

УДК 336.762.1

Сравнение подходов к оценке риска со стороны центрального контрагента

Потапов А.И., Курбангалеев М.З.

При определении маржинальных требований для производных финансовых инструментов на бирже используются статистические модели оценки риска. Данные модели могут использовать грубые упрощения для ускорения и упрощения вычисления требований по открытым позициям. В число таких упрощений входят: ограничение набора учитываемых риск-факторов, использование простых функций распределения и предположение о нулевой или фиксированной корреляции между риск-факторами. В работе осуществлена оценка влияния указанных упрощений на назначаемый уровень маржи. В связи с этим построен ряд моделей различной сложности для оценки риска по позициям во фьючерсах и опционах. Список моделей включает в себя как используемые на практике (модель Moscow Exchange, Standard Portfolio Analysis of Risk), так и основанные на стохастическом моделировании. Уровень надежности моделей сравнивается по доле превышений реализованных убытков над величиной маржинальных требований. Уровень нагрузки на участников биржи сравнивается по параметрам распределения маржинальных требований. Результаты исследования показывают, что существующие на практике упрощения могут приводить к недооценке потенциального изменения стоимости инструментов, недопустимой в соответствии с пунктом 3 принципа 7 CPSS – IOSCO от 2012 г. При использовании стохастической модели систематической недооценки не возникает, учет корреляции риск-факторов при этом является критически важным. Также установлено, что оценки маржи, полученные на основе стохастической модели, оказываются в среднем ниже оценок Московской биржи, что можно интерпретировать как меньшую нагрузку на клиентов биржи.

Ключевые слова: производные финансовые инструменты; маржа; Value-at-Risk; бэк-стирование; метод главных компонент; GARCH.

DOI: 10.17323/1813-8691-2023-27-2-196-219

Потапов Артём Игоревич – магистр, аспирант факультета экономических наук, Школа финансов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». E-mail: aipotapov@hse.ru
Курбангалеев Марат Зуфарович – магистр, м.н.с. лаборатории по финансовой инженерии и риск-менеджменту, старший преподаватель факультета экономических наук, Школа финансов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». E-mail: mkurbangaleev@hse.ru

Статья поступила: 21.10.2022/Статья принята: 30.03.2023.

Для цитирования: Потапов А.И., Курбангалеев М.З. Сравнение подходов к оценке риска со стороны центрального контрагента. *Экономический журнал ВШЭ*. 2023; 27(2): 196–219.

For citation: Potapov A.I., Kurbangaleev M.Z. Comparison of Central Counterparty Risk Assessment Approaches. *HSE Economic Journal*. 2023; 27(2): 196–219. (In Russ.)

1. Введение

Для снижения негативных последствий дефолта контрагентов на финансовых рынках и поддержания финансовой стабильности после мирового финансового кризиса 2007–2009 гг. был принят ряд международных законов [Regulation (EU) No 648/2012] об обязательном создании центрального контрагента (central counterparty) на биржах, где проводятся торги производными финансовыми инструментами. Центральный контрагент принимает на себя риски неисполнения обязательств по открытым позициям участников рынка и управляет ими, выступая гарантом исполнения и предъявляя финансовые требования к обеспечению позиций участников. Иными словами, к участникам торгов предъявляются специальные (маржинальные) требования – обязательное покрытие потенциальных убытков позиции на горизонте, как минимум, в один день, допустимых с вероятностью 99% [CPSS – IOSCO, 2012]. Если участник не может покрыть реализовавшиеся убытки или поддержать достаточный уровень маржи, центральный контрагент принудительно закрывает его позицию и занимает его место в сделке.

В то же время маржинальные требования являются финансовой нагрузкой на участников торгов. Чрезмерная величина маржи снижает привлекательность услуг центрального контрагента и, как следствие, сокращает объем торгов срочной секции. В связи с этим центральный контрагент сталкивается со сложностями в поисках методологического решения, определяющего баланс между надежностью обеспечения и ликвидностью рынка.

В основу современных систем маржирования положен ограниченный набор сценариев, в которых могут измениться риск-факторы – переменные, влияющие на стоимость торгуемого финансового инструмента. Сценарии могут быть основаны как на исторических наблюдениях, так и на модельных и экспертных оценках. Тем не менее упрощения в подходе к оценке не должны отрицательно воздействовать на надежность маржинальных требований. Поэтому методология центрального контрагента зачастую использует консервативные оценки, что приводит к более высоким требованиям к обеспечению участников.

Для оценки размера маржинальных требований как риск-метрики важны подбор подходящего среза наблюдений и выбор модели оценивания параметров распределения риск-факторов. Выборка данных не должна быть слишком малочисленной, так как это повлечет за собой высокую волатильность оценок. В то же время слишком глубокая история наблюдений позволит получить лишь усредненные оценки. То есть в периоды низкой волатильности маржа может быть завышена, снижая активность участников торгов и прибыльность операций [Chou et al., 2014], а в периоды высокой волатильности усредненные оценки могут занижать риск. Сложность в выборе модели для оценки величины маржи заключается в соотношении предпосылок и структуры данных и получении набора наблюдений достаточного размера ввиду срочности инструментов. При этом оцен-

ка, полностью соответствующая критериям надежности, может не отражать реальную рыночную ситуацию.

В работе представлено, как упрощения в методологии оценки потенциального изменения стоимости производных финансовых инструментов – фиксированный набор сценариев и отсутствие учета корреляции риск-параметров – влияют на качество оценок маржинальных требований. В данной работе исследуются отдельные позиции из одного инструмента, торгующегося на Московской бирже (МОЕХ): опциона на покупку/продажу или длинного/короткого фьючерса. Для исследуемых позиций рассмотрены классический сценарный подход SPAN (Standardized portfolio analysis of risk) с различными методами оценки параметров, а также несколько измененная версия данного подхода, реализованная МОЕХ. В качестве модели бенчмарка для измерения эффектов используется модель временных рядов GARCH, которая в явном виде формирует распределение изменений риск-факторов с учетом корреляций между ними. Модель бенчмарк калибруется и валидируется на целевом уровне надежности маржи, равном 99% от уровня потенциальных потерь. Полученные оценки маржи сравниваются с реальными данными для установления соответствия модели целевому уровню надежности путем использования биномиального теста. После этого результаты моделей сопоставляются по размеру назначаемого уровня маржинальных требований путем А/В-тестирования и статистических тестов для сравнения средних. Такой подход позволяет протестировать следующие предположения:

- о корреляции риск-факторов: подходы SPAN и МОЕХ не учитывают взаимосвязь риск-факторов, что может приводить к смещению оценки величины маржинальных требований;
- о случайных сценариях: использование фиксированных сценариев может приводить к смещенности оценки риска.

Далее рассмотрены актуальные исследования, определяющие свойства маржинальных требований как риск-метрики.

2. Обзор литературы

Реализация некоторых подходов к оценке риска может не удовлетворять свойствам эффективных оценок. Маржа, как метрика риска, считается эффективной при условии, что она когерентна. Для признания ее таковой должны выполняться следующие свойства [Artzner et al., 1999]: инвариантность относительно константы, субаддитивность, позитивная гомогенность и монотонность. Когерентность позволяет использовать полученную оценку риска как отражающую фактически существующий риск с заданным уровнем надежности. Маржа не является субаддитивной, так как является квантильной оценкой риска – Value-at-Risk (VaR) – которая может быть субаддитивной лишь в случае особых распределений. Отсутствие субаддитивности проявляется в недостаточном учете взаимозависимости риска между активами в портфеле. Это приводит к сложности оценки риска со стороны системного регулятора из-за невозможности полного учета диверсификации и хеджирования [Emmer et al., 2015].

Стоит отметить, что центральный контрагент решает двойственную задачу. С одной стороны, он заинтересован в повышении устойчивости системы маржирования, что возможно при повышении маржинальных требований. С другой стороны, для централь-

ного контрагента важно создать прозрачную и справедливую систему оценки рисков, что позволит повысить ликвидность рынка.

Само функционирование центрального контрагента на рынке является положительным фактором: ликвидность рынка увеличивается при переходе к единым, анонимным торгам с гарантией исполнения обязательств. Было подтверждено, что общее централизованное унифицированное маржирование способствует получению более точной информации о ценах и, как следствие, увеличению ликвидности [Acharya, Bisin, 2014]. Существенное отличие между рынком, на котором осуществляется клиринг, и внебиржевым рынком (*over-the-counter*) проявляется в статистически значимой разнице в ценах производных финансовых инструментов – внебиржевой премии [Cont, Kokholm, 2013].

При этом назначение некорректного размера маржи может снижать положительный эффект: излишне высокий уровень требований повышает вероятность дефолта, тем самым увеличивая риск контрагента и снижая рыночную ликвидность [Gerano, 2016]. В периоды повышенной волатильности на рынке завышенная маржа может оказывать негативное влияние на ликвидность [Brunnermeier, Pedersen, 2009] и на эффективность ценообразования [Danielsson et al., 2012]. Здесь важно отметить, что маржирование, как система оценки рисков, является положительным фактором с точки зрения повышения привлекательности инфраструктуры для инвесторов, а негативные эффекты проявляются, лишь когда размер маржинальных требований оказывается чрезмерно велик по сравнению с оценкой риска самими участниками (переоценка стоимости инструментов – *value-adjustments* – на внебиржевом рынке) [Daskalaki, Skiadopoulos, 2016].

В первую очередь центральному контрагенту необходимо обеспечить достаточную надежность маржинальных требований, а лишь затем решать задачу минимизации маржинальных требований. При решении задач в такой последовательности центральному контрагенту удастся выполнить все регуляторные требования и повысить ликвидность рынка.

3. Данные

Для построения и анализа моделей SPAN, MOEX и бенчмарк используются данные торгуемых на Московской бирже опционов на фьючерсы и соответствующих фьючерсов на акции и индексы с 01.01.2017 г. по 31.12.2020 г. Выборка включает в себя опционы на фьючерсные контракты и сами фьючерсные контракты (расшифровку тикеров базовых активов см. в Приложении, табл. П1), по которым наблюдалось не менее 250 дней торгов, что соответствует требованию о минимальном числе наблюдений для оценки качества модели VaR [BIS, 1995].

Далее рассмотрим статистические характеристики риск-параметров инструментов, по которым производится расчет маржинальных требований.

1. По наиболее ликвидным активам – индексам (RTS, MXI, MIX) – торгуется больше всего производных инструментов с большей срочностью.

2. Средние изменения подразумеваемой волатильности (*implied volatility*) для всех инструментов положительные. Данное явление объясняется методологией расчета: кривая подразумеваемой волатильности в начале срока опциона плоская по множеству страйков и может уменьшаться в начале действия инструмента, но по мере приближения к исполнению подразумеваемая волатильность становится больше, в особенности для опционов «в деньгах» или «вне денег».

3. Волатильность изменений подразумеваемой волатильности не всегда соответствует волатильности доходности базового актива (например, 3,85 и 1,77% соответственно для LKOH) и наоборот (1,03 и 2,39% для MAGN).

На рис. 1 отражена динамика подразумеваемой волатильности при различных уровнях отношения страйка к цене базового актива (moneyness) одного опциона по мере приближения к дате исполнения. Время до исполнения – это срок действия опциона в долях от года. Примечательно, что бывают моменты, когда наименьшая подразумеваемая волатильность находится на уровне, где цена базового актива равна страйку. Это объясняется тем, что рынок имеет свою динамику, определяющую подразумеваемую волатильность. Для подстройки подразумеваемой волатильности, в соответствии с методологией, требуется большее количество реализовавшихся сделок. Например, если на рынке наблюдается растущий тренд – высокий спрос на опционы на покупку или низкий спрос опционов на продажу, то минимальное значение подразумеваемой волатильности сдвинется с уровня, где цена базового актива равна страйку, но затем вернется обратно, потому что движение тренда будет учитываться в подразумеваемой волатильности по построению [ССР NCC, 2019].

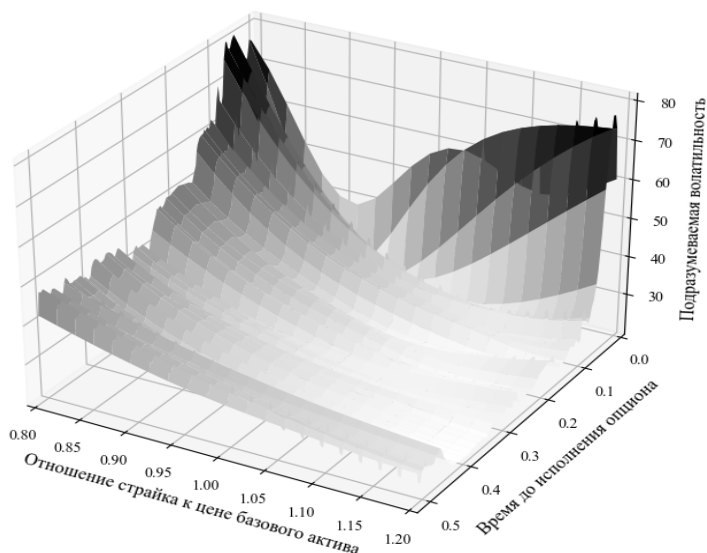


Рис. 1. Пример динамики подразумеваемой волатильности на выбранных уровнях отношений страйка к цене базового актива в зависимости от времени до исполнения

Так как и по построению, и по параметрам подразумеваемая волатильность различается на разных сроках действия опциона, необходимо тестировать модели маржирования с учетом этих особенностей: при уменьшении срока до исполнения опциона волатильность изменений подразумеваемой волатильности увеличивается, а подразумеваемая волатильность приобретает тренд на возрастание. В работе каждый инструмент делится на два исследуемых периода: «до 30 дней» – когда до исполнения осталось более 30 дней, «после 30 дней» – когда до исполнения осталось менее 30 дней. Данное деление

является условным, однако оно позволяет оценить влияние срока действия на риск торгуемого инструмента, не моделируя влияние дополнительного риск-фактора.

4. Методология исследования

Стоимость опционов, по которым базовый актив – это фьючерсы на акции и индексы, оценивается с помощью модели Блэка. Такой подход применяется на многих биржах [МОЕХ, 2022; CME Group, 2022; Clearing Conditions for Eurex Clearing AG, 2018]. Основными факторами модели являются подразумеваемая волатильность и цена базового актива.

Качество модели, оценивающей риск как потенциальное снижение стоимости инструмента, сильно зависит от выборки, на которой она строится. Например, для получения эффективной оценки коэффициентов GARCH-модели, которая используется для прогноза риск-факторов, нужно не менее 50 наблюдений [Vox et al., 2008].

Так как производные финансовые инструменты (ПФИ – в данной статье – фьючерсы и опционы) торгуются сериями – совместными или последовательными выпусками с фиксированной срочностью, – на них невозможно получить достаточно данных для моделирования. Поэтому для обеспечения непрерывности данных по ПФИ применяется процедура объединения одготипных инструментов разных серий в цельные временные ряды на определенный базовый актив. Для этого в каждый момент времени определяется «исследуемый» ПФИ и набор «добавочных» ПФИ. На «исследуемом» ПФИ наблюдаются реальные изменения стоимости, которые сравниваются с оцененными уровнями маржи. В качестве «исследуемых» ПФИ выбираются инструменты с наибольшим сроком до исполнения в каждый момент времени. «Добавочные» ПФИ необходимы для увеличения числа наблюдений. Отбираются они по следующему принципу: они торгуются в то же время, что и «исследуемый», или исполнились ближе остальных к «исследуемому» ПФИ.

Таким образом, в работе используются международная биржевая практика в части ценообразования ПФИ и модели оценки маржи с учетом неоднородности риск-факторов во времени в соответствии с требованиями регулятора к качеству системы маржирования. Следующие подразделы раскрывают методологию построения каждой системы маржирования.

4.1. Построение бенчмарк модели

В первую очередь для каждого базового актива в каждый момент времени по методологии из раздела 4 определяется набор «добавочных» и «исследуемых» ПФИ. Затем вычисляются доходности фьючерса и приращения подразумеваемой волатильности. Доходность фьючерса вычисляется по формуле

$$(1) \quad r_{F,t} = \ln \left(\frac{F_t}{F_{t-1}} \right),$$

где F_t – расчетная цена фьючерса в момент t .

Поскольку «улыбка» волатильности представляет собой единый объект на множестве страйков в каждый момент времени, то при моделировании ее изменений необходи-

мо учитывать изменения на каждом страйке. Данный подход является слишком трудоемким, так как требует большого набора наблюдений и сложных методов учета взаимосвязи между значениями подразумеваемой волатильности на каждом страйке. Поэтому проводится декомпозиция «улыбки» волатильности с использованием метода главных компонент (PCA – principal component analysis) [Cont, Fonseca, 2002]. В данном подходе дневные приращения подразумеваемой волатильности заменяются «главными компонентами» – ортогональными векторами, которые максимально точно описывают дисперсию исходных данных:

$$(2) \quad \Delta IV_t(m) = a_1(m) \cdot f_{1t} + a_2(m) \cdot f_{2t} + a_3(m) \cdot f_{3t} + \varepsilon_t,$$

где m – отношение страйка к цене базового актива; $\Delta IV_t(m)$ – изменение подразумеваемой волатильности в момент t при отношении страйка к цене базового актива m ; $a_i(m)$ – коэффициент чувствительности для подразумеваемой волатильности при отношении страйка к цене базового актива m к i -ой главной компоненте; f_{it} – значение i -ой главной компоненты в момент t ; ε_t – случайная ошибка декомпозиции.

В работе исследуется 21 значение отношений страйка к цене базового актива от 0,8 до 1,2, с шагом 0,02, что меньше, чем в оригинальной статье [Cont, Fonseca, 2002], так как использование наиболее ликвидных страйков обеспечивает более высокую точность расчетов подразумеваемой волатильности согласно методологии MOEX.

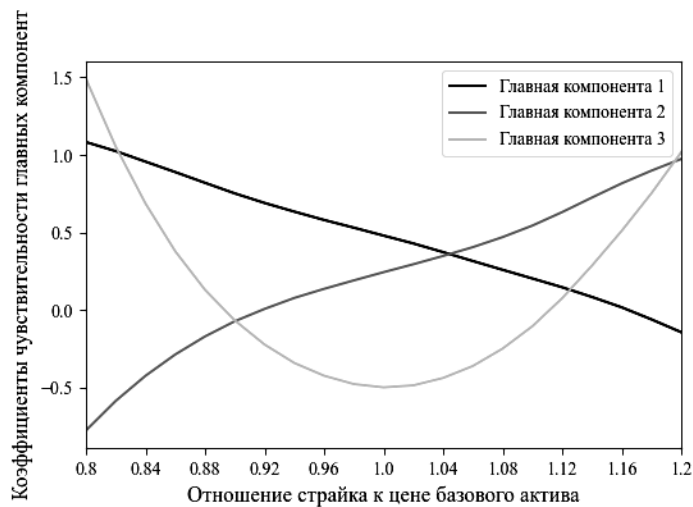


Рис. 2. Пример коэффициентов чувствительности на выбранных уровнях отношений страйка к цене базового актива

На рис. 2 показаны коэффициенты чувствительности, полученные путем разложения приращений подразумеваемой волатильности опциона на индекс RTS на главные компоненты. Эти компоненты определяют основные закономерности изменений подра-

зумеваемой волатильности: *shift* – движение всей фигуры вверх-вниз, *twist* – движение страйка с минимальным уровнем подразумеваемой волатильности (вправо-влево), *butterfly* – изменение по краям («схлопывание») [ССР NCC, 2019].

Так как коэффициенты чувствительности слабо меняются во времени, то для прогнозирования подразумеваемой волатильности при декомпозиции достаточно спрогнозировать главные компоненты и использовать их произведение на коэффициенты чувствительности.

После вычисления доходностей фьючерсов и главных компонент изменений подразумеваемой волатильности строится модель для их прогнозирования. Известно, что главные компоненты имеют свойство кластеризации волатильности [Cont, Fonseca, 2002], поэтому для прогноза распределений используются GARCH-модели [Bollerslev, 1986]. Для учета асимметрии распределения доходности фьючерсов дополнительно применена модель EGARCH [Nelson, 1991]. Порядок моделей GARCH и EGARCH определяется по байесовскому информационному критерию (BIC) как наиболее подходящему для коротких наборов данных [Naik et al., 2020].

После получения распределений доходности фьючерса и главных компонент подразумеваемой волатильности с помощью последней цены фьючерса и коэффициентов чувствительности рассчитываются прогнозы стоимости фьючерса и значения подразумеваемой волатильности. После построения прогноза сценарии, содержащие отрицательные значения подразумеваемой волатильности или стоимости фьючерса, удаляются из полученного распределения. Затем кривая подразумеваемой волатильности проверяется на монотонность относительно ее минимума в обоих направлениях по множеству страйков.

Так как GARCH-модели применяются к доходности и главным компонентам подразумеваемой волатильности по отдельности, результатом по построению являются распределения некоррелированных факторов. При этом на рис. 1 видно, что подразумеваемая волатильность подстраивается под изменения стоимости базового актива, т.е. корреляция первой главной компоненты подразумеваемой волатильности с изменениями цены фьючерса значима (в среднем составляет больше 0,7 на используемой выборке). Поэтому для оценки значимости учета корреляции вычисляется ее эмпирическое значение для доходности фьючерса и главных компонент подразумеваемой волатильности (корреляция между компонентами подразумеваемой волатильности равна нулю по построению) и учитывается при генерации распределения изменений риск-параметров, используемых для вычисления стоимости инструментов.

В результате, распределения подразумеваемой волатильности и доходности фьючерса используются для вычисления стоимости опциона и расчета прибылей и убытков (*profit and losses*) путем вычитания последнего наблюдаемого значения реальной стоимости опциона из каждого значения распределения стоимости опциона. Маржа вычисляется как VaR распределения прибылей и убытков на 99-процентном уровне надежности:

$$(3) \quad VaR_{99\%}(P \& L) = -\inf \{ M \in R : Prob(P \& L \leq M) \leq 1\% \},$$

где $P \& L$ – прибыли и убытки; M – оцененный уровень маржинальных требований.

Для фьючерсов с целью получения распределения прибылей и убытков из прогнозных значений вычитается последнее значение стоимости фьючерса.

4.2. Сценарные модели (SPAN и МОЕХ)

Модель SPAN [CME group, 2019] оценивает маргинальные требования как максимальные потенциальные потери стоимости портфеля в одном из 16 фиксированных сценариев. В каждом сценарии цена фьючерса и значение подразумеваемой волатильности изменяются на определенную долю от допустимого диапазона. Для каждого ПФИ допустимые диапазоны изменений риск-факторов являются экзогенными риск-параметрами, которые определяются биржей. Каждый сценарий имеет свой вес, при этом из всех сценариев выбирается сценарий, ведущий к максимальным потерям.

В работе допустимые диапазоны изменения стоимости фьючерса и подразумеваемой волатильности вычисляются как стандартное отклонение доходности и изменения подразумеваемой волатильности соответственно на исторических данных или генерируемом распределении соответствующего риск-фактора в случае использования GARCH-модели. Построение моделей SPAN и бенчмарк на одних и тех же характеристиках изменения цены фьючерса и подразумеваемой волатильности позволяет корректно сопоставлять эти модели.

Сценарии SPAN включают в себя: изменения цены фьючерса на 0, 33%, 67%, 100% и 300% в долях от допустимого диапазона, которым соответствуют изменения подразумеваемой волатильности на 100% в долях от допустимого диапазона. Для всех сценариев, кроме изменения стоимости фьючерса на 300%, используется как рост, так и снижение подразумеваемой волатильности. Для изменения цены фьючерса на 300% только рост подразумеваемой волатильности. Все сценарии, за исключением изменения цены фьючерса на 300%, имеют вес в 100%, а при изменении цены фьючерса на 300% – 35%.

Модель МОЕХ [ССР NCC, 2019; 2020] включает 4 сценария: два на изменение подразумеваемой волатильности и два на изменение стоимости фьючерса. В случае использования участником торгов опционных стратегий число сценариев может увеличиваться. В отличие от модели SPAN, потери в сценариях учитываются без взвешивания. В расчете маргинальных требований также могут быть учтены: надбавка за позицию в иностранной валюте, минимальные требования к размеру счета в соответствии с видом операции, шаг цены и т.д.

Изменения безрисковой ставки в работе не моделируются, так как, во-первых, не используются для определения стоимости опциона, согласно модели Блэка, во-вторых, оказывают незначительное влияние на стоимость фьючерса.

Сценарии стоимости фьючерса вычисляются как

$$(4) \quad F_{t+1} = F_t \cdot (1 \pm MR) \cdot \left(1 \pm PR \cdot \frac{\tau}{365} \right),$$

где MR – изменения стоимости фьючерса в процентах; PR – изменения безрисковой ставки в процентах; $\frac{\tau}{365}$ – время до исполнения фьючерса в долях от года.

Сценарии изменения подразумеваемой волатильности определяются как

$$(5) \quad IV_{t+1} = IV_t \cdot \left(1 + \frac{VR \cdot 2 \cdot h}{n-1} \right),$$

где IV – подразумеваемая волатильность; VR – изменения подразумеваемой волатильности; n – число сценариев изменения подразумеваемой волатильности; h – целое число.

Следует отметить, что ни SPAN, ни MOEX не учитывают корреляцию риск-факторов при расчете потенциальных изменений стоимости портфеля из одного ПФИ. Так как в работе производится оценка маржинальных требований только для позиций из одного ПФИ, другие элементы, входящие в SPAN и MOEX, не учитываются при моделировании.

4.3. Критерии сравнения моделей маржирования

Как было сказано ранее, центральный контрагент решает двойственную задачу: повышение качества системы оценки риска и снижение маржинальных требований для увеличения ликвидности. Так как без соответствия качества системы маржирования международным критериям центральный контрагент не имеет права функционировать, в первую очередь модели тестируются на соответствие 99-процентному уровню надежности.

Биномиальный тест – тест для оценки качества VaR-моделей, который позволяет проверить гипотезу о статистической значимости отклонений в фактической доле проби-тий от теоретически ожидаемого уровня надежности [BCBS, 2005]. Тест позволяет сделать вывод о том, какая модель удовлетворяет международным требованиям к качеству модели.

Далее среди всех моделей, прошедших биномиальный тест, выбирается модель, по которой оценка маржинальных требований является наименьшей. Поскольку полученные уровни маржи коррелированы между собой ввиду расчета на общем наборе данных, используются непараметрические тесты.

1. Непараметрический A/B-тест: к каждому набору оценок маржи отдельно применяется процедура bootstrap для оценки выборочного среднего. В результате оценивается площадь пересечения распределений средних значений маржи. Основная гипотеза теста заключается в наличии статистически значимой разницы между уровнями маржи двух моделей. Если разница присутствует и одно из распределений сильнее смещено к нулевому размеру маржинальных требований, то можно сделать вывод о более низком уровне маржи в среднем, p -value в данном случае имеет вид

$$(6) \quad p\text{-value} = 1 - \int_0^1 \min\{f(x); h(y)\},$$

где $f(x), h(y)$ – функции плотности распределения оценок маржи различных моделей.

2. Тест Манна – Уитни: основная гипотеза заключается в отсутствии статистически значимых различий параметров распределения назначенных уровней маржинальных требований двумя различными моделями.

3. Тест Уилкоксона: позволяет сравнить между собой уровни маржи различных моделей с использованием ранжирования.

Вышеуказанные тесты позволяют сделать вывод о сравнительной эффективности моделей оценки уровня маржи с точки зрения назначения минимального размера маржи, удовлетворяющего требованиям регулятора.

5. Результаты моделирования

Анализ проводится при изменении следующих компонент: срок до исполнения, модель оценки параметров для моделируемых риск-факторов и учет или отсутствие коррелирующих риск-факторов.

Для этого период торгов каждого опциона и фьючерса делится на две части: «до 30 дней» и «после 30 дней». Для каждого периода по каждому инструменту оценивается маржа на основе исторической оценки (вычисление среднего и стандартного отклонения риск-факторов) или стохастической оценки (GARCH/EGARCH для прогнозирования распределения риск-параметров). Так как все активы имеют разную структуру риск-факторов во времени, для каждого риск-параметра каждого актива параметры моделей GARCH и EGARCH подбирались отдельно по BIC. Параметры ρ и q для каждого риск-фактора, каждого базового актива и для каждой модели отражены в табл. П2.

В табл. 1–2 и на рис. 3–6 анализ проведен на всех 25 базовых активах. Это означает, что для каждого теста используются все наблюдения, относящиеся к соответствующим периодам – «до 30 дней» и «после 30 дней», по всем базовым активам. То есть, например, в табл. 1 в каждой ячейке отражена доля пробитий на всей совокупности наблюдений с 01.01.2017 г. по 31.12.2020 г. по соответствующим инструментам на все базовые активы из табл. П1 с использованием соответствующего метода оценки.

В табл. 1 представлены доли пробитий по всем методам оценки, по которым модель бенчмарк на всех уровнях отношений страйка к цене базового актива прошла тест по всем базовым активам для периода «до 30 дней». Для каждой доли пробитий проведен биномиальный тест, результаты которого отмечены уровнями значимости. Результаты теста и доли пробитий приведены по всем моделям: MOEX, SPAN и бенчмарк. Для моделей SPAN и бенчмарк результаты приведены для различных методов оценки для сопоставимости результатов при изменении методов оценки. Для модели MOEX приведен результат на реальных данных.

Стоит отметить, во-первых, что без учета корреляции в моделировании риск-факторов ни одна модель, кроме MOEX, не прошла тест. Во-вторых, модель SPAN не прошла тест при использовании любого из перечисленных методов оценки риск-факторов. Первое наблюдение объясняется тем, что генерация случайных изменений риск-факторов может «исключить» их влияние на стоимость ПФИ: рост подразумеваемой волатильности может нивелироваться падением стоимости фьючерса для опциона на покупку. Если же использовать корреляцию риск-факторов, то изменению стоимости базового актива будет соответствовать однонаправленное изменение волатильности по первой компоненте разложения подразумеваемой волатильности. Второе наблюдение означает, что неполный учет критических сценариев (из-за наличия весовых коэффициентов) уменьшает эффективность оценки маржи: с весом, равным 100%, учитываются потери по фьючерсу в размере двух диапазонов изменения цены (стандартных отклонений), что в случае нормального распределения покрывает 97,7% распределения, тогда как для 99-процентного покрытия необходимо 2,33 стандартного отклонения.

Таблица 1.

**Доли пробитий и результаты биномиального теста моделей
для различных методов оценки риск-факторов с учетом корреляции
на периоде «до 30 дней» для всех опционов и фьючерсов**

Модель маржирования	Модель бенчмарк					SPAN					МОЕХ	
Модель оценки риск- факторов	Доходность	Исто- риче- ская	GARCH 1,1	GARCH p,q	GARCH p,q	EGARCH 1,1	Исто- риче- ская	GARCH 1,1	GARCH p,q	GARCH p,q		EGARCH 1,1
	Подразу- меваемая волатиль- ность	Исто- риче- ская	GARCH 1,1	GARCH 1,1	GARCH p,q	GARCH 1,1	Исто- риче- ская	GARCH 1,1	GARCH 1,1	GARCH p,q		GARCH 1,1
Отношение страйка к цене базового актива, %	0,8	0,48***	0,49***	0,51***	0,47***	0,69***	5,42	6,81	6,93	7,05	7,02	0,00***
	0,86	0,4***	0,36***	0,42***	0,42***	0,56***	4,34	5,52	5,53	5,58	5,53	0,00***
	0,92	0,51***	0,35***	0,38***	0,4***	0,45***	2,97	3,46	3,52	3,62	3,57	0,00***
	1	0,88***	0,81***	0,88***	0,85***	0,86***	2,80	2,98	3,03	3,06	3,02	0,03***
	1,08	0,62***	0,57***	0,63***	0,64***	0,59***	2,35	2,38	2,34	2,47	2,42	0,15***
	1,14	0,54***	0,53***	0,56***	0,55***	0,53***	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	0,15***
	1,2	0,66***	0,65***	0,7***	0,69***	0,6***	3,04	2,94	3,02	3,01	3,03	0,12***
Длинная позиция по фьючерсу, %		0,54***	0,57***	0,57***	0,53***	0,86***	7,60	9,42	9,45	9,44	9,33	0,00***

Примечания. Уровни значимости биномиального теста: «***» – $p < 0,01$, «» – $p > 0,1$. Значения для коротких позиций по фьючерсам и опционам на продажу не приведены в таблице, так как они полностью соответствуют качеству моделей для длинных позиций по фьючерсам и опционам на покупку соответственно.

Источник: расчеты авторов на основании данных МОЕХ.

В табл. 2 представлены доли пробитий по всем методам оценки, по которым модель бенчмарк показала лучший результат по всем базовым активам для периода «после 30 дней». Для каждой доли пробитий проведен биномиальный тест, результаты которого отмечены уровнями значимости. Для моделей SPAN и бенчмарк результаты приведены для различных методов оценки для сопоставимости результатов при изменении методов оценки. Для модели МОЕХ приведен результат на реальных данных.

Модель бенчмарк с использованием всех методов оценки риск-факторов не прошла тест по опционам «глубоко вне денег» – опционы на покупку при отношении страйка к цене базового актива, равном 1,2. Когда опцион находится «глубоко вне денег» при малом сроке до исполнения, высокие относительные потери по нему могут быть вызваны лишь очень большим изменением риск-факторов. На этом периоде также все методы оценки без учета корреляции во всех моделях, кроме МОЕХ, не прошли биномиальный тест. Если учесть, что исторический метод оценки требует много наблюдений и является нечувств-

вительным к выбросам, можно сделать однозначный вывод, что SPAN не справится с реальным поведением риск-факторов.

Таблица 2.

Доли пробитий и результаты биномиального теста моделей для различных методов оценки риск-факторов с учетом корреляции на периоде «после 30 дней» для всех опционов и фьючерсов

Модель маржирования		Модель бенчмарк					SPAN					МОЕХ
Модель оценки риск-факторов	Доходность	Исто-рическая	GARCH 1,1	GARCH p,q	GARCH p,q	EGARCH 1,1	Исто-рическая	GARCH 1,1	GARCH p,q	GARCH p,q	EGARCH 1,1	
	Подразумеваемая волатильность	Исто-рическая	GARCH 1,1	GARCH 1,1	GARCH p,q	GARCH 1,1	Исто-рическая	GARCH 1,1	GARCH 1,1	GARCH p,q	GARCH 1,1	
Отношение страйка к цене базового актива, %	0,8	0,91***	1,12***	1,14***	1,12***	1,18***	6,82	6,61	6,51	6,78	6,63	0,5***
	0,86	0,93***	1,08***	1,1***	1,04***	1,14***	6,84	8,58	8,54	8,83	8,67	0,41***
	0,92	0,79***	1***	0,95***	1,02***	0,95***	5,99	7,32	7,75	7,71	7,63	0,35***
	1	0,48***	0,41***	0,46***	0,46***	0,44***	3,36	3,32	3,48	3,73	3,40	0,02***
	1,08	0,66***	0,39***	0,37***	0,44***	0,33***	2,92	2,53	2,51	2,59	2,55	0***
	1,14	1,02***	0,68***	0,66***	0,81***	0,79***	4,13	3,77	3,75	3,71	3,77	0***
	1,2	2,01	1,55	1,60	1,74	1,60	5,93	5,56	5,47	5,49	5,58	0***
Длинная позиция по фьючерсу, %		1,00***	1,16***	1,18***	1,16***	1,26***	7,38	9,29	9,33	9,29	9,16	0***

Примечания. Уровни значимости биномиального теста: «***» – $p < 0,01$, «» – $p > 0,1$. Значения для коротких позиций по фьючерсам и опционам на продажу не приведены в таблице, так как они полностью соответствуют качеству моделей для длинных позиций по фьючерсам и опционам на покупку соответственно.

Источник: расчеты авторов на основании данных МОЕХ.

Анализируя результаты теста во времени, т.е. используя в каждый момент год наблюдений для оценки качества модели, можно заметить, что с 2019 г. для периода «до 30 дней» по модели МОЕХ характерно отсутствие пробитий, тогда как для SPAN и модели бенчмарк – возрастающая доля пробитий. Для периода «после 30 дней» существуют интервалы, где модель бенчмарк не удовлетворяет критерию качества не только для опционов «вне денег», но и для опционов «в деньгах» и фьючерсов, хотя по всей выборке это не наблюдается.

Как было сказано ранее, помимо соответствия требованиям регулятора к системе маржирования, уровень маржи должен быть минимальным. При сравнении четырех моделей оценки риск-факторов путем проведения А/В-теста выявлено, что назначающим минимальный уровень маржи опционов на периоде «до 30 дней» является GARCH(p,q)

для доходности и подразумеваемой волатильности с учетом корреляции (маржа на центральном страйке в среднем составляет 51,86% от стоимости опциона против 55,24% исторической оценки), а для фьючерсов – GARCH(p,q) для доходности и GARCH(1,1) для подразумеваемой волатильности с учетом корреляции (маржа в среднем составляет 4,57% от стоимости фьючерса против 4,97% исторической оценки).

Несмотря на изначальное предположение о различной структуре риск-факторов во времени и дальнейшее его подтверждение, для периода «после 30 дней» также будут использоваться указанные выше методы оценки. Для опционов на центральном страйке маржа в среднем составляет 76,31% против 80,6% исторической оценки, для фьючерсов – 4,53% против 5,11% исторической оценки. В дальнейшем при анализе свойств маржи на этом периоде используются именно эти модели оценки риск-параметров.

На рис. 3 представлено, как учет корреляции влияет на качество оценки риска. На каждом из элементов графика изображено распределение маржи для метода оценки GARCH(p,q) для доходности и GARCH(1,1) для подразумеваемой волатильности. Учет корреляции риск-факторов приводит к снижению дисперсии оценки, уменьшая размер «хвостов» распределения. При этом левый «хвост» уменьшается в значительной степени, приближая распределения к логнормальному, что соответствует распределениям стоимости и прибылей, и убытков опционов. Это происходит из-за взаимосвязи изменений стоимости фьючерса и подразумеваемой волатильности опциона. Для периода «после 30 дней» также идет повышение средней оценки на всех уровнях отношений страйка к цене базового актива.

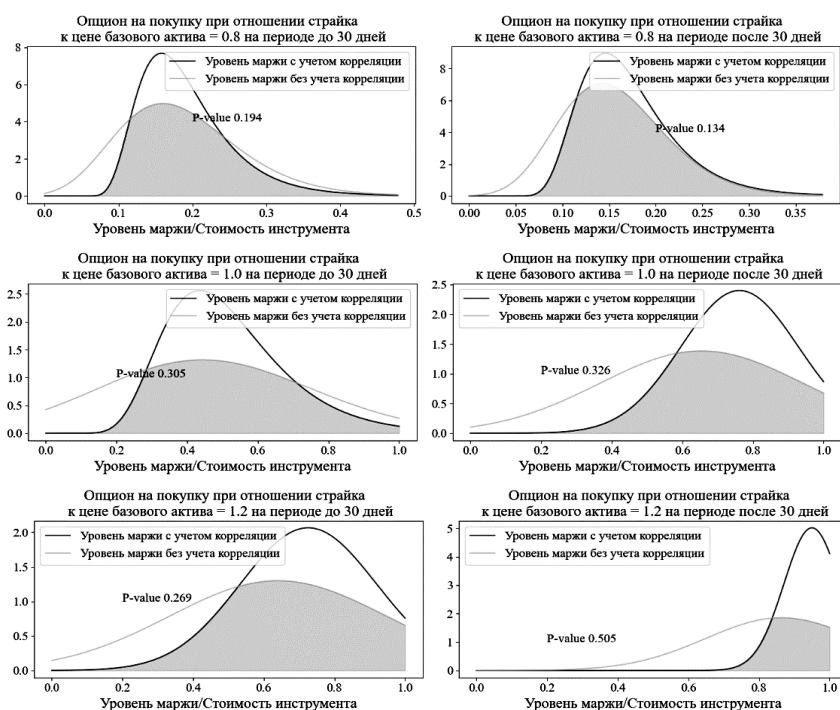


Рис. 3. Сравнение размера маржи модели бенчмарк при отсутствии и учете корреляции

На рис. 4 приведено количественное сравнение моделей маржирования. Сравнение моделей приведено на периоде «после 30 дней», так как он лучше отражает особенности чувствительностей моделей. В верхней части представлены соотношения уровней маржи по опционам на покупку, в нижней – по длинным позициям по фьючерсам. Каждая точка на графиках находится в координатах: по оси абсцисс – размер маржи одной модели в долях от стоимости инструмента, по оси ординат – размер маржи другой модели в долях от стоимости инструмента. Фигурой отмечен уровень отношения страйка к цене базового актива для опциона, цветом – наличие или отсутствие пробитий по моделям. Коэффициентом α обозначен тангенс угла наклона линии тренда.

На рисунках с моделью MOEX можно наблюдать особенность пробитий по моделям SPAN и бенчмарк: они чаще пробиваются там, где они нечувствительны к риску. Например, на рис. SPAN/MOEX для опционов пробития по модели SPAN наблюдаются там, где у SPAN маржа минимальна, а у MOEX маржа волатильна. Также маржа MOEX может быть почти равна полной стоимости опциона, когда маржа другой модели сильно изменчива. При этом маржа MOEX является фиксированной в области волатильности маржи SPAN, т.е. маржа MOEX является слабо чувствительной к изменению моделируемых риск-факторов. Лучше эта особенность отражена на графике сравнения SPAN и MOEX по фьючерсам, где четко видно, что маржа MOEX представляет собой несколько отдельных уровней, а не непрерывное пространство.

При сравнении SPAN и модели бенчмарк видно, что совместные пробития наблюдаются как при минимальном уровне маржи, так и при максимальном. То есть существуют моменты, когда выбранная модель оценки GARCH не может корректно оценить риск и когда качественная оценка потерь – полная стоимость инструмента.

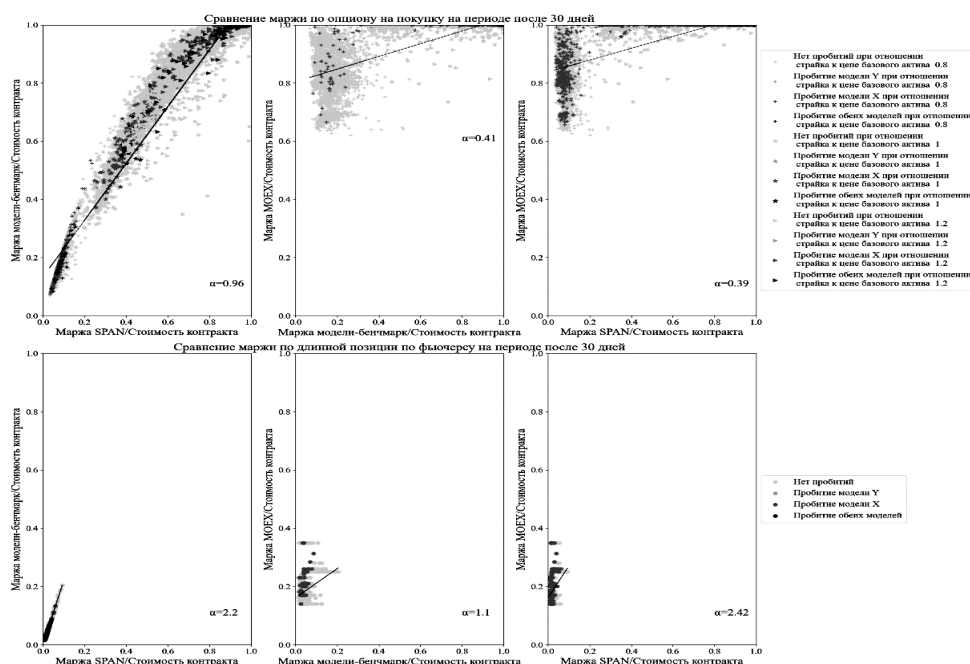


Рис. 4. Сравнение размера маржи на периоде «после 30 дней»

Далее рассмотрим различия в риске инструментов на периодах «до 30 дней» и «после 30 дней».

1. Для уровней маржи опционов «в деньгах» и «на деньгах» существует сильная корреляция независимо от модели оценки (более 0,975). Для фьючерсов корреляция близка к единице (0,994). При этом корреляция прибылей и убытков есть только у опционов «в деньгах» (0,985), которые по своим свойствам приближены к фьючерсам (для опционов на покупку при отношении страйка к цене базового актива равном 1 и 1,2 – 0,327 и 0,01 соответственно).

2. На основе теста Манна – Уитни можно заключить, что изменения стоимости и уровни маржи по модели МОЕХ и модели бенчмарк для опционов «в деньгах» на разных периодах не являются наблюдениями из одной выборки (p-value 0 и 0,024 соответственно). Для модели SPAN различий не возникает (p-value 0,82).

3. Результаты теста Уилкоксона показывают, что статистически значимой разницы в размере назначаемой маржи и изменений стоимости нет, кроме случая опционов «в деньгах» по модели МОЕХ (p-value 0).

Эти результаты говорят либо об отсутствии необходимости деления по срокам при учете риска ПФИ в момент расчета маржинальных требований, так как маржа не отличается, либо о том, что данные методы оценки риск-факторов/маржирования недостаточно чувствительны для обнаружения этой разницы.

Далее сравним размер потерь относительно стоимости инструментов на разных периодах с помощью А/В-теста. По результатам теста для фьючерсов и опционов можно сделать вывод, что только распределения прибылей и убытков опционов «в деньгах» и фьючерсов на периодах «до 30 дней» и «после 30 дней» равны между собой. Утолщение правого хвоста подтверждает выводы, сделанные на основании попарных сравнений уровней маржи: существуют моменты, когда опцион может полностью потерять свою стоимость.

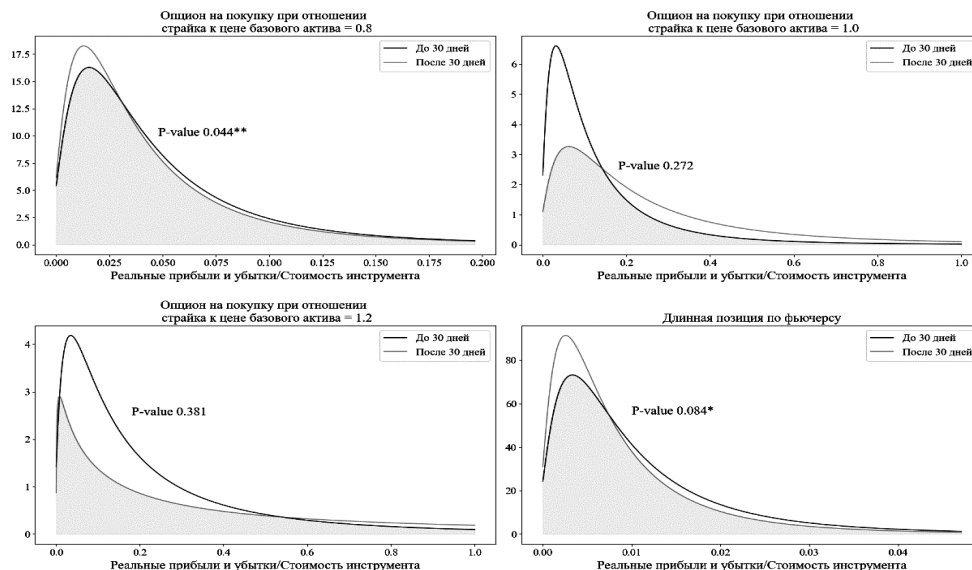


Рис. 5. Непараметрический А/В-тест для реальных прибылей и убытков на разных периодах

На рис. 6 приведено сравнение распределений уровня маржи по инструментам относительно их текущей стоимости на периоде «до 30 дней». Для опционов «в деньгах» и фьючерсов идентичны распределения уровня маржи по форме, но не по параметрам. Для опционов распределение маржи по модели бенчмарк характеризуется меньшим эксцессом, чем по другим моделям. На всех уровнях отношений страйка к цене базового актива среднее значение маржи SPAN значительно меньше. Эта разница между SPAN и моделью бенчмарк может быть объяснена дополнительным взвешиванием сценариев SPAN, которое уменьшает оценку риска.

График распределений уровней маржи для периода «после 30 дней» будет отличаться лишь тем, что для опционов на уровнях отношений страйка к цене базового актива, равных 1 и 1,2, все распределения будут смещены вправо, при этом площадь пересечения распределений маржи на периодах «до 30 дней» и «после 30 дней» сохраняется. На обоих периодах распределения уровней маржи по всем моделям схожи по форме, при смещении распределения в большую сторону при уменьшении срока до исполнения.

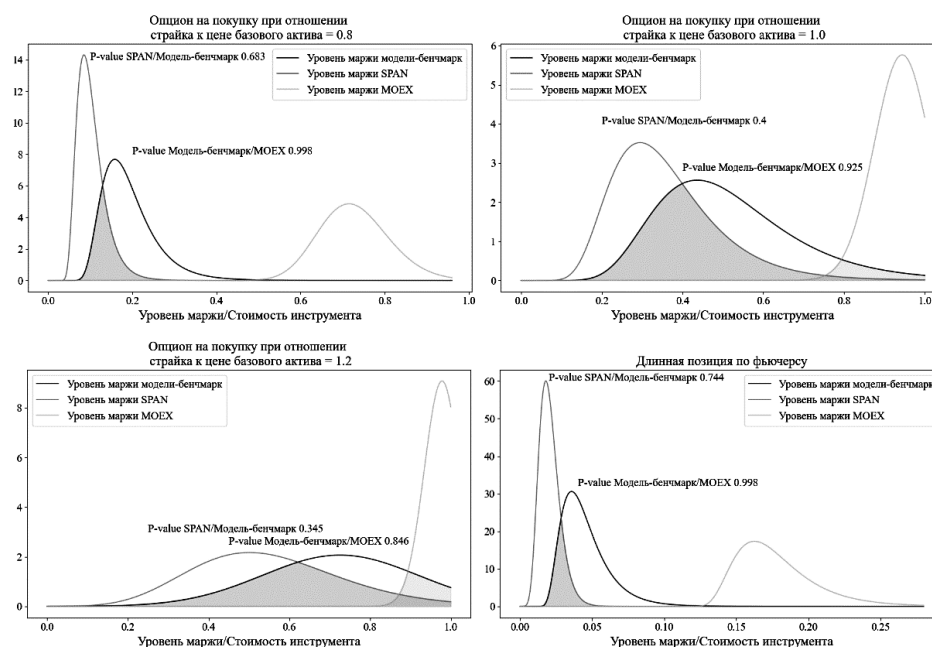


Рис. 6. Непараметрический A/B-тест для сравнения уровней маржи разных моделей на периоде «до 30 дней»

6. Заключение

В работе было проведено сравнительное исследование трех моделей: используемой на практике модели Московской Биржи, модели с фиксированными сценариями изменений риск-факторов SPAN и полностью стохастической модели. В качестве базы для исследования были использованы данные срочной секции Московской Биржи по опционам и

фьючерсам на 25 различных базовых активах за 2017–2020 гг. На их основе были получены оценки маржи по вышеуказанным моделям. Модели сравнивались между собой как по количественному критерию – величине назначаемой маржи, так и по качественному – доле пробитий модели. Модель бенчмарк была предложена авторами для учета трех основных недостатков системы маржирования SPAN: фиксированных сценариев, отсутствия учета корреляции и исторической оценки риск-факторов.

Сравнение моделей с учетом корреляции и без нее показало, что для удовлетворения критерию надежности необходимо моделировать изменения риск-факторов с учетом корреляции. Это объясняется тем, что изменения подразумеваемой волатильности напрямую зависят от доходности базового актива по построению, и первая компонента разложения подразумеваемой волатильности имеет корреляцию с доходностью, близкую к единице. При этом фиксированные сценарии SPAN не могут покрыть убытки на заданном доверительном интервале, что подтверждает необходимость генерации случайных сценариев.

Стохастическое моделирование также является критерием повышения качества моделей оценки маржинальных требований. На стадии сравнения чувствительности моделей было выявлено, во-первых, что модель со случайными сценариями назначает значимо большие маржинальные требования, чем модель SPAN, а во-вторых, что модель с фиксированными сценариями в некоторые моменты является нечувствительной к риску изменения стоимости: там, где она назначает относительно малый уровень требований, модель со случайными сценариями назначает максимальный уровень требований.

Помимо этого, было установлено, что величина маржи для опционов «на деньгах» и «вне денег» отличается на сроках «до 30 дней» и «после 30 дней». Главный риск для моделей, оценивающих уровень маржинальных требований, несут опционы «вне денег»: на периоде «после 30 дней» с ними не справилась ни модель SPAN, ни модель бенчмарк, а модель МОЕХ демонстрировала пробития чаще, чем в среднем.

Таким образом, учет корреляции, использование случайных сценариев и стохастическое моделирование оказывают существенное влияние на качество модели оценки маржинальных требований. Помимо учета этих аспектов и срока до исполнения инструментов имеется потенциал для повышения чувствительности модели оценки риск-параметров в части опционов «вне денег», так как в этом случае данных улучшений оказалось недостаточно для обеспечения качественной оценки при малом сроке до исполнения.

Существует возможность использования предложенных методов при анализе портфелей или опционных стратегий, что позволит уточнить имеющийся результат. Так как было выявлено, что маржинальные требования Московской Биржи оказывают повышенное давление на участников рынка, в дальнейшем представляет интерес расширить анализ и создать модель, удовлетворяющую критериям качества и назначающую при этом сравнительно меньшие требования для сложных позиций.

Приложение

Таблица П1.

Расшифровка тикеров фьючерсов

Тикер фьючерса	Наименование базового актива
AFLT	Обыкновенные акции ПАО «Аэрофлот»
ALRS	Обыкновенные акции ПАО «Алроса»
CHMF	Обыкновенные акции ПАО «Северсталь»
FEES	Обыкновенные акции ПАО «ФСК ЕЭС»
GAZR	Обыкновенные акции ПАО «Газпром»
GMKN	Обыкновенные акции ПАО «ГМК „Норильский никель“»
HYDR	Обыкновенные акции ПАО «РусГидро»
LKOH	Обыкновенные акции ПАО «ЛУКОЙЛ»
MAGN	Обыкновенные акции ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»
MGNT	Обыкновенные акции ПАО «Магнит»
MIX	Индекс Московской Биржи
MOEX	Обыкновенные акции ПАО «Московская Биржа»
MTSI	Обыкновенные акции ПАО «МТС»
MXI	Индекс Московской Биржи (мини)
NLMK	Обыкновенные акции ПАО «Группа НЛМК»
NOTK	Обыкновенные акции ПАО «НОВАТЭК»
PLZL	Обыкновенные акции ПАО «Полюс»
ROSN	Обыкновенные акции ПАО «Нефтяная компания “Роснефть”»
RTKM	Обыкновенные акции ПАО «Ростелеком»
SBPR	Привилегированные акции ПАО «Сбербанк»
SBRF	Обыкновенные акции ПАО «Сбербанк»
TATN	Обыкновенные акции ПАО «Татнефть»
TRNF	Привилегированные акции ПАО «Транснефть»
VTBR	Обыкновенные акции ПАО «ВТБ»
RTS	Индекс РТС

Таблица П2.

Параметры GARCH и EGARCH-моделей различных инструментов

Тикер фьючерса	GARCH для доходности		EGARCH для доходности		GARCH для первой компоненты подразумеваемой волатильности		GARCH для второй компоненты подразумеваемой волатильности		GARCH для третьей компоненты подразумеваемой волатильности	
	p	q	p	q	p	q	p	q	p	q
AFLT	1	1	1	1	1	2	1	3	2	3
ALRS	1	1	2	1	1	3	3	1	1	1
CHMF	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
FEES	1	3	3	1	2	3	1	1	1	1
GAZR	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
GMKN	1	1	1	2	2	3	1	1	1	2
HYDR	1	1	1	3	1	1	1	2	1	1
LKOH	1	1	1	1	2	3	1	1	2	3
MAGN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MGNT	1	1	2	1	1	3	2	3	3	1
MIX	2	2	2	2	2	3	2	3	1	3
MOEX	1	3	2	1	1	1	1	1	3	3
MTSI	1	2	1	2	1	1	2	3	1	1
MXI	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2
NLMK	1	2	2	1	2	3	2	3	1	2
NOTK	1	2	2	1	3	1	3	2	1	1
PLZL	1	1	2	1	3	2	1	2	1	3
ROSN	1	1	2	2	2	3	1	3	2	3
RTKM	2	2	2	1	3	1	1	2	1	1
SBPR	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
SBRF	1	1	1	1	2	3	1	3	1	3
TATN	1	1	1	1	1	2	2	1	3	1
TRNF	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2
VTBR	1	1	2	2	1	1	2	3	1	2
RTS	1	1	2	1	1	1	1	3	1	1

* *
*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Acharya V., Bisin A.* Counterparty Risk Externality: Centralized Versus Over-the-Counter Markets // *Journal of Economic Theory*. 2014. 149(3). P. 153–182.
- Artzner P., Delbaen F., Eber J.-M., Heath D.* Coherent Measures of Risk // *Mathematical Finance*. 1999. 9(3). P. 203–228.
- Bank for International Settlements and International Organization of Securities Commissions.* Committee on Payment and Settlement Systems. Technical Committee of the International Organization of Securities Commissions. Principles for Financial Market Infrastructures. 2012.
- Bank for International Settlements.* Basel Committee on Banking Supervision. An Internal Model-Based Approach to Market Risk Capital Requirements. 1995.
- Basel Committee on Banking Supervision.* Studies on the Validation of Internal Rating Systems. 2005.
- Bollerslev T.* Generalised Autoregressive Conditional Heteroscedasticity // *Journal of Econometrics*. 1986. 31(3). P. 307–327.
- Box G., Jenkins G., Reinsel G.* Time Series Analysis. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 4. 2008.
- Brunnermeier M., Pedersen L.* Market Liquidity and Funding Liquidity // *The Review of Financial Studies*. 2009. 22(6). P. 2201–2238.
- CCP NCC Management Board.* CCP NCC Margin Calculation Principles for Derivatives. 2020.
- CCP NCC Management Board.* CCP NCC Methodology for Risk Parameters of Moscow Exchange Derivatives Market. 2019.
- CCP NCC Management Board.* Procedure for Calculating Volatility Curves. CCP NCC Management Board. 2022.
- Chou R.K., Wang G.H.K., Wang Y-Y.* The Effects of Margin Changes on the Composition of Traders and Market Liquidity: Evidence from the Taiwan Futures Exchange // *SSRN Electronic Journal*. 2014. 35(10). P. 895–914.
- Clearing Conditions for Eurex Clearing AG. 2018.
- CME Group.* Chicago Mercantile Exchange. Standard Portfolio Analysis of Risk. 2019.
- CME Group.* SPAN Risk Manager – Option Pricing Models. 2022.
- Cont R., Deguest R., Scandolo G.* Robustness and Sensitivity Analysis of Risk Measurement Procedures // *Quantitative Finance*. 2010. 10(6). P. 593–606.
- Cont R., Fonseca J.* Dynamics of Implied Volatility Surfaces // *Quantitative Finance*. 2002. 2(1). P. 45–60.
- Cont R., Kokholm T.* Central Clearing of OTC Derivatives: Bilateral vs Multilateral Netting // *Statistics and Risk Modeling*. 2013. 31(1). P. 1–20.
- Danielsson J., Shin H. S., Zigrand J.-P.* Endogenous and Systemic Risk // *Quantifying Systemic Risk*. 2012. 1. P. 73–94.
- Daskalaki C., Skiadopoulos G.* The Effect of Margin Changes on Commodity Futures // *Journal of Financial Services Research*. 2016. 22(3). P. 129–152.
- Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act. 12 USC 5301 note. Public Law 111–203, 111th Congress.
- Emmer S., Kratz M., Tasche D.* What Is the Best Risk Measure in Practice? A Comparison of Standard Measures // *Journal of Risk*. 2015. 18(2). P. 31–60.
- Gerano A.D.* Systematic Multi-Period Stress Scenarios with an Application to CCP Risk Management // *Journal of Banking and Finance*. 2016. 67(3). P. 119–134.
- MOEX.* Methodology for Calculating the Theoretical Price of the Option and the «Delta» Coefficient // CCP NCC Management Board. 2022.

Naik N., Mohan B.R., Aayush J.R. GARCH-Model Identification Based on Performance of Information Criteria // *Procedia Computer Science*. 2001. 171(1). P. 1935–1942.

Nelson D. Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach // *Econometrica*. 1991. 59(2). P. 347–370.

Regulation (EU) № 648/2012 of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on OTC derivatives, central counterparties and trade repositories.

Comparison of Central Counterparty Risk Assessment Approaches

Artyom Potapov¹, Marat Kurbangaleev²

¹ National Research University «Higher School of Economics»,
11, Pokrovsky Blvd., Moscow, 109028, Russian Federation.
E-mail: aipotapov@hse.ru

² National Research University «Higher School of Economics»,
11, Pokrovsky Blvd., Moscow, 109028, Russian Federation.
E-mail: mkurbangaleev@hse.ru

The exchange uses statistical risk models to estimate derivatives' margin requirements. These models may use rough simplifications to speed up and simplify the calculation of margin requirements for open positions. Such simplifications include: limitation of the set of risk factors taken into account, use of simple distribution functions and assumption of zero or fixed correlation between risk factors. The paper assesses the impact of these simplifications on the assigned margin level. To achieve this, several models of varying complexity have been built to estimate the risk of positions in futures and options. The list of models includes those used in practice (the Moscow Exchange model, the Standard Portfolio Analysis of Risk), as well as stochastic ones. The confidence level of the models' results measured by the share of realized losses exceeding the level of margin requirements. The burden on the exchange participants estimated by using different models and compared by the distribution and the average value of the margin requirements. The results of the study show that simplifications proposed in practice can lead to an underestimation of the risk of changes in the value of instruments, not allowed by Principle 7 of paragraph 3 of the CPSS – IOSCO 2012. No systematic underestimation occurs when using the stochastic model, consideration of the correlation of risk factors in this case is critical. It is also found that, in average, margin estimates based on the stochastic model lower than those of the Moscow Exchange, which can be interpreted as a lower burden on the exchange's clients.

Key words: derivatives; margin; Value-at-Risk; backtesting; principal component analysis; GARCH.

JEL Classification: C32, G17, G32.

* *
*

References

- Acharya V., Bisin A. (2014) Counterparty Risk Externality: Centralized Versus Over-the-Counter Markets. *Journal of Economic Theory*, 149, 3, pp. 153–182.
- Artzner P., Delbaen F., Eber J.-M., Heath D. (1999) Coherent Measures of Risk. *Mathematical Finance*, 9, 3, pp. 203–228.
- Bank for International Settlements and International Organization of Securities Commissions. Committee on Payment and Settlement Systems. Technical Committee of the International Organization of Securities Commissions (2012) *Principles for Financial Market Infrastructures*.
- Bank for International Settlements. Basel Committee on Banking Supervision (1995) *An Internal Model-Based Approach to Market Risk Capital Requirements*.
- Basel Committee on Banking Supervision (2005) *Studies on the Validation of Internal Rating Systems*.
- Bollerslev T. (1986) Generalised Autoregressive Conditional Heteroscedasticity. *Journal of Econometrics*, 31, 3, pp. 307–327.
- Box G., Jenkins G., Reinsel G. (2008) *Time Series Analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 4.
- Brunnermeier M., Pedersen L. (2009) Market Liquidity and Funding Liquidity. *The Review of Financial Studies*, 22, 6, pp. 2201–2238.
- CCP NCC Management Board (2020) *CCP NCC Margin Calculation Principles for Derivatives*.
- CCP NCC Management Board (2019) *CCP NCC Methodology for Risk Parameters of Moscow Exchange Derivatives Market*.
- CCP NCC Management Board (2022) *Procedure for Calculating Volatility Curves*. CCP NCC Management Board.
- Chou R.K., Wang G.H.K., Wang Y.-Y. (2014) The Effects of Margin Changes on the Composition of Traders and Market Liquidity: Evidence from the Taiwan Futures Exchange. *SSRN Electronic Journal*, 35, 10, pp. 895–914.
- Clearing Conditions for Eurex Clearing AG*. (2018).
- CME Group (2019) *Chicago Mercantile Exchange. Standard Portfolio Analysis of Risk*.
- CME Group (2022) *SPAN Risk Manager – Option Pricing Models*.
- Cont R., Deguest R., Scandolo G. (2010) Robustness and Sensitivity Analysis of Risk Measurement Procedures. *Quantitative Finance*, 10, 6, pp. 593–606.
- Cont R., Fonseca J. (2002) Dynamics of Implied Volatility Surfaces. *Quantitative Finance*, 2, 1, pp. 45–60.
- Cont R., Kokholm T. (2013) Central Clearing of OTC Derivatives: Bilateral vs Multilateral Netting. *Statistics and Risk Modeling*, 31, 1, pp. 1–20.
- Danielsson J., Shin H. S., Zigrand J.-P. (2012) Endogenous and Systemic Risk. *Quantifying Systemic Risk*, 1, pp. 73–94.
- Daskalaki C., Skiadopoulos G. (2016) The Effect of Margin Changes on Commodity Futures. *Journal of Financial Services Research*, 22, 3, pp. 129–152.
- Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act*. 12 USC 5301 note. Public Law 111–203, 111th Congress.
- Emmer S., Kratz M., Tasche D. (2015) What Is the Best Risk Measure in Practice? A Comparison of Standard Measures. *Journal of Risk*, 18, 2, pp. 31–60.
- Gerano A.D. (2016) Systematic Multi-Period Stress Scenarios with an Application to CCP Risk Management. *Journal of Banking and Finance*, 67, 3, pp. 119–134.
- MOEX (2022) *Methodology for Calculating the Theoretical Price of the Option and the «Delta» Coefficient*. CCP NCC Management Board.

Naik N., Mohan B.R., Aayush J.R. (2001) GARCH-Model Identification Based on Performance of Information Criteria. *Procedia Computer Science*, 171, 1, pp. 1935–1942.

Nelson D. (1991) Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach. *Econometrica*, 59, 2, pp. 347–370.

Regulation (EU) no 648/2012 of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on OTC derivatives, central counterparties and trade repositories.