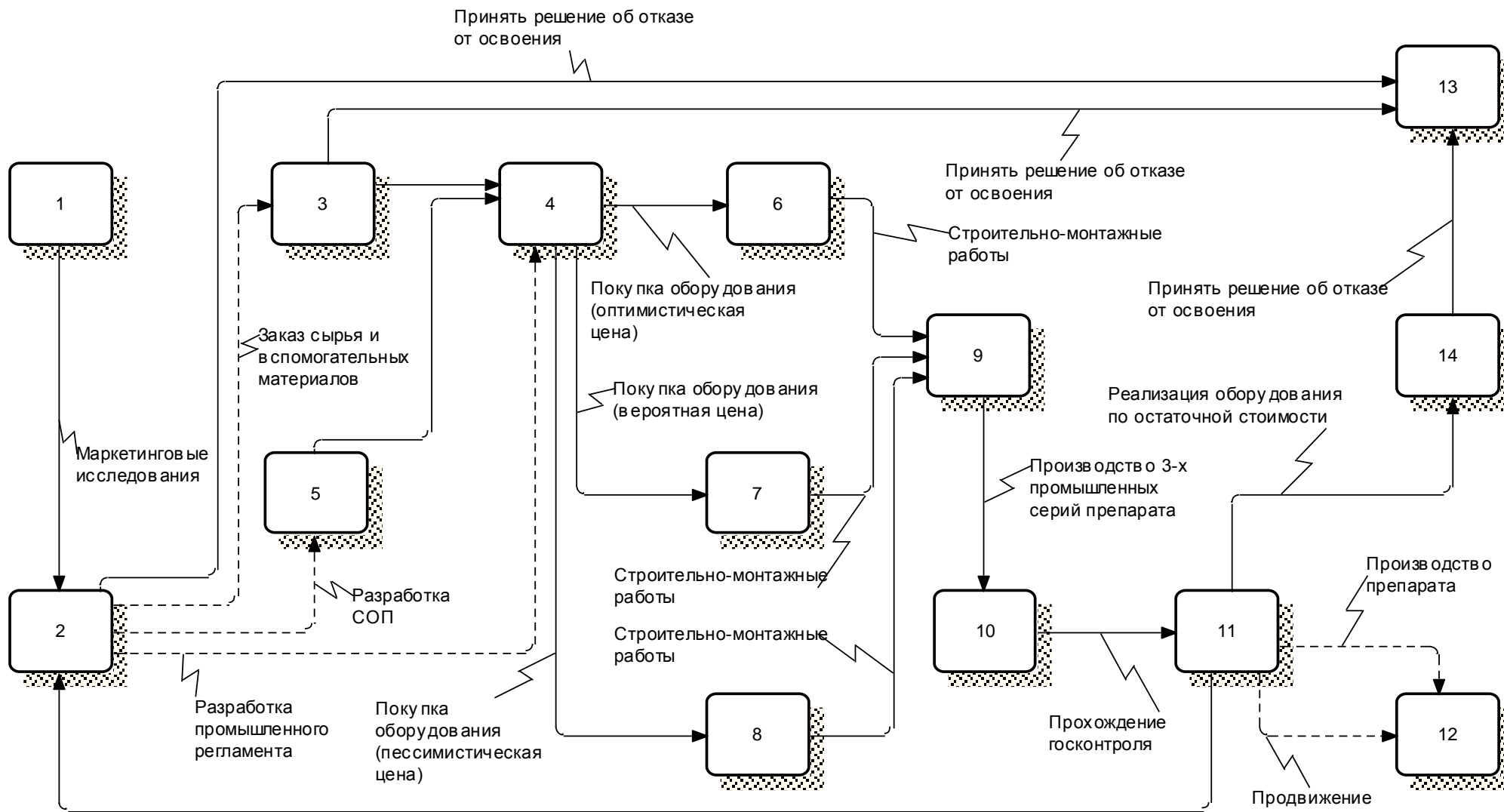


Рис 6. Стохастический граф разработки документации, проведения испытаний и регистрации препарата



**Рис. 7 Стохастический граф освоения производства и продвижения препарата**

Событием СГ называют момент завершения работы или этапа проекта. События пронумерованы натуральными числами, позволяющие их идентифицировать. Событие может являться частным результатом отдельной работы или общим результатом нескольких работ. Как правило, со свершенным событием связан некоторый документ (пакет документов). В таком документе (документах) содержится информация о результатах выполнения предшествующих работ. С каждым событием в СГ связана определяемая проектировщиком логическая функция. Истинность такой логической функции означает свершение соответствующего события, что в свою очередь, определяет возможность начала выполнения последующих за событием работ СГ. Например, на рис 2 с событием 6 (пакет документов и протоколы исследований) связана следующая логическая функция  $F=(3;6) \& (4;6) \& (5;6)$ . Здесь "&" есть логическая операция конъюнкции. Таким образом, событие 6 считается свершенным, если окажутся выполненными работы (3,6),(4,6),(5,6). Событие не имеет продолжительности и свершается мгновенно.

Среди всех событий выделяется единственное исходное событие. Такое событие не должно иметь предшествующих работ и событий, за исключением, быть может, возвратных работ. Среди завершающих событий в СГ выделим два события:

1. Событие отказа от выполнения комплекса работ проекта (данное событие свершается при пессимистическом сценарии развития проекта);
2. Событие успешного завершения работ проекта (данное событие свершается при сценариях развития проекта, отличных от пессимистического сценария).

Завершающие события в СГ не должны иметь последующих работ и событий.

Ранним сроком свершения события назовем такой момент времени, раньше которого событие произойти не может, т.е. наименьший срок, необходимый для выполнения тех работ проекта, которые должны быть выполнены до наступления данного события, в случае если будет реализован некоторый определенный сценарий будущего развития проекта. Под сценарием будущего развития проекта будем понимать некоторый вариант плана выполнения комплекса взаимосвязанных работ проекта, заданный в форме детерминированного сетевого графа. Вся совокупность таких сценариев будущего развития проекта представляет собой модель бизнес-процессов инновационного проекта в форме СГ.

Каждая работа  $(i, j)$  в СГ характеризуется следующими параметрами:

1. Наименование работы;
2. Ожидаемая продолжительность работы  $t_{ij}$ ;
3. Ожидаемая стоимость выполнения работы  $S_{ij}$ ;

4. Реквизиты исполнителей работы;
5. Ожидаемые значения требуемых объемов материальных ресурсов каждого вида;
6. Коэффициенты корректировки продолжительности, стоимости выполнения работы и объемов требуемых материальных ресурсов (только для работ, которые предполагают возможность повторного выполнения.) Например, работы (1,2),(2,3) рис.6 могут выполняться многократно. Коэффициенты корректировки определяются экспертным путем или на основе статистической информации по исполненным аналогичным проектам и определяются следующим образом:

$$\alpha_{ij} = \frac{X_k^{ij}}{X_{k-1}^{ij}}, \text{ где:} \quad (10)$$

$X_k^{ij}, X_{k-1}^{ij}$  - продолжительность (стоимость или необходимый объем материального ресурса) повторного и первоначального выполнения работы  $(i, j)$  соответственно;

7. Априорная условная вероятность выполнения работы (вероятность выполнения работы  $(i, j)$ , оцененная при условии свершения события  $i$ );
8. Номер группы параллельно выполняемых работ  $(i, j)$ , инициируемых событием  $i$ . На рис.1 вместо указания номеров групп, параллельно выполняемые работы одной группы изображаются одинаковыми линиями. Например, параллельно выполняемые работы одной группы (3,4),(3,5),(3,6) изображены штриховой линией.

Значения параметров работ СГ разработки документации, проведения испытаний и регистрации препарата представлены в таблицах 5,6. В таблице 6 использованы следующие обозначения:  $\&$  - конъюнкция (операция логического “И”),  $\vee$  - дизъюнкция (операция логического “или”). При построении СГ необходимо учитывать следующие ограничения:

1. Условные вероятности выполнения работ с одним и тем же номером группы одинаковы. Вероятность выполнения группы работ есть условная вероятность выполнения любой работы этой группы;
2. Сумма условных вероятностей выполнения всех групп работ  $(i, j)$ , инициируемых событием  $i$  равна единице. В противном случае, будет существовать отличная от нуля вероятность того, что ни одна из работ, которая инициируется событием  $i$  не сможет быть выполнена;
3. Условные вероятности выполнения возвратных работ должны быть меньше единицы. Это является следствием случайного характера повторных доводочных работ;
4. Значения коэффициентов корректировки работ проекта должны быть меньше единицы;

5. В СГ не должно быть “тупиковых” событий, т.е. событий, из которых не выходит ни одна работа, за исключением завершающих событий;
6. В СГ не должно быть “хвостовых” событий (кроме исходного события), которым не предшествует хотя бы одна работа;
7. В СГ не должно быть замкнутых петель. Под петлей понимают работу, которая соединяет некоторое событие с ним же самим;
8. Любые два события в СГ должны быть непосредственно связаны в одном направлении не более, чем одной работой. Нарушение указанного условия приведет к двусмысленности интерпретации работ из-за того, что две различные работы будут иметь одно и тоже обозначение.

**Параметры работ СГ разработки документации, проведения испытаний и регистрации препарата**

№ п/п	Наименование работы	Обозначение работы	Вероят ность выпол нения работы ( <i>i,j</i> ) при услови и сверше ния событи я <i>i</i>	Ожидает мая стоимос ть , руб.	Ожид аема я прод олжи тельн ость, дни	Козф фици ент корре ктиро вки стои мост и, $\alpha_s$	Козф фици ент корре ктиро вки прод олжи тельн ости, $\alpha_t$
1	Разработка фармстатьи предприятия с пооянительной запиской	(1,2)	1	39 300	70	0,2	0,1
2	Исследование патентной чистоты состава и чистоты торговой марки	(2,3)	1	1 500	10	0,5	0,5
3	Доработка сырья или состава препарата	(3,1)	0,1	3 500	5	0,2	0,2
4	Принять решение об отказе от освоения	(3,12)	0,1	0	0	-	-
5	Проведение доклинических испытаний	(3,6)	0,8	94 000	30	-	-
6	Получить заключение о названии в	(3,4)	0,8	500	7	-	-

	Номенклатурной комиссии Минздрава						
7	Разработать пакет научно-технической документации	(3,5)	0,8	2 000	15	-	-
8	Фиктивная работа	(4,5)	1	0	0	-	-
9	Фиктивная работа	(5,6)	1	0	0	-	-
10	Принять решение об отказе	(6,12)	0,05	0	0	-	-
11	Наработать образцы	(6,7)	0,95	542 000	30	-	-
12	Подача документов в ФГУ "НЦЭСМП"	(6,8)	0,95	500	1	-	-
13	Фиктивная работа	(7,8)	1	0	0	-	-
14	Проведение ряда экспертиз	(8,9)	1	106 500	180	0,5	0,5
15	Провести клинические испытания	(9,10)	0,3	350 000	200	-	-
16	Доработка проектной документации	(9,8)	0,2	3 000	10	0,5	0,5
17	Получение регистрационного свидетельства	(9,11)	0,5	300	3	-	-
18	Получение регистрационного свидетельства	(10,11)	0,99	300	3	-	-
19	Принять решение об отказе от проекта	(10,12)	0,01	0	0	-	-



**Параметры событий СГ разработки документации, проведения испытаний и регистрации препарата**

№ п/п	Наименование события	Логическая функция свершения события
1	Приказ о начале освоения (исходное событие СГ этапа проекта)	истина
2	Готовая/измененная фармстатья и пояснительная записка (ПЗ)	(1,2)
3	Протокол патентных исследований	(2,3)
4	Заключение о названии в Номенклатурной комиссии Минздрава (НКМ)	(3,4)
5	Пакет научно-технической документации (НТД)	(4,5)
6	Пакет документов и протоколы исследований	(3,6) & (4,6) & (5,6)
7	Образцы препарата	(6,7)
8	Переданные в ФГУ "НЦЭСМП" документы и образцы	(6,8) & (7,8) v (9,8)
9	Протоколы экспертиз	(8,9)
10	Результаты клинических исследований	(9,10)
11	Регистрационное свидетельство (успешное завершение этапа проекта)	(10,11) v (9,11)
12	Приказ о прекращении освоения (отказ от освоения проекта)	(3,12) v (6,12) v (10,12)

Значения основных параметров СГ должны определяться на основе исторических данных аналогичных проектов. При отсутствии таких данных значения параметров могут определяться на основе экспертной оценки специалистов, работающих в области освоения продукции и сотрудников аналитических служб подразделения по маркетингу. Построение СГ включает следующие шаги:

- вычленение основных (жизненно важных) работ (определение дуг СГ);
- определение перечня работ из сформированного выше списка, результатом которых может иметь место отказ от дальнейшего освоения продукции;
- определение моментов завершения работ или этапов проекта (определение событий СГ). Определение исходного события и завершающих событий СГ;
- оценка значений параметров работ и событий СГ.

### 4.2.2. Моделирование распределений параметров СГ

Информационной базой имитационной модели является СГ. В основе имитационного подхода к оценке инновационного риска лежит компьютерное моделирование распределений параметров СГ и соответствующих денежных потоков проекта. Такое моделирование позволяет произвести оценку влияния параметров этих распределений на изменение значений критериев оценки эффективности и риска инновационного проекта.

Группы параллельно выполняемых работ СГ, начало которых совпадает с одним и тем же событием и реализуемые с некоторой условной вероятностью, образуют полную группу несовместных событий. Например, приведенные на рис.6 группы работ “Проведение клинических испытаний” (условная вероятность равна 0,3), “Получение регистрационного свидетельства” (условная вероятность равна 0,5), “Доработка проектной документации” (условная вероятность равна 0,2) образуют полную группу несовместных событий. Поэтому при моделировании дискретного распределения вероятностей инициализации выполнения групп работ может быть использован следующий алгоритм. Пусть  $\xi$  – выборочное значение равномерно распределенной случайной величины на отрезке 0;1 (Генерирование случайных чисел может производиться путем компьютерной операции получения псевдослучайных чисел, независимых и равномерно распределенных). Тогда, если  $\xi \leq 0,3$ , то иницируем выполнение работы первой группы “Проведение клинических испытаний”. Если  $0,3 < \xi \leq 0,8(0,3 + 0,5)$ , то иницируем выполнение работы второй группы “Получение регистрационного свидетельства”. И, наконец, если  $\xi > 0,8$ , то иницируем выполнение работы третьей группы “Доработка проектной документации”.

### 4.2.3. Оценка ранних сроков свершения событий графа.

В большинстве рассмотренных методов сетевого планирования и управления с каждым событием сетевого графа связана логическая операция конъюнкции. Любое событие в таком графе считается свершенным, если выполнены все работы, предшествующие данному событию. Поэтому ранний срок свершения события  $i$  графа здесь вычисляется следующим образом:

$$t_p(i) = \max_j (t_p(j) + t(j, i)) , \quad (11)$$

где:  $t(j, i)$  – ожидаемая продолжительность работы  $(j, i)$ .

Аналогично легко доказать, что если с событием  $i$  графа связана логическая функция дизъюнкции (в этом случае событие считается свершенным, если выполнена хотя бы одна из предшествующих работ графа), ранний срок свершения события можно рассчитать следующим образом:

$$t_p(i) = \min_j(t_p(j) + t(j, i)) \quad (12)$$

Пусть логическая функция имеет более общий вид, например  $A \& B \vee C \& D$ . Здесь  $A, B, C, D$  - работы, предшествующие событию  $i$  графа,  $t_A, t_B, t_C, t_D$  - их продолжительности,  $t_p(A), t_p(B), t_p(C), t_p(D)$  - ранние сроки свершения событий, предшествующие этим работам. По принятым в математической логике обозначениям операции конъюнкции имеют приоритет в выполнении над операциями дизъюнкции. Тогда легко доказать справедливость следующего выражения:

$$t_p(i) = \min(\max(t_p(A) + t_A, t_p(B) + t_B), \max(t_p(C) + t_C, t_p(D) + t_D)) \quad (13)$$

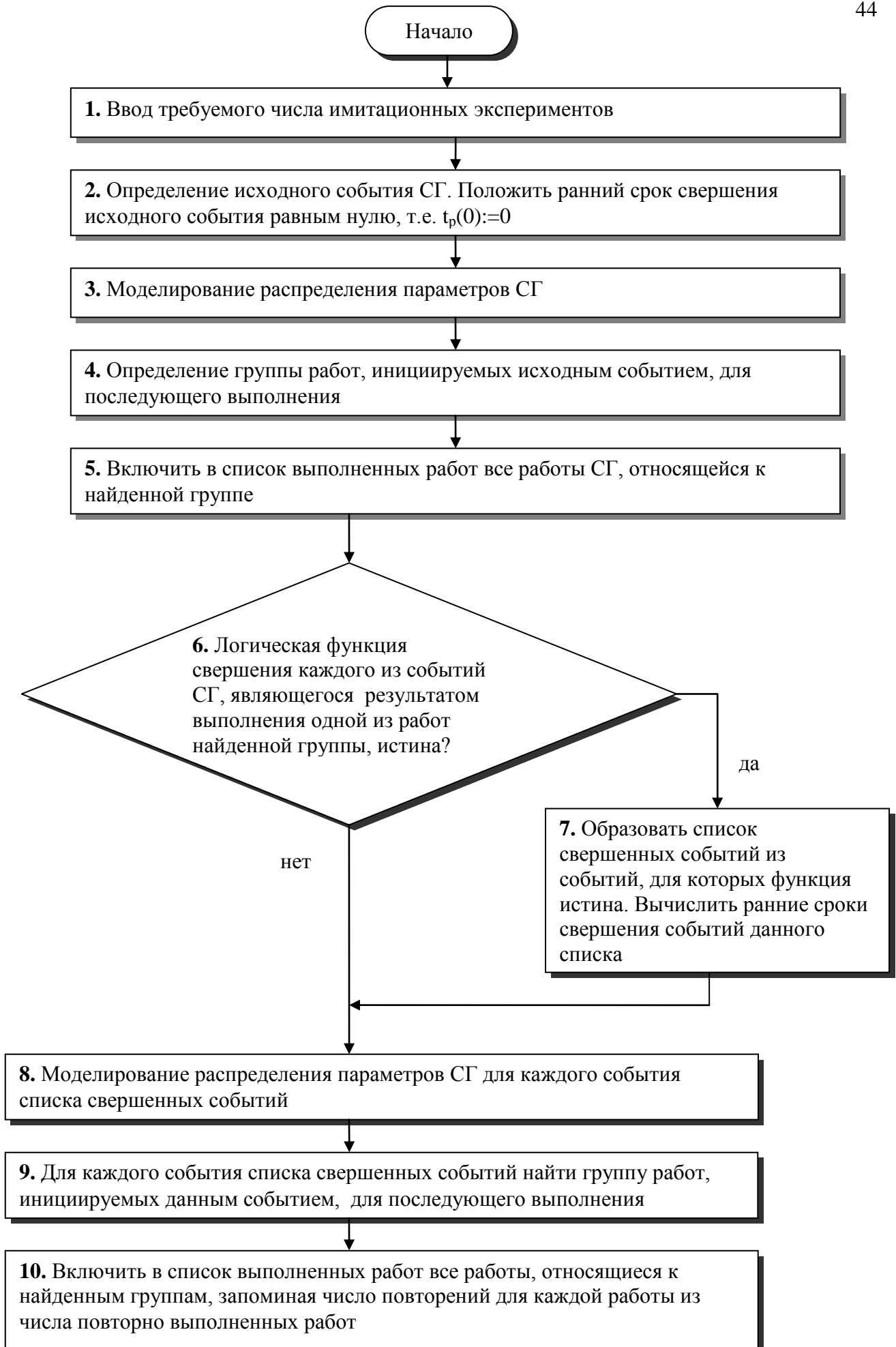
Нетрудно получить выражения ранних сроков свершения событий для любой логической функции, не содержащей операций логического отрицания.

#### **4.2.4. Осуществление имитационных экспериментов и оценка инновационного риска**

Основным этапом имитационного моделирования является этап осуществления имитационных экспериментов. В ходе выполнения алгоритма формируется определенный сценарий будущего развития проекта (каждый имитационный эксперимент – это один сценарий будущего развития). Для каждого сценария производится оценка ранних сроков наступления событий, определяются объемы работ, выполняемые по шагам проекта, рассчитываются совокупные затраты проекта. Осуществив достаточно большое число экспериментов (количество экспериментов должно быть достаточно велико, чтобы сделать выборку репрезентативной по отношению к бесконечному числу возможных вариантов), производится оценка риска изменчивости продолжительности и совокупных затрат проекта.

Реализуемые в ходе имитационных экспериментов события идентифицируются порядковыми номерами и числом повторений свершения событий. Работа графа идентифицируется номерами начального и завершающего событий и числом повторений работы.

На рис. 8 приведен алгоритм оценки инновационного риска с использованием метода Монте-Карло.



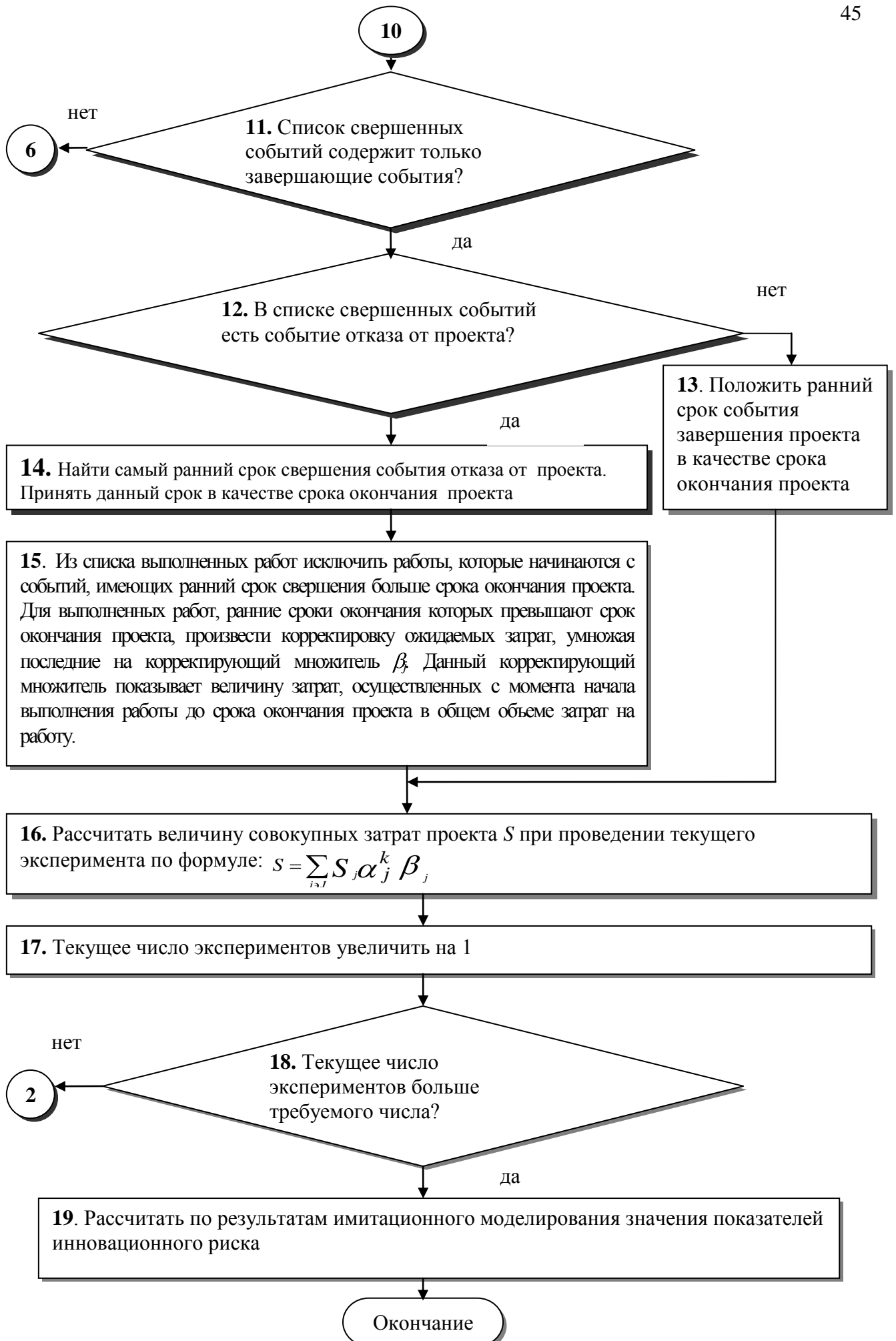


Рис.8 Алгоритм оценки инновационного риска

Располагая информацией о параметрах СГ и количестве требуемых экспериментов, имитационное моделирование проводят, переходя от одного свершенного события к другому, начиная с исходного, вплоть до свершения конечных (завершающих) событий. Имитационный эксперимент считается законченным в том случае, если в списке свершенных событий останутся только завершающие события графа. Основная процедура моделирования проводится для каждого свершенного события графа и заключается в выполнении следующих основных шагов :

- моделирование распределений параметров СГ и определение группы работ для последующего выполнения;
- включение работ найденной группы в список выполненных работ, запоминая число повторений для каждой работы из числа повторно выполненных работ;
- проверка свершения событий, являющихся результатом выполнения хотя бы одной из работ найденной группы;
- формирование списка свершенных событий (В список включаются события, для которых логическая функция свершения истина.) Вычисление ранних сроков наступления событий сформированного списка.

По окончании одного имитационного эксперимента производится корректировка списка выполненных работ. Под сроком окончания проекта понимается самый ранний из сроков свершения завершающих событий графа. Из списка выполненных работ исключаются работы, которые начинаются с событий, имеющих ранний срок свершения за пределами срока окончания проекта. Для выполненных работ, ранние сроки окончания которых превышают срок окончания проекта, осуществляется корректировка ожидаемых затрат путем умножения последних на корректирующий множитель  $\beta_j$ . Данный множитель показывает величину затрат, осуществленных с момента начала выполнения работы до срока окончания проекта в общем объеме затрат на работу. Значения корректирующего множителя  $\beta_j$  должны удовлетворять соотношению  $0 \leq \beta_j \leq 1$  и оцениваться экспертно. Значение корректирующего множителя также может быть оценено по следующей формуле:

$$\beta_j = \frac{S_j''}{S_j}, \quad (14)$$

где:  $S_j$ - стоимость выполнения работы  $j$ ,  $S_j''$ - издержки, понесенные с момента начала выполнения работы  $j$  до момента свершения события отказа от проекта.

Результаты имитационного моделирования (совокупные затраты и срок окончания проекта) рассчитываются и сохраняются для каждого эксперимента. При этом величина совокупных затрат проекта  $S$  при проведении  $i$ -ого эксперимента определяется следующим

образом:

$$S = \sum_{j \in J} s_j \alpha_j^k \beta_j, \text{ где:} \quad (15)$$

$s_j$  - стоимость выполнения работы  $j$ ;  $\alpha_j$  - коэффициент корректировки стоимости работы  $j$ ;  $k$  - номер повторения работы  $j$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ );  $J$  - список выполненных работ.

Каждый эксперимент представляет собой случайный вариант сценария будущего развития инновационного проекта, реализуемый с вероятностью  $\frac{1}{n}$ , где  $n$  - число имитационных экспериментов. Число  $n$  должно быть достаточно велико, для того, чтобы получаемая выборка была бы репрезентативной по отношению к бесконечному числу экспериментов. Число экспериментов определяется точностью исходных данных и желаемой точностью получения результатов.

#### 4.2.5. Пример оценки продолжительности и стоимости проекта

Пример расчета оценки продолжительности этапа проекта (“Разработка документации, проведения испытаний и регистрации препарата”) в условиях некоторого определенного пессимистического сценария будущего развития приведен в таблице 7.

Таблица 7

#### Оценка продолжительности и стоимости этапа проекта в условиях определенного сценария будущего развития

№ события	1	2	3	1	2	3	4	5	6	12
Число повторений	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
Ранний срок свершения, дни	0	70	80	85	92	97	104	112	127	127

В условиях данного сценария вслед за исследованиями патентной чистоты выполняется доработка сырья, состава препарата. Отрицательные результаты доклинических испытаний препарата завершаются отказом от проекта. Продолжительность этапа в рассматриваемом случае совпадает с ранним сроком свершения события отказа и составляет 127 дней. Стоимость этапа проекта в этом случае согласно выражению (15) составляет 149 410 руб.

#### 4.2.5. Оценка риска финансовой реализуемости проекта.

Важнейшим видом ресурсов являются финансовые ресурсы, представляющие собой потоки собственных и привлеченных средств, предназначенных для финансирования предусмотренных проектом затрат [15]. Под финансовой реализуемостью проекта понимают достаточность собственных и привлеченных средств для финансирования указанных затрат на каждом шаге реализации проекта.

Количественным критерием оценки финансовой реализуемости проекта является неотрицательность на каждом  $i$ -ом шаге реализации проекта компаудированного сальдо денежного потока для финансового планирования  $C_{комп}^i$  за вычетом налога на прибыль от депозитного дохода  $C_{ндд}^i$  [15].

При отсутствии операционной деятельности компаудированное сальдо  $C_{комп}^i$  на шаге  $i$  представляет собой накопленный на депозитном счете к концу шага  $i$  чистый доход, полученный за счет осуществления инвестиционной и финансовой деятельности предприятия. Предполагается, что значения показателей оттоков денежных средств имеет отрицательный знак, а притоков – положительный знак. Значение  $C_{комп}^i$  при условии, что все элементы денежного потока на текущем шаге привязаны к одному моменту времени, может быть рассчитано следующим образом:

$$C_{комп}^i = C_u^i + C_{дсо}^i + C_{дсн}^i + C_a^i + C_з^i + C_{\%}^i, \quad (16)$$

где:  $C_u^i$  - денежный отток от инвестиционной деятельности без дополнительного оттока денежных средств на депозитный счет на шаге  $i$ ;

$C_{дсо}^i$  - дополнительный отток денежных средств на депозитный счет на шаге  $i$  с целью обеспечения финансовой реализуемости проекта на последующих шагах;

$C_{дсн}^i$  - дополнительный приток денежных средств с депозитного счета на шаге  $i$ , включающий возврат первоначальной суммы депозита и полученный по депозиту доход;

$C_a^i$  - приток собственного (акционерного) капитала на шаге  $i$ ;

$C_з^i$  - сальдо денежных потоков по займу на шаге  $i$ ;

$C_{\%}^i$  - денежный отток выплаченных процентов по займу на шаге  $i$ .

Сумма средств, направляемая на депозитный счет на шаге  $i$ , удовлетворяет условию неотрицательности. Предположим, что любой свободный остаток средств, полученный за счет осуществления инвестиционной и финансовой деятельности предприятия, сразу же направляется на депозитный счет. Тогда величина средств, направляемых на депозитный счет на шаге  $i$   $C_{дсо}^i$ , может быть вычислена по формуле:



$$C_{dco}^i = \max(0, C_u^i + C_a^i + C_z^i + C_{\%}^i) \quad (17)$$

Положим, для простоты, что на депозитном счете действует простая процентная ставка за период одного шага денежного потока, которая постоянна и равна  $i_d$ . Положим также, что все притоки и оттоки денежных средств осуществляются в начале текущего шага.

Тогда, величины дополнительных притоков с депозитного счета на любом шаге с учетом налога на прибыль от депозитных доходов (ставка налога равна  $\alpha_{нд}$ ) могут быть вычислены следующим образом:

$$\begin{cases} C_{dco}^0 = C_{dco}^0, \\ C_{dco}^1 = C_{dco}^0(1 + i_d) + C_{dco}^1 - \alpha_{нд} C_{dco}^0 i_d, \\ \dots \\ C_{dco}^l = C_{dco}^{l-1}(1 + i_d) + C_{dco}^l - \alpha_{нд} C_{dco}^{l-1} i_d \end{cases} \quad (18)$$

Здесь  $l$  - есть общее число шагов денежного потока.

В условиях случайных сценариев будущего развития инновационного проекта финансовой реализуемость носит случайный характер, так как при заданном механизме финансирования проекта в ходе одних экспериментов проект может оказаться финансово реализуемым, а в ходе других нет. Поэтому количественной оценкой риска финансовой реализуемости проекта при заданном механизме его финансирования может являться показатель вероятности финансовой реализуемости проекта  $P_{фр}$ , оцениваемый следующим образом:

$$P_{фр} = \frac{n_{фр}}{n}, \quad (19)$$

где:  $n$  - общее число экспериментов;

$n_{фр}$  - число экспериментов, в которых проект финансово реализуем.

#### 4.2.6. Анализ результатов экспериментов

Заключительным этапом метода Монте-Карло является анализ результатов экспериментов, полученных на предыдущем этапе.

Анализ результатов экспериментов разделяется на два типа [6,11]:

- графический анализ результатов;
- количественный анализ результатов.

Сущность графического анализа заключается в построении на основе полученных результатов выборочных функций распределения и плотности распределения вероятностей

результатов экспериментов. Выборочные функции плотности распределения вероятностей представляются в виде гистограммы. Такая гистограмма может быть построена с использованием следующего алгоритма:

- построение вариационного ряда, т.е. значения массива результатов ранжируются от минимального до максимального значения;
- разбиение вариационного ряда на  $k$  интервалов группирования. Выбор  $k$  должен осуществляться на основе положений математической статистики;
- вычисление частоты попадания результата в каждый из интервалов группирования  $n_i$ ;
- вычисление отношений  $\frac{n_i}{n}$  для каждого интервала группирования и построение гистограммы.

Построение выборочной функции распределения вероятностей может осуществляться следующим образом:

- построение вариационного ряда;
- вычисление значений  $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^k n_j$  для каждого уникального значения  $k$  массива результатов. Здесь  $n_j$  - число повторений значения  $j$  в массиве результатов;
- построение выборочной функции распределения вероятностей результата.

Сущность количественного анализа заключается в оценке, на основе полученных результатов, значений показателей эффективности и риска инновационного проекта.

## Литература

1. Демкин И.В., Стрельцов А.В., Галетов И.Д. Оценка риска инвестиционных проектов фармацевтического предприятия. // Управление риском. 2004, № 4:16-27.
2. Шапкин А.С. Экономические и финансовые риски. Оценка, управление, портфель инвестиций.-М.: Издательско-торговая корпорация “Дашков и К”, 2003.-544 с.
3. Гершун А.М. и др. Учет по международным стандартам. -М.: Фонд Развития Бухгалтерского Учета, Издательский дом “Бухгалтерский учет”, 2003.-504 с.
4. Шарп У.Ф., Александер Г. Д., Бейли В.Д. Инвестиции.-М.:Инфра-М,1997.
5. Воронцовский А.В. Управление рисками. -Санкт-Петербург: ОЦЭиМ, 2004.
6. Грачева М.В. Риск-анализ инвестиционного проекта. -М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2001.

7. Цветкова Л.И., Иванов В.В. Методологические основы управления инвестиционными рисками. // Управление риском. 2004, № 4:55-63.
8. Metropolis N., Ulam S. The Monte Carlo method // J. Amer. Statistical assoc., 1949, 44, №247.- p. 335-341.
9. Hertz D. B. Risk Analysis in Capital Investment. Harvard Business Review 46 (January-February 1968), 95-106.
10. Hertz D. B., Thomas H. Risk Analysis and its Applications.- Chichester- N.Y., 1983.
11. Ахьюджа Д. Методы сетевого планирования в производстве и проектировании, М: Мир, 1976.
12. Pritsker A.B. Whitehouse G.E.. Graphical Evaluation and Review Technique, Journal of Industrial Engineering, XVII? № 5 and 6, 1966.
13. Демкин И.В. Оценка риска инновационно-инвестиционных проектов на основе имитационного стохастического моделирования. // Инструменты экономического роста. - М.: ВЭО, МЭО, издательство "МАТИ"-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2005.
14. Четыркин Е.М. Финансовая математика.-М.: Дело, 2002.-400 с.
15. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов.-М.: Дело, 2004. 888 с.