

УДК 316.422 DOI: 10.14451/1.222.422

Инновационные инструменты имитационного моделирования индикаторов состояния внутренней среды предприятий нефтегазовой промышленности

© 2023 **Заборовская Ольга Витальевна**

доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой. Кафедра управления социальными и экономическими процессами. Государственный институт экономики, финансов, права и технологий. Россия, Гатчина.

E-mail: ozabor@mail.ru

© 2023 **Гатауллин Марсель Венирович**

соискатель. Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет. Россия, Уфа.

E-mail: gataullin.gataullin92@yandex.ru

© 2023 **Блаженкова Наталья Михайловна**

доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой Кафедра финансы и кредит. Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет. Россия, Уфа.

E-mail: bnm-audit@yandex.ru

© 2023 **Конников Евгений Александрович**

кандидат экономических наук, доцент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая инженерно-экономическая школа. Россия, Санкт-Петербург.

E-mail: konnikov.evgeniy@gmail.com

Ключевые слова: нефтегазовая промышленность, риск, инновационные инструменты, частота рискового события, тяжесть рискового события.

Цель данного исследования – создать эффективный математический инструмент для моделирования рисков в нефтегазовой отрасли. Предлагается использовать имитационное моделирование, которое фокусируется на двух ключевых параметрах риска – частоте и тяжести. Для описания уникальных свойств рисков в нефтегазовой промышленности используются дифференцированные распределения, и разрабатывается алгоритм для практического применения. Результаты исследования могут использоваться для снижения вероятности аварий и других событий, которые могут иметь серьезные последствия, и минимизации потенциального воздействия этих событий.

Нефтегазовая промышленность для многих стран составляет основу ВВП. Её продукт — неотъемлемое звено большого количества массовых цепей производства. Являясь одной из крупнейших, в долларовом выражении, отраслей, она создаёт сотни тысяч рабочих мест для людей по всему миру. Внезапный сбой в любом из трёх глобальных секторов нефтегазовой промышленности (добыча, трансферт, переработка) вызывает серьёзные последствия, нарушая непосредственно ритм цепочки поставок, что порождает потенциал экспоненциального увеличения первичных финансовых потерь.

Кроме того, нефтегазовая промышленность обладает повышенным уровнем опасности — самые смертельные аварии в истории на нефтепроводах и газопроводах суммарно привели к гибели свыше 4000 человек.

Соответственно, возникает потребность в создании механизмов регуляции управления объектами нефтегазовой промышленности в разрезе предотвращения развития чрезвычайных ситуаций, что требует формирования инструментов прогнозирования предрасположенности того или иного объекта к инициации неисправности — подверженности рискам. Риски являются параметрической категорией, индикативно отражающей состояние внутренней среды нефтегазового предприятия.

Однако производственная специфика нефтегазовой отрасли диктует определённые ограничения для прогнозных математических моделей: она обладает низкой частотой риска (аварии происходят с невысокой периодичностью) и вместе с тем повышенным уровнем финансовых потерь. Таким образом, глубокое изучение особенностей формирования и активного включения рисков на предприятии нефтегазовой отрасли должно лечь в основу разработки механизма математической оценки объекта на предмет подверженности риску.

По результатам анализа теоретического и прикладного базиса, сформировавшегося в данной области исследований, была сформирована

рисковая матрица нефтегазового предприятия, дифференцирующая риски на ресурсные, событийные и постсобытийные. Несмотря на то, что генезис дисперсии состояния внутренней среды предприятий нефтегазовой промышленности центрирован ресурсными рисками, значимым результатом реализации ресурсных рисков в их системной связи являются событийные риски. Следовательно, процесс моделирования состояния внутренней среды должен строиться применительно к событийным рискам, в то время как процесс управления состоянием внутренней среды должен строиться применительно к ресурсным рискам.

В рамках процесса моделирования уровня риска первичным этапом является формирование системы индикаторов, многомерно отражающих данный уровень. Существует множество индикаторов уровня риска, которые могут быть использованы для оценки рисков в различных сферах деятельности, включая нефтегазовую отрасль. Некоторые из наиболее распространенных индикаторов уровня риска, значимых для предприятий нефтегазовой отрасли, включают в себя [6]:

1. Количество рисковых событий. Данный параметр является наиболее фундаментальным, а последующие параметры сущностно базируются на нем.
2. Частота рисковых событий. Частота рисковых событий, применительно к нефтегазовому предприятию, это количество раз, когда происходят опасные ситуации или аварии, связанные с добычей и переработкой нефти, за определенный период времени. Данный период времени может варьироваться в зависимости от целеполагания моделирования.
3. Тяжесть рисковых событий. Тяжесть рисковых событий, применительно к нефтегазовому предприятию, это мера значимости последствий, которые могут возникнуть в результате аварии или опасной ситуации в процессе добычи и переработки нефти. Оценить тяжесть рисковых событий можно путем содержательного анализа их последствий.

Например, можно рассчитать ущерб, который может быть причинен аварией, такой как потеря жизней, травмы, экологический ущерб, убытки в денежном выражении и т. д. Также можно использовать стандартизированные шкалы, которые помогают оценить тяжесть рискованных событий. Например, шкала «Тяжесть и частота инцидентов» (Severity and Frequency Incident Rating Scale, SAFIR) используется для оценки серьезности и частоты инцидентов в различных отраслях, включая добычу и переработку нефти. Эта шкала оценивает тяжесть инцидентов по шкале от 1 до 10, где 1 – незначительный инцидент, а 10 – катастрофический инцидент [12]. Экспертная оценка также может быть использована для оценки тяжести рискованных событий. Эксперты могут проанализировать характеристики аварий и определить их потенциальные последствия.

4. Степень несоответствия. Степень несоответствия между фактическим состоянием объекта и требованиями безопасности может указывать на уровень риска. Данный параметр выражается, в первую очередь, техническими характеристиками объекта оценки. К примеру, уровнем опасных веществ в соотношении с нормативными значениями.
5. Субъективные индикаторы. Данная категория индикаторов базируется на экспертных оценках, и, несмотря на предельную субъективность, может быть эффективна в случае недостатка эмпирических данных или неоднозначности математической природы моделируемого риска.

Так, данное исследование предполагает формирование претендующего на достаточный уровень объективности инструментария моделирования. Целесообразнее всего использовать индикаторы, обладающие универсальным математическим характером. Такими индикаторами являются частота и тяжесть рискованного события. Философия построения процесса моделирования риска, базирующаяся на взаимодействии данных параметров, нашла свое отражение в упомянутом ранее инструменте SAFIR [3].

Система Severity and Frequency Incident Rating Scale (SFIRS). В соответствии с данным инструментом, частота страхового события отражает, как часто данное событие может произойти в течение определенного периода времени. Она может быть выражена в количестве случаев в единицу времени или в процентах от общего числа объектов риска, которым в случае нефтегазового предприятия могут выступать нефтедобывающие вышки, участки трубопровода, отдельные категории сотрудников и т. д. Тяжесть страхового события отражает степень его влияния свойства объекта риска, а также на производственный процесс в целом. Она может быть оценена на основе шкалы универсальной шкалы. После того, как частота и тяжесть рискованного события были оценены, они могут быть умножены друг на друга, чтобы и отражает непосредственно уровень риска. Эта оценка может быть использована для идентификации наиболее рискованных объектов и процессов, а также для разработки мер по уменьшению риска. SFIRS является эффективным инструментом для управления рисками на рабочем месте. Однако нефтегазовое предприятие не ограничивается исключительно данной категорией риска, что определяет необходимость ее модификации.

Необходимость повышения объективности разрабатываемого инструментария моделирования риска определяет необходимость выбора универсальных единиц измерения, не подразумевающих субъективной оценки. Если частота является универсальным количественным параметром, отражающим количество реализованных рискованных событий за период времени, то тяжесть более дискуссионна с точки зрения единиц измерения. Тяжесть рискованного события может измеряться различными способами, в зависимости от конкретной ситуации и задачи. Как правило, для измерения тяжести рискованного события используются следующие метрики [2]:

1. Финансовые потери. Тяжесть рискованного события может измеряться в денежных единицах, которые могут быть потеряны в результате данного события. Например, если

рисковое событие связано с возможной потерей дохода, то тяжесть события может быть измерена в размере данной потери.

2. **Время простоя.** В некоторых случаях тяжесть рискованного события может измеряться во времени, которое потребуется для восстановления необходимого режима работы предприятия после события. Например, если рискованное событие связано с простоем производства, то тяжесть события может быть измерена в количестве часов или дней, которые потребуются для восстановления производства. Однако, данная метрика также может быть выражена финансовыми потерями, вызванными простоем и компенсацией его последствий.
3. **Здоровье и безопасность.** В некоторых случаях тяжесть рискованного события может быть измерена в терминах угрозы для здоровья и безопасности людей. Например, если рискованное событие связано с возможностью травм или заболеваний, то тяжесть события может быть измерена в количестве потенциальных пострадавших. Данная метрика также может быть выражена финансовыми потерями, описывающими стоимость компенсации вреда здоровью и затраты на восстановление необходимого режима работы предприятия.
4. **Репутация и медиа капитал.** В некоторых случаях тяжесть рискованного события может быть измерена в терминах угрозы для репутации и имиджа предприятия. Например, если рискованное событие связано с возможностью негативных сообщений в СМИ, то тяжесть события может быть измерена в количестве потенциальных негативных публикаций. Примером подобного могут быть описанные ранее разливы нефти, вызвавшие значительные экологические последствия. Однако, несмотря на общую субъективность данного параметра, он также может быть выражен потенциальными финансовыми потерями предприятия.

Таким образом, можно заключить, что наиболее универсальной метрикой тяжести рискованного события выступают потенциальные финансовые потери нефтегазового предприятия. Таким образом интегральный показатель уровня риска

может быть определен по следующей формуле:

$$RL_t = c_t \cdot f_t \cdot n,$$

где:

1. RL_t – интегральный уровень риска за период t (руб.).
2. f_t – частота наступления рискованного события типа i за период t (доля в расчете на 100 рискованных событий).
3. c_t – тяжесть рискованного события типа i за период t (руб.).

Таким образом, процесс моделирования риска в рамках нефтегазового предприятия базируется на моделировании двух выделенных метрик. Существует несколько категорий методов прогнозирования выделенных параметров риска, но выбор конкретного метода зависит от типа риска и доступных данных. Одной из наиболее распространенных категорий методов является анализ статистических данных, распределенных в пространственном или историческом представлении. Иная категория методов, это анализ экспертных суждений, при которых специалисты в области, связанной с риском (в данном случае специалисты области добычи, обработки и транспортировки нефти и газа), делятся своим опытом и знаниями, чтобы определить вероятность возникновения риска. Важно отметить, что ни один метод не гарантирует точный прогноз параметров риска, но использование нескольких методов может помочь повысить точность прогнозирования. В рамках данного исследования преподается использование исключительно методов, основанных на анализе статистической информации. Существует множество соответствующих методов, наиболее распространенные включают в себя:

1. **Экстраполяция исторических данных.** Данный метод предполагает прогнозирования значений параметров риска за пределами доступной исторической информации. В экстраполяции используются математические методы для расширения доступного набора

данных, чтобы получить прогнозы или оценки значений, которые не наблюдались ранее. Однако, необходимо учитывать, что экстраполяция может быть не точной, так как прогнозируемые значения могут сильно отличаться от фактических. Поэтому важно и оценивать точность прогноза. Если доступно мало исторических данных, то экстраполяция может быть особенно рискованной, так как прогнозы могут быть основаны на недостаточной информации. В таких случаях может быть полезно использовать другие методы прогнозирования, такие как моделирование регрессионными уравнениями, машинное обучение или методы экспертной оценки [7].

2. Моделирование регрессионными уравнениями. Данный метод прогнозирования и анализа данных, используется для описания отношения между зависимой переменной (в данном случае одним из параметров риска) и одной или несколькими независимыми переменными, в роли которых могут выступать индикаторы состояния внутренней среды, непосредственно влияющие на реализацию рискованного события. Регрессионная модель может быть выражена в виде математического уравнения, которое может быть представлено как в линейной, так и в нелинейной форме. Для построения регрессионной модели необходимо сформировать достаточный массив данных, и используя статистические методы, такие как метод наименьших квадратов, оценить коэффициенты регрессии, которые определяют, как сильно влияют независимые переменные на зависимую переменную. После того, как модель построена, она может быть использована для прогнозирования значений зависимой переменной (одного из параметров риска) на основе значений независимых переменных. Также, модель может быть использована для анализа взаимосвязей между переменными и определения того, какие независимые переменные оказывают наибольшее воздействие на зависимую переменную. Проблематика использования данного метода такая же, как и экстраполяции исто-

рических данных, а именно чувствительность к объему обучающего массива. Более того, идентифицированные зависимости могут носить случайный характер, снижая тем самым точность прогностических результатов [7].

3. Моделирование на основе корреляции. Данный метод основывается на корреляционном анализе, который используется для изучения силы и направления связи между двумя переменными, в качестве которых может выступать один из параметров риска и переменные, потенциально связанные с его динамикой. Коэффициент корреляции, который является основным инструментом корреляционного анализа, измеряет степень линейной связи между двумя переменными. Корреляционный анализ может быть полезен при оценке риска, так как он может помочь определить, какие переменные могут быть связаны с риском и насколько сильна связь между ними. Однако, необходимо учитывать, что корреляционный анализ не является инструментом для определения причинно-следственных связей между переменными. Корреляция, может быть, только одним из многих факторов, которые могут отражать природу риска. Поэтому важно использовать корреляционный анализ в сочетании с другими методами моделирования риска. Также, важно учитывать, что корреляция может быть ложной или случайной, если она не подтверждается другими методами анализа. Поэтому важно оценивать точность и значимость корреляции [7].
4. Имитационное моделирование. Данный метод моделирования использует математические алгоритмы для создания имитации реальной системы или процесса. В отличие от аналитических методов, которые используют упрощенные математические модели, имитационное моделирование позволяет создать более точную модель, которая учитывает множество факторов и условий. При оценке параметров риска имитационное моделирование может использоваться для создания моделей, которые позволяют оценить вероятность возникновения определенных рискованных событий

и их последствий. Один из способов использования имитационного моделирования при оценке риска — это создание модели, которая может имитировать различные сценарии возникновения риска. В этом случае модель может использоваться непосредственно для необходимых нам частоты и тяжести. Другой способ использования имитационного моделирования при оценке риска — это использование моделей, которые могут помочь определить оптимальную стратегию управления рисками. В этом случае модель может использоваться для симуляции различных стратегий управления рисками и определения их эффективности. Преимущества имитационного моделирования включают более точную оценку рисков, возможность учета множества факторов и условий, а также возможность создания различных сценариев и стратегий управления рисками. Однако, недостатком является необходимость создания детальной модели [10].

Как можно видеть каждый инструмент имеет свои преимущества и недостатки, и выбор определенного инструмента зависит от конкретной ситуации и доступных данных. Таким образом, перед выбором инструмента моделирования параметров риска необходимо определить его свойства в контексте нефтегазовой отрасли. Специфика частоты и тяжести риска в нефтегазовой отрасли может варьироваться в зависимости от многих факторов, таких как месторождение, технологии, используемые на месторождении, климатические условия, экономическая и политическая стабильность региона и т. д. Анализ сводной статистики Ростехнадзора, совокупное количество рискованных событий в отрасли за 2021 и 2022 год составляет 36, при общем количестве предприятия в 285 [5; 11]. Таким образом, частота в расчете на предприятие составляет 3,16%. При этом средняя тяжесть составляет 149 342 767 руб. Таким образом, можно заключить, что нефтегазовая отрасль является низкочастотной с точки зрения риска, и при этом значимой с точки зрения стоимости ущерба. Данная специфика продуцирует проблематику

недостаточности статистического массива для обучения статистических моделей, обладающих достаточной прогностической точностью. Таким образом, наиболее целесообразным является использование имитационного моделирования, которое позволит смоделировать текущие условия функционирования предприятий отрасли и тем самым оценить наиболее вероятные значения рассматриваемых параметров риска. Для данной цели может быть использована Монте-Карло симуляция.

Метод Монте-Карло — это статистический метод, который используется для моделирования случайных процессов и принятия решений на основе вероятностных расчетов. Он основан на идее генерации случайных чисел, которые затем используются для создания множества возможных сценариев. Монте-Карло симуляция включает в себя следующие шаги [4]:

1. Определение модели и ее параметров. В данном случае параметрами модели будут выступать частота и тяжесть рискованного события.
2. Генерация случайных чисел. Второй шаг состоит в генерации случайных чисел, которые будут использоваться для создания множества возможных сценариев. Для этого используются генераторы случайных чисел, которые могут генерировать равномерно распределенные или нормально распределенные случайные числа.
3. Создание сценариев. Сгенерированные случайные числа используются для создания множества возможных сценариев. Каждый сценарий представляет собой комбинацию значений параметров модели.
4. Анализ результатов. После создания множества сценариев производится анализ результатов. Это может включать в себя вычисление среднего значения, дисперсии, квантилей, VaR и других статистических метрик. В рамках данного исследования предполагается разработка системы риск-индикаторов, наиболее отражающих потребности нефтегазового предприятия.

Монте-Карло симуляция обладает рядом недо-

статков, ключевым из которых чувствительность выбору генератора случайных чисел и параметров модели. Таким образом, точность результатов моделирования определяется качеством подбора параметров распределения для частоты и тяжести рисков события.

Описанный алгоритм предполагает под собой агрегирование исторического массива, описывающего частоту и тяжесть рисков событий в рамках нефтегазовой отрасли, определение параметров распределения частоты и тяжести рисков событий, генерация совокупности составных параметров, статистическое обобщение полученных результатов и расчет интегрального показателя уровня риска. Описанный алгоритм представлен на рисунке 1.

Существует множество статистических распределений, которые могут применяться для моделирования параметров риска. Выбор распределения зависит от того, какие предположения могут быть сделаны о характеристиках этих данных. Необходимо последовательно рассмотреть ряд наиболее часто используемых для данных задач распределений.

Нормальное распределение. Данное распределение характеризуется симметричной формой и показателем среднего значения и стандартного отклонения. Функция плотности нормального распределения имеет следующий вид:

$$f(y) = \frac{e^{-\frac{y^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}.$$

Использование нормального распределения для моделирования параметров рисков имеет несколько преимуществ:

1. Широкое применение. Нормальное распределение является одним из наиболее распространенных распределений в статистике, и оно может быть применено для моделирования многих различных типов рисков, покрывающих потребности нефтегазовой отрасли.
2. Относительная простота использования. Нормальное распределение имеет простую фор-

мулу и требует относительно немного параметров для описания, что упрощает его использование и интерпретацию.

3. Центральная предельная теорема. Если случайные величины, которые моделируют риски, являются независимыми и имеют одинаковое распределение, то их сумма будет приближаться к нормальному распределению при достаточно большом количестве наблюдений. Это означает, что нормальное распределение может быть использовано для моделирования суммарного риска. Однако, при этом нужно помнить низкочастотный характер рисков в рамках нефтегазовой отрасли.
4. Статистическая универсальность инструментария. Для нормального распределения существует множество методов статистического анализа, которые могут быть использованы для анализа данных и оценки параметров распределения.

Однако, следует отметить, что нормальное распределение не всегда является лучшим выбором для моделирования рисков. В некоторых случаях, данные могут иметь ненормальное распределение, и использование нормального распределения может привести к неточным результатам.

Распределение Пуассона. Данное распределение как правило используется для моделирования количества событий, происходящих в заданном интервале времени или в заданном пространстве. Оно характеризуется дискретным набором значений и одним параметром, который определяет среднее количество событий. Функция плотности распределения Пуассона имеет следующий вид:

$$f(y) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^y}{y!},$$

где λ — математическое ожидание случайной величины. Использование распределения Пуассона для моделирования рисков имеет несколько преимуществ:

1. Относительная простота использования. Рас-

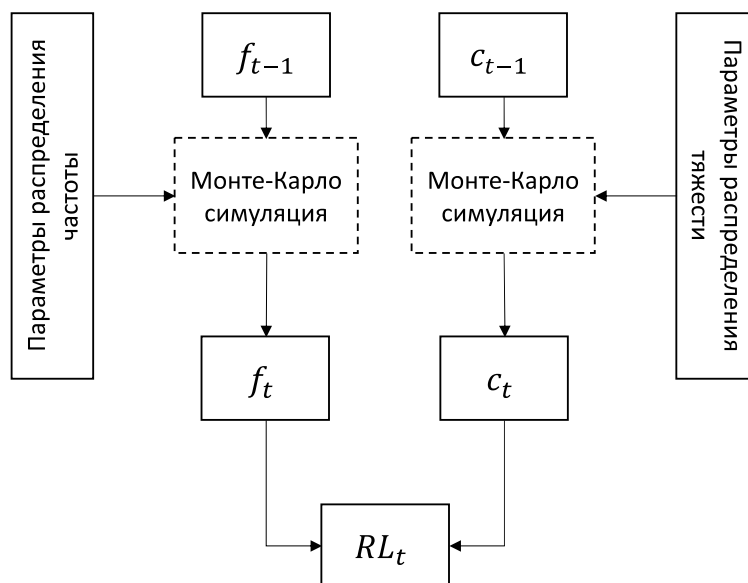


Рис. 1. Алгоритм оценки интегрального показателя уровня риска, на основе Монте-Карло симуляции.

пределение Пуассона имеет легко интерпретируемую формулу и требует относительно немного параметров для описания, что упрощает его использование и интерпретацию.

2. Хорошо подходит для счетных данных. Распределение Пуассона является хорошим выбором для моделирования счетных данных, таких как число страховых случаев, число происшествий на дорогах, число заболевших, что во многом делает его одним из наиболее эффективных при моделировании риска.
3. Гибкость. Распределение Пуассона может быть адаптировано для моделирования различных типов рисков, описывающихся различной природой.
4. Статистическая универсальность инструментария. Для распределения Пуассона, так же, как и для нормального распределения, существует множество методов статистического анализа, которые могут быть использованы для анализа данных и оценки параметров распределения.

Однако, следует отметить, что распределение Пуассона не всегда является лучшим выбором для моделирования рисков, так как не обладает достаточно тонкой настройкой, используя исключительно параметр математического ожидания случайной величины.

Гамма-распределение. Данное распределение используется как правило для моделирования времени между событиями или для моделирования размера потерь. Оно характеризуется двумя параметрами: формой и масштабом. Функция плотности Гамма-распределения имеет следующий вид:

$$f(y) = y^{k-1} \frac{e^{-\frac{y}{\theta}}}{\theta^k(k)}.$$

Гамма-распределение может быть полезно для моделирования риска, потому что оно может представлять некоторые из основных характеристик риска, такие как неожиданность и потенциальную катастрофу. Параметры гамма-распределения (форма и масштаб) могут быть настроены для соответствия конкретным данным. Форма определяет, насколько быстро распределение уменьшается, а масштаб определяет, насколько долго это продолжается. Это позволяет гамма-распределению адаптироваться к различным ситуациям риска, включая как короткие, так и длинные периоды времени между событиями. Гамма-распределение обычно используется для моделирования риска неожиданных и серьезных событий, так как оно может представлять распределение времени между

событиями, которые происходят неожиданно и редко, но имеют серьезные последствия. Основная причина, почему гамма-распределение используется для таких типов рисков, заключается в его форме. Форма может быть настроена для того, чтобы представлять различные типы распределения вероятностей, включая распределения с тяжелыми хвостами, которые могут представлять неожиданные и редкие события. Кроме того, гамма-распределение имеет свойство, называемое «без памяти», которое означает, что вероятность того, что событие произойдет в будущем, не зависит от того, сколько времени прошло с момента последнего события. Данное свойство является полезным при моделировании риска, так как оно позволяет представлять вероятность возникновения события в любой момент времени, независимо от того, сколько времени прошло с момента последнего события.

Рассмотрим параметры гамма-распределения более подробно. Как отмечалось ранее, параметр формы определяет форму кривой распределения и может принимать любое положительное значение. Чем больше значение параметра формы, тем более скошенной будет кривая распределения. Если значение параметра формы равно 1, то гамма-распределение становится экспоненциальным распределением. Значение параметра формы может быть определено на основе данных, которые используются для моделирования рисков. Определение параметра формы может быть выполнено с помощью различных методов:

1. Метод максимального правдоподобия. При использовании данного метода параметры распределения выбираются таким образом, чтобы максимизировать вероятность наблюдаемых данных.
2. Метод моментов. При использовании данного метода параметры распределения выбираются таким образом, чтобы соответствовать моментам распределения, которые могут быть вычислены из наблюдаемых данных.
3. Метод наименьших квадратов. Метод, кото-

рый используется для определения параметров распределения, минимизирующих разницу между наблюдаемыми данными и значениями, предсказанными распределением. При использовании данного метода параметры распределения выбираются таким образом, чтобы минимизировать сумму квадратов отклонений между наблюдаемыми данными и значениями, предсказанными распределением.

В любом случае, правильный выбор параметра формы гамма-распределения зависит от данных, используемых для моделирования рисков, и от конкретной задачи.

Параметр масштаба определяет масштаб времени и также может принимать любое положительное значение. Чем больше значение параметра масштаба, тем большие значения принимает случайная величина. При моделировании риска, параметр масштаба гамма-распределения можно определить с использованием описанных выше методов. Значения параметров формы и масштаба могут быть настроены для отображения различных типов распределений и вероятности наступления событий в любой момент времени, независимо от времени с момента последнего события.

Распределение Бернулли. Это дискретное распределение, которое моделирует случайный эксперимент с двумя возможными результатами: успехом или неудачей. Несмотря на то, что распределение Бернулли может быть ограничено в своей применимости, оно может быть полезным для моделирования некоторых типов рисков. Имеет место ряд преимуществ использования распределения Бернулли для моделирования рисков:

1. Относительная простота использования. Распределение Бернулли является одним из самых простых распределений. Оно определяется всего одним параметром — вероятностью успеха.
2. Легкость интерпретации результатов. Результаты моделирования, основанного на распре-

делении Бернулли, легко интерпретировать. Вероятность успеха может быть использована для определения вероятности наступления события.

3. Подходит для бинарных данных. Распределение Бернулли хорошо подходит для моделирования бинарных данных, таких как наличие или отсутствие какого-либо события.

Однако, следует учитывать, что распределение Бернулли может не подходить для моделирования некоторых типов рисков, так как оно ограничено только на два возможных результата.

Бета-распределение. Это непрерывное распределение, которое может быть полезным для моделирования некоторых типов рисков. Функция плотности Бета-распределения имеет следующий вид:

$$f(y) = \frac{y^{\alpha-1}(1-y)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}.$$

Данное распределение обладает рядом преимуществ для целей моделирования рисков:

1. Относительная гибкость при моделировании. Бета-распределение может быть использовано для моделирования широкого диапазона данных, таких как доли, вероятности и пропорции. Оно может быть адаптировано к различным ситуациям, включая случаи, когда данные имеют смещенное распределение.
2. Широкое применение. Бета-распределение может быть использовано для моделирования различных рисков, таких как риски потери, риски изменения цен и риски заболевания.
3. Легкость интерпретации результатов. Результаты моделирования, основанного на бета-распределении, могут быть использованы как для определения вероятности наступления события, так и для прогнозирования будущих значений.

Однако, следует учитывать, что бета-распределение может не подходить для моделирования некоторых типов рисков, так как оно

может быть ограничено в вариативности, в частности в сравнении с гамма-распределением.

Распределение Парето. Данное распределение используется для моделирования явления, где некоторые значения являются более вероятными, чем другие. Это распределение является одним из примеров «тяжелых хвостов» распределений, где вероятность того, что значение будет далеко от среднего значения, значительно выше, чем в случае с обычным распределением. Функция плотности распределения Парето имеет следующий вид:

$$f(y) = \frac{am^a}{y^{a+1}}.$$

Распределение Парето определяется двумя параметрами: минимальное значение, которое может принимать случайная величина, и параметр формы, который определяет, насколько быстро убывает вероятность с увеличением значения случайной величины. Распределение Парето может быть использовано при анализе рисков, чтобы оценить вероятность того, что некоторые рискованные события обладают крайне значимой тяжестью. Одним из способов использования распределения Парето при анализе рисков является оценка Value at Risk (VaR).

Экспоненциальное распределение. Экспоненциальное распределение является одним из распределений вероятности, которое может использоваться для моделирования времени между двумя последовательными событиями, которые происходят независимо друг от друга. Функция плотности экспоненциального распределения имеет следующий вид:

$$f(y) = \lambda e^{-\lambda y}.$$

Экспоненциальное распределение имеет один параметр, который называется параметром интенсивности (λ). Данный параметр определяет скорость, с которой рискованные события происходят во времени. Чем больше значение параметра интенсивности, тем короче временной

интервал между событиями. Экспоненциальное распределение является распределением без памяти, что означает, что вероятность события зависит только от времени, прошедшего с момента последнего события, а не от времени, прошедшего с начала процесса. Данное распределение обладает рядом преимуществ для целей моделирования рисков:

1. Простота и удобство использования. Данное распределение имеет только один параметр — интенсивность, который определяет скорость, с которой происходят события. Данный факт делает экспоненциальное распределение легким в использовании и интерпретации.
2. Экспоненциальное распределение может быть использовано для моделирования событий, которые происходят в случайные моменты времени, и не имеют четкой зависимости от других факторов. Это может быть полезно при оценке рисков, связанных с непредсказуемыми событиями, такими как природные катастрофы.

Однако, как и любое распределение вероятности, экспоненциальное распределение не является универсальным и может не подходить для оценки рисков в некоторых ситуациях. Например, если события происходят с большей вероятностью в начале или в конце периода, то распределение может быть более сложным.

В соответствии с проведенным анализом, можно заключить, что для целей моделирования тяжести рисков события имеет место ряд распределений, обладающих уникальными преимуществами:

1. Гамма-распределение предоставляет возможность тонкой настройки формы и масштаба, что позволяет адаптировать результаты моделирования под условия объективной реальности. Также, гамма-распределение не обладает памятью, что крайне значимо для нефтегазовой отрасли, в связи с низкочастотным характером риска.
2. Распределение Парето предоставляет воз-

можность моделировать «тяжелые хвосты», что также крайне значимо для нефтегазовой отрасли, в связи с высокой тяжестью рисков событий, вызванной как технологической спецификой, так и наличием постсобытийных рисков.

3. Экспоненциальное распределение так же, как и гамма-распределение не обладает памятью, что крайне значимо для нефтегазовой отрасли.

Моделирование тяжести рисков события в рамках данных трех распределений, в сочетании с последующим сопоставлением результатов, позволит значительно повысить прогностическую точность результатов моделирования.

Моделирование частоты рисков событий в свою очередь носит более неоднозначный характер. С одной стороны, природа частоты риска соответствует центральной предельной теореме, что определяет целесообразность использования нормального распределения. Однако, необходимо учитывать потенциальные цепные реакции, вызванные рисковой природой нефтегазового предприятия. Данное свойство нефтегазовой отрасли может быть названо кумуляцией риска. Природа кумуляции риска предполагает увеличение вероятности наступления последовательных рисков событий, также, как и обратное. Таким образом, в случае наступления рисков события в рамках симуляции, вероятность наступления последующих рисков событий возрастает. Параметр, характеризующий силу данной зависимости, может быть условно обозначен как внутренняя корреляция. В рамках данной трансформации целесообразно перейти от нормального распределения к мультивариантному нормальному распределению. Это вероятностное распределение, которое обобщает одномерное нормальное распределение на случай многомерных случайных величин. Оно задаётся вектором средних значений и ковариационной матрицей случайных величин. Функция плотности мультивариантного нормального распределения имеет следующий вид:

$$f(y) = \frac{e^{-\frac{1}{2}(y-\mu)^T \Sigma^{-1}(y-\mu)}}{\sqrt{(2\pi)^k \det(\Sigma)}}.$$

В отличие от одномерного нормального распределения, мультивариантное нормальное распределение может моделировать зависимости между несколькими случайными величинами. Ковариация между двумя случайными величинами определяет, насколько они связаны друг с другом. Если ковариация положительна, то увеличение одной переменной обычно сопровождается увеличением другой переменной, а если ковариация отрицательна, то увеличение одной переменной обычно сопровождается уменьшением другой переменной.

Для моделирования риска с помощью мультивариантного нормального распределения необходимо оценить параметры распределения: вектор средних значений и ковариационную матрицу. Если вектор средних значений может быть определен на основе фактических данных, то ковариационная матрица требует условно-экспертного подхода. Матрица ковариации является матрицей, содержащей попарные ковариации между всеми парами случайных переменных. Для построения матрицы ковариации, необходимо оценить ковариации между всеми парами случайных переменных, а затем объединить их в матрицу. Матрица ковариации должна быть симметричной и неотрицательно определенной. Однако, в данном случае процесс симуляции носит одномерный характер. Следовательно, матрица ковариации содержательно определяется всего одним значением, обозначенным ранее коэффициентом внутренней корреляции (corr_t). Данный показатель варьируется от 0 до 1, где 0 – абсолютное отсутствие кумуляции риска (при данном значении распределение соответствует нормальному), а 1 – абсолютная кумуляция риска. Пример произведения матрицы частоты риска, построенной на основе мультивариантного нормального распределения и матрицы тяжести риска, построенной на основе гамма-распределения для разных значений показателя кумуляции риска представлен на рисунке 2.

Таким образом, входным массивом для целей моделирования должны стать следующие параметры:

1. Усредненное ретроспективное значение частоты рискованных событий (f_{t-1}). Данная величина может определяться на основе существующей статистической базы, и в случае необходимости может быть экспертно скорректирована.
2. Усредненное ретроспективное значение тяжести рискованных событий (c_{t-1}^t). Природа данного параметра идентична природе предыдущего.
3. Коэффициент внутренней корреляции (corr_t). Определяется экспертно и может быть универсализирован на отраслевом уровне.
4. Параметр формы гамма-распределения (k). Данный параметр отражает смещение гамма-функции. Параметр масштаба в свою очередь моделируется на основе тяжести рискованного события:

$$\theta = \frac{c_{t-1}}{k}.$$

5. Параметр формы распределения Парето (a). Данный параметр, так же, как и параметр формы гамма-распределения отражает смещение функции. Минимальное значение, которое может принимать случайная величина, определяется также исходя из тяжести рискованного события:

$$m = c_{t-1} \cdot \frac{a-1}{a}$$

6. Число рискованных событий за предыдущий период (n). Данный параметр определяется в соответствии с фактическими данными.
7. Предельная величина тяжести рискованного события ($\max - c_i^{t-1}$). Данная величина определяется на основе фактических данных, но, при этом, может быть экспертно скорректирована.

Таким образом, ключевым дискуссионным вопросом, определяющих качество моделирования, является определение параметров распределения. Данная задача может быть решена

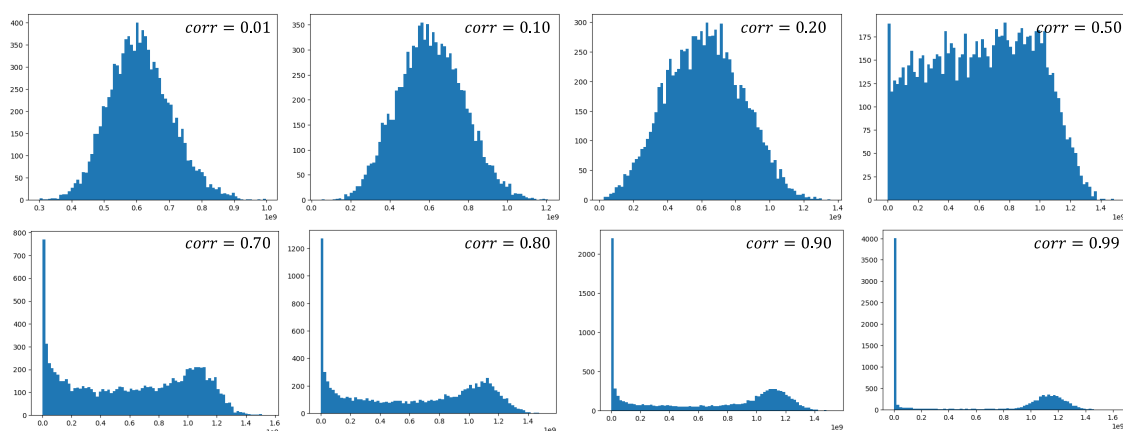


Рис. 2. Вариации произведения матрицы частоты риска, построенной на основе мультивариантного нормального распределения и матрицы тяжести риска, построенной на основе гамма-распределения для разных значений показателя кумуляции риска.

экспериментально, на основе сопоставления целевого индикатора, рассчитанного на основе фактических данных, и смоделированного. Данным показателем может выступить показатель плановой убыточности:

$$U_{plan_t} = \frac{c_{t-1} \cdot f_{t-1} \cdot n}{P_{t-1}},$$

где:

1. P_{t-1} — фонд обеспечения компенсации последствия наступления рискованного события (руб.).

В качестве фонда обеспечения может быть использована величина чистой прибыли предприятия, скорректированная на коэффициент прироста. Качество моделирования в свою очередь будет определяться приближенностью моделируемого значения к плановому. Для выбора параметров оптимального распределения для целей моделирования могут использоваться статистические методы, такие как гистограммы и графики распределения, чтобы определить, какое распределение наиболее точно соответствует данным. Из гистограммы можно получить представление о том, какие значения наиболее вероятны и как они распределены. Некоторые распределения, такие как нормальное распределение, имеют симметричную форму гистограммы, в то время как другие распределения, такие

как экспоненциальное распределение, могут иметь форму, приближенную к экспоненциальной кривой. Кроме того, гистограмма может помочь определить, есть ли выбросы или нет, которые могут указывать на наличие редких событий или ошибок в данных. Если гистограмма имеет необычную форму, то это может указывать на использование необычного распределения. Однако, гистограмма сама по себе не может точно указать на определенное распределение. Более того, как отмечалось ранее, риски в нефтегазовой отрасли крайне низкочастотны, что в свою очередь не позволяет использовать данный подход. Таким образом, наиболее целесообразно использовать циклический алгоритм, проверяющий сочетания параметров распределения и определяющий в качестве эффективной величины те, при которых плановое значение убыточности стремится к моделируемому. Результирующим объектом анализа выступает непосредственно форма распределения. Форма распределения вероятности может дать значительное количество информации о рисках, связанных с определенным событием или явлением. Например, если форма распределения скошена вправо, то это может указывать на то, что риск повышен и возможно имеются неучтенные факторы, которые увеличивают вероятность неблагоприятного исхода. Если форма распределения симметрична, то это может указывать на равномерное распределение рисков. Таким

образом состояние внутренней среды предприятий нефтегазовой промышленности может определяться совокупностью характеристик распределения риска и индикаторов, описывающих убыточность, полученных в соответствии с решением следующей задачи симуляции:

$$U_t = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} \left([a_{i,j}]_{n \times Nsim} \cdot [\beta_{i,j}]_{n \times Nsim} \right)}{P_{t-1}}$$

$$a_{i,j} = \frac{e^{-\frac{1}{2} (f_{t-1} - \mu)^T \Sigma^+ (f_{t-1} - \mu)}}{\sqrt{(2\pi)^k \det \cdot [\text{corr}_{ti,j}]_{n \times Nsim}}}$$

$$\text{corr}_{ti,j} = \begin{cases} 1, & i = j \\ \text{corr}_t, & i \neq j \end{cases}$$

Уравнение тяжести рискового события для Гамма-распределения:

$$\beta_{i,j} = c_{t-1}^{k-1} \frac{e^{-\frac{y}{k}}}{\frac{c_{t-1}}{k} (k)}$$

Уравнение тяжести рискового события для распределения Парето:

$$\beta_{i,j} = \frac{a \cdot (c_{t-1} \cdot \frac{a-1}{a})^a}{c_{t-1}^{a+1}}$$

Уравнение тяжести рискового события для экспоненциального распределения:

$$\beta_{i,j} = \lambda e^{-\lambda c_{t-1}}$$

Определение параметров формы распределения определяется в соответствии со следующей целевой установкой:

$$\max |U^t - U_{\text{plan}}^t|, \quad x \in [x, y].$$

- Диапазон параметра формы для Гамма-распределения – [0.1, 9.0].
- Диапазон параметра формы для распределения Парето – [1.0, 10.0].

Однако форма распределения сама по себе не может дать полной информации о риске, поэтому ее следует рассматривать вместе с совокупностью индикативных параметров, к которым можно отнести квантили вероятности и вероятности превышения плановых значений убыточности:

$$P\text{Claim}_{tx} = \frac{\left| i \in [a_{i,j}]_{n \times Nsim} \cdot [\beta_{i,j}]_{n \times Nsim} : i > P_{t-1} \cdot U_{\text{plan}}^t \cdot (1 + x) \right|}{Nsim},$$

Где:

1. $P\text{Claim}_x^t$ – вероятность превышения плановой убыточности на X процентов (%).
2. X – уровень превышения плановой убыточности (доля).

3. Nsim – число Монте-Карло симуляций.

Сформированный инструментарий требует автоматизации и апробации, применительно к предприятиям нефтегазового комплекса.

Библиографический список

1. Аудит и управление рисками при реализации инвестиционных проектов интеллектуальной направленности / А. А. Зайцев [и др.] // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2021. – № 7–2. – С. 152–162. – DOI: [10.17513/vaael.1793](https://doi.org/10.17513/vaael.1793).
2. Барбашова Е. В., Гайдамакина И. В., Польшакова Н. В. Прогнозирование в коротких временных

рядах: методологические и методические аспекты // Вестник аграрной науки. – 2020. – 2(83). – С. 84–98. – DOI: [10.17238/issn2587-666X.2020.2.84](https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.84).

3. Бичевина А. С. Методика количественной оценки рисков с применением методологии стоимостной меры риска (Value at Risk – VaR) // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2021. – 3(20). – С. 8–12.

4. Ермаков С. М. Заметки о методе Монте-Карло // Марчуковские научные чтения. – 2019. – № 2019.
5. Об утверждении порядка проведения государственной экспертизы проектов строительства объектов капитального строительства, связанных с разработкой месторождений полезных ископаемых / Министерство энергетики Российской Федерации. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/910> (дата обр. 09.05.2023).
6. Панферов А. И. Применение методов оценки риска возникновения производственного травматизма на промышленных предприятиях // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная : материалы IV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 85-летию БГИТА, Брянск, 03–05 июня 2015 года / Брянская государственная инженерно-технологическая академия; Студенческое научное общество ФГБОУ ВПО «БГИТА». – Брянск : Брянская государственная инженерно-технологическая академия, 2015. – С. 238–243.
7. Польшгалов Г. В., Мищенко О. А. Прогнозирование риска потери финансовой устойчивости муниципальными образованиями с использованием методов количественного анализа // Экономика. Профессия. Бизнес. – 2020. – № 3. – С. 67–73. – DOI: [10.14258/epb201988](https://doi.org/10.14258/epb201988).
8. Родионов Д. Г., Конников Е. А., Куракин В. И. Оценка маркетинговой надежности инновационных решений (на примере нефтепромышленного оборудования) // Экономические науки. – 2020. – № 193. – С. 388–393. – DOI: [10.14451/1.193.388](https://doi.org/10.14451/1.193.388).
9. Смелкова А. В., Лямин Б. М., Конников Е. А. Категории рисков нефтедобывающего предприятия, вызванные ресурсными ограничениями // Экономические науки. – 2022. – № 216. – С. 53–56. – DOI: [10.14451/1.216.101](https://doi.org/10.14451/1.216.101).
10. Трацевский В. В. Имитационное моделирование как инструмент управления предпринимательскими рисками // Информационные технологии в экономике и управлении : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Махачкала, 29–30 ноября 2018 года. – Махачкала : Дагестанский государственный технический университет, 2018. – С. 94–96.
11. Уроки нефтегазовой промышленности / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/index.php> (дата обр. 09.05.2023).
12. C-ITS Relevant Critical Vehicle-to-Vehicle Accident Scenarios for Accident Analysis / M. Bauder [et al.] // Sensors. – 2022. – May. – Vol. 22, no. 9. – P. 3562. – DOI: [10.3390/s22093562](https://doi.org/10.3390/s22093562).