

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ СТРЕСС-ТЕСТИРОВАНИЯ РЫНОЧНЫХ РИСКОВ ПОРТФЕЛЯ ФИНАНСОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

А.М. Карминский, Е.В.Серякова

Московский государственный институт международных отношений (Университет) МИД России. Москва, 119454, пр. Вернадского 76.

В условиях нестабильности финансовых рынков и макроэкономической ситуации увеличивается необходимость совершенствования инструментов банковского риск-менеджмента. Новые экономические реалии обуславливают потребность в поиске более совершенных подходов оценки степени уязвимости банковского бизнеса к исключительным, но возможным событиям. К числу таких инструментов оценки относится стресс-тестирование. В данной статье рассмотрены и сопоставлены методики стресс-тестирования рыночного риска модельного портфеля различных финансовых инструментов.

В статье рассматриваются понятие, цели, задачи стресс-тестирования, основные критерии для классификации стресс-тестов рыночного риска, освещены особенности сценарного анализа. Приведены результаты стресс-тестирования отдельных финансовых инструментов портфеля на основе современных моделей стресс-тестирования российской и зарубежной практики, а также результаты стресс-тестирования и переоценок стоимости портфеля по трём комплексным моделям: методике стресс-тестирования портфельного риска ЦБ РФ, модели на основе построения корреляционной матрицы риск-факторов и модели копул. Модели стресс-тестирования на индивидуальной основе (на соло-основе) различны для каждого финансового инструмента. Для акции и опциона используется параметрический StressVaR; для опциона применяется модель «Грек»; для еврооблигации используется региональная факторная модель. На основе полученных результатов сделаны выводы об эффективности моделей и даны теоретические рекомендации по управлению рисками данного торгового портфеля. Практическая новизна исследования состоит в разработке программы агрегированного, комплексного, многофакторного стресс-тестирования рыночного риска с помощью сценарного анализа.

Ключевые слова: рыночный риск, портфельный риск, риск-менеджмент, стресс-тестирование, модели стресс-тестирования, банки, копулы, позиция под риском.

Под стресс-тестированием понимают формализованную процедуру оценки влияния на финансовое состояние и обязательные нормативы кредитной организации изменений риск-факторов, которые соответствуют исключительным, но вероятностным событиям, по результатам которых банк прогнозирует потребность в дополнительных источниках капитала и ликвидности. В более узком определении стресс-тестирование определяют как метод оценки чувствительности портфеля к изменениям макроэкономических показателей и другим исключительным, но возможным событиям [2]. Отметим наиболее важные свойства стресс-тестирования рыночного риска портфеля:

- стресс-тестирование должно по возможности носить прогнозную силу, при этом в некоторых моделях проводится оценка стоимости портфеля по состоянию на дату по каждому из альтернативных сценариев;
- агрегация рисков должна проводиться либо на основе корреляций риск-факторов, либо на основе весового значения каждого вида риска для каждого финансового инструмента;
- нелинейные эффекты в распределении стоимостей деривативов.

Основной долгосрочной целью стресс-тестирования является оценка возможных потерь от наступления стрессовых событий и заблаговременная разработка мер по поддержанию или восстановлению финансовой устойчивости банка в результате ухудшения финансового состояния кредитной организации, и, как следствие, возникновения риска неплатёжеспособности [6].

Представим основные критерии классификации видов стресс-тестирования в таблице 1.

Таблица 1.

Основные критерии классификации стресс-тестов

Критерии классификации	Основные категории
По количеству факторов	• однофакторный
	• многофакторный
По методу проведения	• анализ чувствительности
	• сценарный анализ
	• обратное стресс-тестирование
По подходу к различным видам рисков	• индивидуальный
	• комплексный
	• интегральный
По отношению к организационным уровням кредитной организации	• агрегированный (консолидированный)
	• суб-консолидированный
	• на соло-основе
	• частичный
По видам стрессовых сценариев	• исторический
	• гипотетический
По степени жесткости сценария	• пессимистический
	• критический
	• катастрофический

Источник: составлено авторами [2].

Стоит отметить несколько требований к сценариям, разрабатываемым для проведения стресс-теста портфеля инструментов:

- сценарии должны учитывать изменения корреляций риск-факторов, которые имеют тенденцию к росту в кризисные периоды (системный риск);
- сценарии должны включать кризисные сценарии (наихудшие вероятные изменения) для учёта риска в хвостах распределения.

Обзор моделей стресс-тестирования торгового портфеля финансовых инструментов

Представим программу агрегированного комплексного многофакторного стресс-тестирования торгового портфеля:

- объект стресс-тестирования: гипотетический гибридный торговый портфель, состоящий из пяти финансовых инструментов: акций и опционов колл на эти акции, корпоративных еврооблигаций, процентного свопа USD/RUB и частично хеджирующей его ОФЗ;
- данные по портфелю: с 1 февраля 2014 г. по 1 февраля 2015 г.;
- горизонт стресс-тестирования: 1 год по всем трём сценариям.

Все расчёты проводились на базе исторических значений финансовых инструментов (акция, еврооблигация, ОФЗ) портфеля за указанный период. Ежедневные цены опциона-колл на акцию рассчитаны с помощью модели Блэка-Шоулза [13]. Характеристика инструментов приведена в таблице 2.

Таблица 2.

Характеристика финансовых инструментов модельного портфеля

	Характеристика инструмента
Акция	Эмитент ОАО "Газпром"
Опцион – колл	Расчитывается по модели Блэка-Шоулза, где базисным активом является акция эмитента ОАО "Газпром" (K=120, T=344 дня)
Еврооблигация	Доходность к погашению: 5,479%
Процентный своп (длинная позиция по фиксированной ставке)	Срок: 5 лет Купон: 1,5745% Частота выплаты купона: полугодовая База начисления процентов: 30/360
ОФЗ	Валюта: рубли Страна РФ: 6,7% Частота выплаты купона: 182 дня Срок погашения: 15.05.2019

Источник: составлено авторами.

К допущениям модели стоит отнести ограниченное количество моделируемых риск-факторов и отсутствие исторических значений для ряда риск-факторов критичного сценария.

В основе стресс-тестирования лежит сценарный анализ. Разработаны три смешанных сценария, основанные на субъективных предположениях изменения риск-факторов. Но

прежде чем перейти к количественным моделям стресс-тестирования портфеля, стоит отметить ряд моделей, которые могут быть применимы к какому-либо инструменту портфеля (стресс-тестирование на индивидуальной основе). Будут представлены модели стресс-тестирования:

- для акции и опциона: параметрический StressVaR;
- для опциона: модель “Грек”;
- для еврооблигации: региональная факторная модель¹.

Модель стресс-тестирования предполагает расчёт волатильности доходностей инструментов, что ставит вопрос о выборе наиболее точной модели расчёта волатильности. Альтернативные модели расчёта волатильности представлены в таблице 3.

Таблица 3.
Сравнение моделей оценки волатильности финансовых инструментов

	EWMA (w=0.9)	Традиционная модель волатильности	
bs(волатильность акции)	50.029	bs(волатильность акции)	7.073
bc(волатильность опциона)	336.22	bc(волатильность опциона)	18.34
VaR S (VaR акции)	37530.49	b (волатильность портфеля)	5489.09
VaR C (VaR опциона)	8567.57		
VaR p (VaR портфеля)	46098.07	VaRp (VaR портфеля)	427732.01

Источник: составлено авторами.

Из данной таблицы видно, что рассчитывая волатильность доходности портфеля согласно традиционной модели

$\sigma^2 = \sigma_s^2 + \sigma_v^2 + 2 * \sigma_s * \sigma_v * \rho_{s,v}$,
оценка VaR портфеля, состоящего из акции и опциона превышает более, чем в 10 раз VaR портфеля, рассчитанного по модели EWMA как сумма VaR S(акции) и VaR C(опциона). Последние, в свою очередь, рассчитываются как $VaR = S * \sigma_s * \sqrt{T} * k_{1-\alpha}$.

Согласно модели EWMA², волатильность инструментов портфеля рассчитывается таким

образом, что более ранним (прошлым) значениям придаются меньшие веса (оценкам волатильности за период n-1), недавним ежедневным – большие веса, что более корректно. Следовательно, соответствующий результат VaRp является более корректным. В таблице 4 для трех сценариев получаем прогноз на год.

С помощью модели “Грек” можно рассчитать переоценку портфеля на дату путём изменения показателей, на основе которых рассчитываются “Греки”. Цену опциона можно представить с помощью разложения в ряд Тейлора цены опциона следующим образом:

$$\Delta C = \Delta * \Delta S + \Gamma * (\Delta S)^2 / 2 + \tilde{V} * \Delta \sigma + \rho * \Delta r + \Theta * \Delta t.$$

Таблица 5.
Основные показатели “Грек” опциона на выбранную дату

Ha 09/01/2015: S=141,7, C= 12,48	Значения	Интерпретация
Delta (Δ)	7.26	Чувствительность изменения цены опциона к изменению цены базового инструмента акции
Gamma Γ)	0.45	Чувствительность изменения дельты опциона к изменению базового инструмента (акции)
Vega (V)	2257.02	Чувствительность изменения цены опциона к изменению волатильности базового инструмента(акции)
Teta (Θ)	34.55	Чувствительность изменения цены опциона к изменению срока до экспирации опциона
Rho (ρ)	7.35	Чувствительность изменения цены опциона к изменению безрисковой процентной ставки

Источник: составлено авторами.

Риск-факторами в данном случае являются: цена базового инструмента (акции), волатильность базового инструмента (акции), безрисковая процентная ставка, время до экспирации опциона. В таблице 6 представлены результаты переоценки опциона по трём сценариям на 09.01.2015 г.

Алгебраическая сумма переоценок на ежедневной основе даст переоценку портфеля за

Таблица 4.
Величина потерь по каждому сценарию

	Реалистичный	Пессимистичный	Критичный
bs(волатильность акции)	5%	10%	30%
	52.53	55.03	65.04
	7.247	7.42	8.06
VaRp(VaR портфеля)	41843.8	42828.49	46559.47

Источник: составлено авторами.

¹ Речь идёт о модели Regional Factor Model, разработанной для оценки стресс-потерь по инструментам с фиксированной доходностью.

² EWMA : Exponentially weighted moving average.

■ Энергетическая политика и дипломатия: к 15-летию МИЭП

период в соответствии с каждым из трёх сценариев.

Региональная модель³ предполагает разложение доходности облигаций на компоненты, а также разложение доходности в ряд Тейлора наподобие предыдущей модели:

$$R = \frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{P} \cdot P'_t \cdot \Delta t + \frac{1}{P} \cdot P'_y \cdot \Delta y + \frac{1}{2P} \cdot P''_{yy} \cdot (\Delta y)^2 + \frac{1}{P} \cdot P'_\Delta \cdot \Delta \Delta + \frac{1}{P} \cdot P'_S \cdot \Delta S$$

Таблица 6.

Результаты переоценки опциона по трём сценариям на выбранную дату

09.01.2015	Реалистичный	Пессимистичный	Критичный
Δt, дней	5	10	20
Δ6, %	20	30	50
Δr, п.п.	0.5	2	3.5
ΔS, %	5	10	15
ΔC	633.86	1060.72	1897.39

Источник: составлено авторами.

В итоге в таблице 6 представлены результаты переоценки еврооблигации по трём сценариям на 09.01.2015 г.

Таблица 7.

Результаты переоценки еврооблигации по трем сценариям на выбранную дату

09.01.2015	Реалистичный	Пессимистичный	Критичный
R	8.05	11.49	19.19
Дисперсия R	0.41	0.84	2.38
VAR	2436.65	3486.7	5856.72

Источник: составлено авторами.

Из таблицы следует, что волатильность доходности увеличивается значительно в критичном сценарии. Итого, максимальный убыток в течение года на 95%-м доверительном интервале при реализации критичного сценария в 2,4 раза превышает убыток, полученный по реалистичному сценарию.

Можно предположить, что, имея результаты стресс-тестирования инструментов портфеля по отдельности, легко можно получить общий результат (убыток/доход) по всему портфелю путём суммирования индивидуальных показателей VaR. Но метод простого суммирования некорректным вследствие отсутствия учтённых корреляций риск-факторов и разных по своей сути моделей. Комплексные модели стресс-тестирования позволяют корректно агрегировать риски портфеля с учётом воздействия одновременно нескольких риск-факторов.

Комплексные модели стресс-тестирования рисков портфеля

Комплексные модели стресс-тестирования позволяют оценить стресс-потери как на опре-

деленном горизонте, так и на выбранную дату. Рассмотрим две модели переоценки портфеля на выбранную дату (на основе методологии ЦБ РФ и модели копул) и модель оценки стресс-потерь на годовом горизонте на основе дисперсионно-ковариационного анализа.

В 2014 г. ЦБ РФ сформулировал свою полную методику стресс-тестирования портфеля ценных бумаг (инвестиционного и торгового) [1]. Методика рекомендует оценивать рыночный риск на ежедневной основе, а также со временем применять подход Expected Short fall вместо VaR⁴. ЦБ РФ обозначает основные отличия стресс-тестирования от методики VaR. Сравнительная характеристика приведена в таблице 8.

Таблица 8.

Сравнение метода VaR и стресс-тестирования

	VaR	Стресс-тестирование
Цель	Оценка стандартных потерь	Оценка потерь в случае реализации редких, но вероятных событий. Оценка влияния на достаточность капитала
Объект	Отвечает на вопрос: «сколько, вероятно, может быть потеряно» (доверительный интервал)	Отвечает на вопрос: «сколько может быть потеряно» (убыток)
Модели	Статистические модели	Статистические модели не применяются в связи с малым объёмом данных по экстремальным значениям переменных
Сценарии	Не существует	Основа: макроэкономические сценарии

Источник: составлено авторами.

Следует остановиться на предлагаемых ЦБ РФ сценариях и предположениях моделируемых параметров. В таблице 9 приведены предположения сценариев ЦБ РФ об изменениях риск-факторов.

Таблица 9.

Предположения сценариев ЦБ РФ об изменениях риск-факторов

Сценарии	Умеренный	Консервативный
Предположения		
Снижение фондового индекса	-30%	-50%
Увеличение доходности гос. облигаций	+2%	+3,5%
Увеличение доходности корпоративных бондов	+5%	+10%
Рост курса бивалютной корзины	+20%	+30%
Увеличение PD ⁵	+3%	+6,5%

Источник: составлено авторами.

³ Была предложена Bloomberg как модель переоценки инструментов с фиксированной доходностью.

⁴ Модель Expected Shortfall позволяет оценить средние потери по портфелю на выбранном временном горизонте и заданном доверительном интервале, превышающие VaR.

⁵ Под PD имеют в виду спред между доходностью облигации и ОФЗ (кредитный спред инструмента).

Таблица 10.

Модели стресс-тестирования ЦБ РФ по видам рисков

Вид риска	Модель	Пояснения/замечания
Фондовый риск	$r = \delta^* S$ $DelH1 = -r/RWA = -r^* H1/K$	S-портфель r- резервы в соответствие со стресс-сценарием δ – обесценение фондового индекса RWA – активы, взвешенные с учетом риска K- капитал банка
Процентный риск	$\Delta P/P = -D/(1+r) * \Delta r$ D-дюрация (средневзвешенная срочность облигации) ΔP – переоценка облигации	Модель линейного приближения (дельта-аппроксимация) корректна для малых изменений процентных ставок Модель применяется для торгового портфеля облигаций
Процентный риск	$MC = P''r$ $MC(modified convexity) =$ разброс во времени денежных потоков по облигации относительно дюрации $\Delta P/P = -MD * \Delta r + MC * (\Delta r)^2/2$	Модель Δ -6 -аппроксимация) корректна для более значительных изменений процентных ставок Более точная модель по сравнению с предыдущей
Валютный риск	$ОВП = (BA - ВП)/K$ $r = \delta^* BA - \delta^* ВП = \delta^* K * ОВП$	Недостаток: оценка отдельно от проведения стресс-тестирования других рисков
Кредитный риск	$r^* = 0$ (доп. резервы под обесценение) k - частота дефолтов EL - ожидаемые потери LGD=1 $EL = R = P * PD$ $r = P * \Delta PD = P * (k-1) * PD$	Эффективная модель для стресс-тестирования рисков инвестиционного портфеля

Источник: составлено авторами.

Значимую роль играет выбор количественной модели для оценки влияния сформулированных сценариев на стоимость портфеля/инструмента. Методика ЦБ включает несколько моделей для стресс-тестирования каждого вида риска, представленных в таблице 10.

Данная модель обладает очевидными преимуществами: во-первых, простота вычислений; во-вторых, практичность и логичность, доступность для применения всеми банками; в-третьих, возможность проведения оценки влияния потерь по каждому риску на норматив достаточности капитала (H1). К недостаткам модели можно отнести отсутствие модели агрегации рисков для портфеля инструментов или нескольких рисков для одного инструмента и субъективность сценариев.

С помощью данной модели оценим ежедневные переоценки каждого инструмента, а затем всего портфеля в течение года. С этой целью для каждого инструмента рассчитаем показатель переоценки и изменения H1 (норматива достаточности капитала) в результате воздействия присущих им рисков:

- акция: фондовый риск;

- опцион: базисный риск;
- еврооблигация: процентный и валютный риски (в предположении, что образуется валютная позиция);
- процентный своп USD-RUB: процентный риск;
- ОФЗ: процентный риск.

В таблицах 11 и 12 представлены результаты воздействия фондового риска на акцию и риска роста волатильности базового актива на опцион соответственно⁶.

Таблица 11.

Воздействие фондового риска на акцию

Акция	Фондовый риск			
	Умеренный		Консервативный	
	Переоценка	Del H1	Переоценка	Del H1
09.01.2015	-43.94	1.12	-73.23	1.87

Источник: составлено авторами.

В таблицах 13 и 14 представлены результаты воздействия риска параллельного сдвига кривой доходности и риска валютного риска на еврооблигацию соответственно.

Таблица 12.

Воздействие риска роста волатильности базового актива на опцион

Опцион	Рост волатильности базового актива						
	Умеренный				Консервативный		
	Delta	VolS(+5%)	Переоценка	DelH1	VarS(+10%)	Переоценка	DelH1
09.01.2015	6.78	0.02	24.79	-6.35	0.03	25.98	-6.6

Источник: составлено авторами.

⁶ В расчётах показатель достаточности капитала H1=12,8%, показатель капитала банка K=500 млрд руб.

Таблица 13.

Воздействие риска параллельного сдвига кривой доходности на еврооблигацию

Еврооблигация	Рост процентных ставок (сдвиг вверх кривой доходности)	Дата	09.01.2015
		Duration	4,16
		Modified Duration	-4.21
		Изменение г, п.п.	0.01
		ΔР (Δ-approx.)	-483.15
		ΔН1	-1.4
		ΔР (Δ-approx.)	-845.5
		ΔН1	-4.37

Источник: составлено авторами.

Таблица 14.

Воздействие риска валютного риска на еврооблигацию

Еврооблигация	Изменение валютного курса	Дата	09.01.2015
		Цена	5738.0
		ОВП	1.14
		Резервы	1147.60
		ΔН1	-2.94
		Резервы	1721.03
		ΔН1	-4.41

Источник: составлено авторами.

В таблицах 15 и 16 представлены результаты воздействия риска увеличения спреда и риска роста процентных ставок на ОФЗ.

Таблица 15.

Воздействие риска роста спреда на ОФЗ

ОФЗ	Дата	Рост спреда Swap 5Y- ОФЗ 5Y						
		Spread, %	Умеренный			Консервативный		
			Spread, %	Spread, %	ΔР	ΔН1	ΔР	ΔН1
	09.01.2015	0.64	0.67	0.71	50.68	-1.29	53.32	1.36

Источник: составлено авторами.

Таблица 16.

Воздействие риска роста процентных ставок на ОФЗ

	ОФЗ (рост процентных ставок)						
			Умеренный			Консервативный	
	Дата	Duration	Изменение г, п.п.	ΔР	ΔН1	ΔР	ΔН1
	09.01.2015	3.393931	0,01	-10.2483	2.623	-17.93	4.59

Источник: составлено авторами.

Таким образом, данная модель позволяет оценить потери по каждому инструменту в портфеле индивидуально и оценить изменение Н1 в результате понесённого убытка (отрицательной переоценки). Для того, чтобы оценить эти показатели по портфелю, необходимо агрегировать потери по еврооблигации от воздей-

ствия валютного и процентного рисков. Данная проблема может быть решена путём присвоения весов каждому риску, в зависимости от его существенности для банка. В итоге в таблице 17 представим расчёты убытков по портфелю по двум сценариям на 09.01.2015 г.

Таблица 17.

Убытки по портфелю по каждому сценарию на выбранную дату

09.01.2015	Умеренный	Консервативный
Акция, руб.	-43.94	-73.2
Опцион, руб.	24.8	26
Еврооблигация, руб.	36495.2	112650.2
ОФЗ, руб.	4.9	-0.1
Портфель, руб.	36481.0	112602.8

Источник: составлено авторами.

Стоит отметить, что убытки по еврооблигации составляют подавляющую долю убытков по портфелю. Это объясняется тем, что позиция по еврооблигации наибольшая в портфеле. При всех преимуществах модели, она не позволяет оценивать совместное воздействие риск-факторов на стоимость инструмента или всего портфеля. В данном случае агрегация рисков возможна путём присваивания весов риск-факторов, что является весьма субъективной процедурой.

Для проведения переоценки портфеля на любую выбранную дату по результатам воздействия нескольких риск-факторов целесообразно применять модель копул, которая на текущий момент является наиболее точной и корректной моделью оценки портфельных рисков в банковской практике [14]. Модель копул позволяет оценивать воздействие нескольких риск-факторов на стоимость портфеля. На практике это достигается путём построения их совместных распределений. В данной модели рассматривались 4 риск-фактора: S&P 500; USDRUB; LIBOR USD [3M]; RUB-USD swap.

Алгоритм построения модели выглядит следующим образом:

- 1) выбирают риск-факторы, влияющие на изменение стоимости портфеля;
- 2) строят функции распределения риск-факторов: если распределение не соответствует закону нормальности распределения, распределения необходимо пронормировать;
- 3) далее строят функции плотности распределений (PDF) и рассчитывают перцентили распределений. Полученным перцентилем распределений ставят в соответствие их стандартные отклонения;
- 4) рассчитывают попарные кумулятивные совместные вероятности распределения (CDF) путём умножения перцентилей распределения. Далее каждая CDF joint умножается на значение парной корреляции риск-факторов. На основе полученных данных можно рассчитать потери по портфелю на выбранную дату (09.01.15) по следующей формуле:

Таблица 18.

Максимальные потери при совместном воздействии нескольких риск-факторов

09.01.2015	Реалистичный	Пессимистичный	Критичный
S&P 500 и USDRUB	3353.22	2106.16	4156.44
S&P 500 и LIBOR USD [3M]	3673.66	1015.97	2437.59
S&P 500 и RUB-USD swap	604.06	299.56	0
USDRUB и LIBOR USD [3M]	3718.83	2109.4	4172.99
USDRUB и RUB-USD swap	3408.19	793.4	0
LIBOR USD [3M] и RUB-USD swap	655.22	61.502	0
S&P 500, USDRUB, LIBOR USD[3M]	1293.7	1804.64	2620
S&P 500, USDRUB, RUB-USD swap	-203.57	1361.27	0
S&P 500, LIBOR USD [3M], RUB-USD swap	-202.32	652.32	0
USDRUB, LIBOR USD [3M], RUB-USD swap	472.24	562.8	0
S&P 500, USDRUB, RUB-USD swap, LIBOR USD [3M]	15.92	165.183	0

Источник: составлено авторами.

• для двух риск-факторов:
 $VaR = Portfolio * CDF_{joint} * \rho,$

• для трёх риск-факторов:
 $VaR = Portfolio * (CDF_1 * CDF_2 * CDF_3) * (\rho_{1,2} * \rho_{2,3} * \rho_{3,1})$

При этом выберем максимальный перцентиль распределения по каждому риск-фактору, то есть вероятность того, что его значение окажется меньше наибольшего положительного стандартного отклонения. В итоге получаем максимальные потери при совместном воздействии нескольких риск-факторов, представленные в таблице 18.

На основе итоговой таблицы можно сделать следующие выводы:

1) отрицательные значения VaR по совместному воздействию S&P500, USDRUB, LIBORUSD [3M] дали совокупный положительный прирост портфеля;

2) совместное влияние факторов USDRUB и LIBORUSD [3M] приводит к наименьшим убыткам в пессимистичном сценарии, наибольшим – в критичном, что говорит о невыполнении на практике заложенных комплексных сценариев;

3) теоретический сценарный анализ (в данном случае два сценария) полностью реализовался для совместного воздействия S&P 500, USDRUB, LIBORUSD [3M] и S&P 500, USDRUB, USDRUB, LIBORUSD [3M].

Единственным недостатком в данном применении модели копул является невозможность прогнозирования максимальных потерь на выбранном горизонте под воздействием различных сценариев. Данную задачу можно решить путём использования модели стресс-тестирования рыночного риска портфеля на основе построения дисперсионно-ковариационной матрицы риск-факторов. Более того, данная модель позволяет учитывать корреляции между риск-факторами, которые различны на разных фазах экономического цикла и имеют тенденцию повышаться в кризисные периоды. Исходя из этой предпосыл-

ки для трёх сценариев используются корреляции риск-факторов в 2014–2015 гг. (реалистичный сценарий), 2008–2009 гг. (пессимистичный) и 1998–1999 гг. (критичный) соответственно. Основной риск-метрикой является волатильность доходности портфеля. В таблице 19 представлены преимущества и недостатки модели стресс-тестирования рыночного риска портфеля на основе построения дисперсионно-ковариационной матрицы риск-факторов.

Таблица 19.

Преимущества и недостатки модели стресс-тестирования рыночного риска портфеля на основе построения дисперсионно-ковариационной матрицы риск-факторов

Преимущества модели	Недостатки модели
Расчёт волатильности портфеля в соответствии с современной портфельной теорией	Субъективность составления сценариев
Использование параметрического VAR для прогнозирования потерь на заданном временном горизонте	Отсутствие значений риск-факторов для более ранних периодов, необходимость поиска аналогов
Учёт корреляций риск-факторов для каждого сценария	Объёмные расчёты для большого значения риск-факторов
Возможность использования смешанных сценариев (гипотетических, исторических)	

Источник: составлено авторами.

Приведем основные функции для расчётов волатильности доходности портфеля и VaR портфеля [6]:

$$\sigma^2_{\text{доходности_портфеля}} = \sum (w_i * \sigma_i)^2 + \sum 2 * w_i * w_{i+1} * \sigma_i * \sigma_{i+1} * \rho_{i,i+1}$$

$$VaR = Position * k_{1-\alpha} * \sigma_{\text{доходности_портфеля}} * \sqrt{T},$$

где w_i - показатели чувствительности изменения доходности портфеля к изменению риск-факторов;

Таблица 20.

Предпосылки об изменениях риск-факторов для каждого сценария

Риск-факторы	Реалистичный	Пессимистичный	Критичный
S&P 500	-5%	-7%	-10%
USDRUBNorm	35%	65%	75%
LIBOR USD [3M]	+0.01п.п. (1 б.п.)	+0.05 п.п.(5 б.п.)	+0.2 п.п. (20 б.п.)
Ключставка	+0.01п.п.	+0.02п.п.	+0.03п.п.
RUB-USD SWAP 5 YR [RUB-USD SWAP 5 YR]	+0,25 п.п.	+1 п.п.	+2 п.п.
ИПЦ (потребительскаяинфляция)	+0.01п.п.	+0.03п.п.	+0.05п.п.
Еврооблигация 18Y USD(спред)	+0,5п.п.	+1,5 п.п.	+2,5 п.п.
RTSFN\$ INDEX (БАНКИ И ФИНАНСЫ)	-7%	-10%	-15%
RTSFN\$ INDEX (НЕФТЬ И ГАЗ)	-45%	-50%	-70%
ММВБ	-16%	-20%	-50%

Источник: составлено авторами.

$\rho_{i,i+1}$ – попарные корреляции риск-факторов;
 $k_{1-\alpha}$ – квантиль распределения потерь на выбранном доверительном интервале;
 T – горизонт оценки максимальных потерь.

В таблице 20 приведены предпосылки об изменениях риск-факторов для каждого сценария⁷.
 Приведём матрицы попарных корреляций факторов риска по трём сценариям в таблицах 21, 22, 23.

Таблица 21.

Реалистичный сценарий

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.62	0.52	0.66	0.17	0.29	0.12	-0.62	-0.54	0.56
2	0.62	1	0.83	0.91	-0.4	0.83	0.14	-0.83	-0.93	0.56
3	0.52	0.83	1	0.87	-0.33	0.69	0.26	-0.57	-0.74	0.49
4	0.66	0.91	0.88	1	-0.3	0.8	0.23	-0.7	-0.84	0.47
5	0.17	-0.40	-0.33	-0.3	1	-0.61	0.04	0.14	0.28	-0.33
6	0.29	0.82	0.69	0.794	-0.61	1	0.12	-0.52	-0.7	0.47
7	0.12	0.14	0.26	0.23	0.04	0.12	1	-0.07	-0.15	-0.004
8	-0.61	-0.83	-0.57	-0.7	0.14	-0.52	-0.07	1	0.92	-0.27
9	-0.54	-0.92	-0.74	-0.84	0.281	-0.695	-0.14	0.92	1	-0.26
10	0.56	0.56	0.49	0.46	-0.33	0.48	-0.005	-0.27	-0.26	1

Источник: составлено авторами.

Таблица 22.

Пессимистичный сценарий

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	-0.79	0.526	-0.62	-0.81	-0.182	0.004	0.952	0.8637	0.75762
2	-0.793	1	-0.75	0.711	0.43	-0.099	0.06	-0.755	-0.558	-0.3707
3	0.5259	-0.75	1	-0.23	-0.35	0.088	-0.12	0.48	0.2407	0.02049
4	-0.622	0.711	-0.23	1	0.322	8E-04	-0.03	-0.606	-0.565	-0.5074
5	-0.812	0.43	-0.35	0.322	1	0.41	-0	-0.844	-0.833	-0.7895
6	-0.182	-0.1	0.088	8E-04	0.41	1	-0.04	-0.266	-0.426	-0.4931
7	0.004	0.06	-0.12	-0.03	-0	-0.045	1	-0.026	0.0111	0.05152
8	0.9522	-0.75	0.48	-0.61	-0.84	-0.266	-0.03	1	0.9358	0.83258
9	0.8637	-0.56	0.241	-0.57	-0.83	-0.426	0.011	0.936	1	0.95937
10	0.7576	-0.37	0.02	-0.51	-0.79	-0.493	0.052	0.833	0.9594	1

Источник: составлено авторами.

⁷ Предпосылки основывались частично на прогнозировании изменений макрофакторов – МЭР РФ, ЦБ РФ, частично на оценке цикличности изменения показателей за 2008-2009 г., 1998-1999 г., частично на основе экспертного мотивированного суждения.

Таблица 23.

Критичный сценарий

	1	2	3	4
1	1	0.837	-0.647	-0.143
2	0.837	1	-0.842	-0.404
3	-0.647	-0.842	1	0.5855
4	-0.143	-0.404	0.5855	1

Источник: составлено авторами.

Из корреляционных матриц видно, что в периоды кризиса попарная корреляция некоторых риск-факторов меняет знак. К таким риск-факторам можно отнести, например: USDRUB и RUB-USDSWAP 5 YR; USDRUB и ИПЦ; S&P 500 и Ключевая ставка; S&P 500 и RUB-USDSWAP 5 YR; S&P 500 и ИПЦ; USDRUB – Индекс MMBB; LIBORUSD [3M] – Ключевая ставка; LIBORUSD [3M] – Еврооблигация 18Y USD (спред).

Также можно наблюдать возрастание в абсолютном значении. Последнее свойство наблюдается для риск-факторов: S&P 500 и RTSFN\$ INDEX (БАНКИ И ФИНАНСЫ); S&P 500 и RTSFN\$ INDEX (НЕФТЬ И ГАЗ); Еврооблигация 18YUSD (спред) и Индекс MMBB; RUB-USDSWAP 5 YR и Индекс MMBB.

Расчёт показателей чувствительности изменения доходности портфеля к изменению риск-факторов приведён в таблице 24.

Таблица 24.

**Показатели чувствительности
изменения доходности портфеля
к изменению риск факторов**

	Реалистичный	Пессимистичный	Критичный
w1	-7.78	-5.56	0.007
w2	1.11	0.59	0.005
w3	77.73	38.86	-0.018
w4	38.86	19.43	0.018
w5	155.46	38.86	
w6	38.87	12.96	
w7	77.73	25.91	
w8	-0.58	-0.52	
w9	-0.86	-0.77	
w10	-2.43	-1.94	

Источник: составлено авторами.

В итоговой таблице 25 представим расчёты стандартного отклонения доходности портфеля и убытков по каждому сценарию.

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1) волатильность доходности портфеля при реализации пессимистичного сценария возрастает в 8,1 раза, при реализации критичного сценария – в 2,6 раз по сравнению с реалистичным сценарием, что обусловлено меньшим количеством риск-факторов;

2) соответственно максимально возможный убыток на горизонте года при реализации пессимистичного сценария превышает VaR по реалистичному сценарию также в 8,1 раза, критичного – в 2,6 раза;

3) агрегация рисков производится путём включения в расчёты попарных корреляций, что делает полученные результаты логичными и корректными.

**Выводы по результатам
стресс-тестирования портфельного риска
на основе рассмотренных моделей**

В статье был представлен обзор методик и моделей стресс-тестирования в современной российской и зарубежной практике и показаны на примере модельного портфеля финансовых инструментов возможности стресс-тестирования его рисков на основе данных моделей. Сегодня для целей проведения стресс-теста портфельного риска наиболее эффективной моделью является модель копул, которая позволяет оценивать одновременное воздействие нескольких риск-факторов на стоимость портфеля. В рамках составленной программы стресс-тестирования модельного портфеля финансовых инструментов были показаны модели, которые считают как переоценку позиций отдельных инструментов портфеля на ежедневной основе, так и максимальную величину стресс-потерь на выбранном временном горизонте. В статье также были показаны подходы к стресс-тестированию как отдельных финансовых инструментов, так и комплексные модели (для всего портфеля). На основе полученных результатов для трёх рассмотренных моделей можно дать несколько теоретических рекомендаций по управлению рисками портфеля:

1) для методологии ЦБ РФ стресс-тестирования торгового и инвестиционного портфеля можно рекомендовать:

- хеджирование позиции по еврооблигации путем: а) продажи фьючерсов на еврооблигацию; б) покупки CDS (не используется в РФ); в) покупки процентного свопа, где совершается платёж в USD по фиксированной ставке, принимается платёж по плавающей ставке (но при этом возникает процентный риск по платежу с плавающей ставкой). На практике обычно в

Таблица 25.

Стандартное отклонение доходности портфеля и убытки по каждому сценарию

	Реалистичный	Пессимистичный	Критический
бдоходности_портфеля	182.2681757	1477.483368	488.9191513
VaR	40 683 502	329 784 381.4	109 130 094.7

Источник: составлено авторами.

■ Энергетическая политика и дипломатия: к 15-летию МИЭП

качестве хеджирующих инструментов выбирают продажу фьючерса на еврооблигацию, покупку USTreasuries (гособлигаций США), также возможна продажа еврооблигаций;

2) для стресс-тестирования рыночного риска портфеля на основе построения дисперсионно-ковариационной матрицы риск-факторов:

- хеджирование рисков, показывающих резкий рост корреляций в пессимистичном и критичном сценариях;

- продажа инструментов со стандартными отклонениями, увеличившимися в 2 и более раз в пессимистичном и критичном сценариях;

3) для стресс-тестирования рыночного риска портфеля на основе модели копул:

- недопущение концентрации инструментов, подверженных изменению валютного курса и ставке LIBOR 3М (убыток больше, нежели в пессимистичном сценарии).

Список литературы

1. Андриевская И.К. Стресс-тестирование: обзор методологий // Государственный университет – Высшая школа экономики, 2007. 13 с.
2. Буренин А.Н. Форвардные, фьючерсные и опционные рынки. Учебник. М.: Научно-техническое общество имени академика С. И. Вавилова. 2015, 339 с.
3. Котировки финансовых инструментов. Информационное агентство Блумберг <http://www.bloomberg.com>.
4. Лобанов А. Проблема метода при расчёте Value at Risk // Рынок ценных бумаг. 2000, №21, С. 54–58.
5. Методика моделирования достаточности капитала: стресс-тестирование. М.: Ассоциация российских банков. 2013, 83 с.
6. Наталуха И.Г. Оптимальные портфельные решения при наличии скачков цен рискованных активов // Современная экономика: проблемы и решения. М., 2010, №4. С. 140–148.
7. Общие вопросы организации процесса внутренней оценки достаточности капитала (ВПОДК). М.: Ассоциация российских банков. 2013. 49 с.
8. Риск-менеджмент в коммерческом банке: монография / коллектив авторов; под ред. И.В. Ларионовой. – М.: Ассоциация российских банков: КНОРУС. 2014. 456 с.
9. Стресс-тестирование торгового и инвестиционного портфелей ценных бумаг в соответствии с рекомендациями Банка России (вебинар) <http://www.ideal.ru/nwsinf.asp?NP=1&Count=25&Year=2015&id=131>.
10. Энциклопедия финансового риск-менеджмента / Под ред. А. А. Лобанова и А. В. Чугунова. Учебник. М.: Альпина Паблишер, 2003, 785 с.
11. Financial Risk Manager (FRM) Exam Part 1: Quantitative analysis. USA. GARP. 2015. 328 p.
12. Guidelines on Stress Testing (GL 32). Committee of European banking supervisors (CEBS). 2010. 55 p.
13. Hull J. Options, Futures and other Derivatives. Handbook. USA. Prentice Hall. 2006. 869 p.
14. Kroll T. Copula Based Risk Aggregation. 2009 (презентация). www.azarmi.org/wp-content/uploads/2009/12/copula-based-risk-aggregation.pdf.
15. Principles for effective risk data aggregation and risk reporting. Bank for international settlements (BIS). 2013. 28 p.
16. Principles for sound stress testing practices and supervision. Bank for international settlements (BIS). 2013. 20 p.
17. Saita F. Value at Risk and Bank Capital Management. Handbook. USA. Elsevier. 2007. 276 p.
18. Wilmott P. Quantitative analysis. Handbook. UK. John Wiley & Sons. 2008. 1064 p.

Об авторах

Карминский Александр Маркович – д.э.н., д.т.н., профессор МИЭП МГИМО(У) МИД России.

E-mail: karminsky@mail.ru

Серякова Екатерина Вадимовна – магистрант (выпуск 2015 г.) кафедры экономики и банковского бизнеса МГИМО(У) МИД России. E-mail: ekaterinaseryakova@yandex.ru

METHODS AND MODELS OF MARKET RISK STRESS-TESTING OF THE PORTFOLIO OF FINANCIAL INSTRUMENTS

A.M. Karminsky, E.V. Seryakova

Moscow State Institute of International Relations (University). Russia, Moscow, 119454, pr. Vernadskogo, 76.

Abstract: Amid instability of financial markets and macroeconomic situation the necessity of improving bank risk-management instrument arises. New economic reality defines the need for searching for more

advanced approaches of estimating banks vulnerability to exceptional, but plausible events. Stress-testing belongs to such instruments. The paper reviews and compares the models of market risk stress-testing of the portfolio of different financial instruments. These days the topic of the paper is highly acute due to the fact that now stress-testing is becoming an integral part of anticrisis risk-management amid macroeconomic instability and appearance of new risks together with close interest to the problem of risk-aggregation. The paper outlines the notion of stress-testing and gives coverage of goals, functions of stress-tests and main criteria for market risk stress-testing classification. The paper also stresses special aspects of scenario analysis. Novelty of the research is explained by elaborating the programme of aggregated complex multifactor stress-testing of the portfolio risk based on scenario analysis. The paper highlights modern Russian and foreign models of stress-testing both on solo-basis and complex. The paper lays emphasis on the results of stress-testing and revaluations of positions for all three complex models: methodology of the Central Bank of stress-testing portfolio risk, model relying on correlations analysis and copula model. The models of stress-testing on solo-basis are different for each financial instrument. Parametric StressVaR model is applicable to shares and options stress-testing; model based on "Grek" indicators is used for options; for euroobligation regional factor model is used. Finally some theoretical recommendations about managing market risk of the portfolio are given.

Key words: market risk, portfolio risk, risk-management, stress-testing, stress-testing models, banks, copulas, value-at-risk.

References

1. Andrievskaja I.K. Stress-testirovanie: obzor metodologij [Stress-testing:review of methodologies] // Gosudarstvennyj universitet – Vysshaja shkola jekonomiki. 2007. 13 c. (in Russian).
2. Burenin A.N. Forvardnye, f'juchersnye i opcionnye rynki [Forward Futures, Options markets]. Uchebnik. M.: Nauchno-tehnicheskoe obshhestvo imeni akademika S. I. Vavilova. 2015. 339 c. (in Russian).
3. Kotirovki finansovyh instrumentov [Quotes of financial instruments] - Informacionnoe agentstvo Blumberg <http://www.bloomberg.com>.
4. Lobanov A. Problema metoda pri raschete Value at Risk [Problem of the method of Value-at-Risk] // Rynok cennyh bumag. 2000. №21. S. 54–58. (in Russian).
5. Metodika modelirovanija dostatochnosti kapitala: stress testirovanie. M.: ARB. 2013. 83 c. (in Russian).
6. Nataluha I.G. Optimal'nye portfel'nye reshenija pri nalichii skachkov cen riskovyh aktivov [Optimal portfolio decisions for price fluctuations of risky assets] // Sovremennaja jekonomika: problemy i reshenija. M., 2010., №4. S. 140-148. (in Russian).
7. Obshhie voprosy organizacii processa vnutrennej ocenki dostatochnosti kapitala (VPODK) [General issues of the process of capital adequacy evaluation]. M.: Associacija rossijskih bankov. 2013. 49 c. (in Russian).
8. Risk-menedzhment v kommercheskom banke [Risk-management in commercial bank]: monografija / kollektiv avtorov; pod red. I.V. Larionovoj. - M. Associacija rossijskih bankov: KNORUS. 2014. 456 c. (in Russian).
9. Stress-testirovanie torgovogo i investicionnogo portfelej cennyh bumag v sootvetstvii s rekomendacijami Banka Rossii [Stress-testing of trade and investment portfolios of securities according to the Bank of Russia recommendations] <http://www.ideal.ru/nwsinf.asp?NP=1&Count=25&Year=2015&id=131> (in Russian).
10. Jenciklopedija finansovogo risk-menedzhmenta [Encyclopedia of financial risk-management] / Pod red. A. A. Lobanova i A. V. Chugunova. Uchebnik. M.: Al'pina Pablisher. 2003. 785 c. (in Russian).
11. Financial Risk Manager (FRM) Exam Part 1: Quantitative analysis. USA. GARP. 2015. 328 p.
12. Guidelines on Stress Testing (GL 32), Committee of European banking supervisors (CEBS). 2010. 55 p.
13. Hull J. Options, Futures and other Derivatives. Handbook. USA. Prentice Hall. 2006. 869 p.
14. Kroll T. Copula Based Risk Aggregation. 2009. (презентация). www.azarmi.org/wp-content/uploads/2009/12/copula-based-risk-aggregation.pdf.
15. Principles for effective risk data aggregation and risk reporting, Bank for international settlements (BIS). 2013. 28 p.
16. Principles for sound stress testing practices and supervision, Bank for international settlements (BIS). 2013. 20 p.
17. Saita F. Value at Risk and Bank Capital Management. Handbook. USA, Elsevier. 2007. 276 p.
18. Wilmott P. Quantitative analysis. Handbook. UK. John Wiley & Sons. 2008. 1064p.

About the authors

Alexander M. Karminsky – Doctor in Economics, Professor in «Department of economic and banking business» Moscow State Institute of International Relations (University). E-mail: karminsky@mail.ru.

Ekaterina V. Seryakova – post-graduate student in «Department of economic and banking business» Moscow State Institute of International Relations (University). E-mail: ekaterinaseryakova@yandex.ru.