

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский Государственный Университет
им. М.В. Ломоносова»

На правах рукописи

Куренной Дмитрий Святославович

**Обратное стресс-тестирование кредитного портфеля банка на основе
системно-динамических моделей заемщиков**

РЕЗЮМЕ ДИССЕРТАЦИИ

на соискание ученой степени кандидата наук
по прикладной математике

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Голембиовский Дмитрий Юрьевич

Москва – 2022

Актуальность

*Стресс-тестирование*¹ является важным современным инструментом анализа рисков финансовых организаций, который позволяет оценить их устойчивость по отношению к различным потенциально возможным сценариям, способным вызвать резкие и существенные (далее – шоковые) изменения значимых факторов конкретного вида риска. Классическая процедура стресс-тестирования капитала, в частности, дает возможность оценить уровень непредвиденных потерь организации вследствие реализации кредитного риска, обусловленной осуществлением конкретного стресс-сценария.

Однако, финансовый кризис 2008 года выявил в данном подходе ряд недостатков², связанных с его невысокой точностью в быстро меняющихся экономических условиях. Дело в том, что стресс-сценарии факторов риска, разработанные в результате макроэкономического анализа, существенно отличаются от шоковых событий, реализующихся в действительности. С другой стороны, стресс-тесты, опирающиеся на исторические данные об изменениях факторов риска, могут не в полной мере учитывать все условия и нюансы наступающего экономического кризиса. Методы стресс-тестирования, основанные на проверке гипотетических сценариев, сталкиваются также с проблемой оценки вероятности рассматриваемых гипотетических шоковых событий. Поэтому в настоящее время регуляторы банковской сферы в качестве одной из главных процедур оценки рисков предписывают проведение банками *обратного стресс-тестирования*³.

Обратное стресс-тестирование состоит в построении наиболее реалистичных шоковых сценариев, приводящих к заданному уровню финансовых потерь, либо в построении наиболее опасных стресс-сценариев,

¹ Principles for sound stress testing practices and supervision / Basel committee on banking supervision. 2009. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bis.org/publ/bcbs147.pdf> (дата обращения 09.10.2018).

² Risk Management Lessons from the Global Banking Crisis of 2008. / Senior Supervisors Group. – 2009. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sec.gov/news/press/2009/report102109.pdf> (дата обращения 09.10.2018).

³ Guidelines on stress testing / Committee of European banking supervisors. 2010. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.eba.europa.eu/documents/10180/16094/ST_Guidelines.pdf (дата обращения 09.10.2018).

максимизирующих финансовые потери в рамках заданного критерия правдоподобия. Результаты обратного стресс-тестирования могут быть использованы, в частности, для принятия управленческих решений, позволяющих смягчить последствия реализации негативных сценариев.

В рамках оценки кредитного риска осуществляется обратное стресс-тестирование кредитного портфеля, которое заключается в построении стресс-сценариев, обуславливающих непредвиденные потери, которые возникают вследствие дефолта заемщиков, формирующих кредитный портфель.

Данная работа демонстрирует возможность решения задачи обратного стресс-тестирования кредитного портфеля банка на основе системно-динамических моделей заемщиков⁴.

Системная динамика представляет собой парадигму имитационного моделирования, предназначенную для описания структуры и динамики сложных систем на основе концепции потоков, накопителей и обратных связей, которым соответствует формальное представление в виде системы дифференциальных уравнений. Такой метод был впервые предложен Джеймсом Форрестером в 1950-х годах для анализа текучести кадров в компании, с которой он сотрудничал. При помощи построенных моделей ему удалось показать, что главная причина нестабильности рабочих мест была связана с внутренней структурой самой фирмы и не зависела от внешних факторов.

В последующие годы идея представления сложных объектов и явлений в виде системно-динамических моделей получила активное распространение, формальное описание и собственные средства компьютерного моделирования.

Разработка системно-динамической модели предполагает описание структуры исследуемого объекта или явления в виде потоковых диаграмм, а также определение характеристик взаимодействия его различных частей. Представленная в такой форме модель уточняется при помощи

⁴ Forrester J. W. Industrial Dynamics / MIT Press. 1961.

компьютерной симуляции, тестирования различных гипотез о ее поведении и проверки построенных взаимосвязей на исторических данных.

Таким образом, решение оптимизационной задачи обратного стресс-тестирования кредитного портфеля, основанного на системно-динамических моделях, является на данный момент актуальным исследованием.

Постановка проблемы

Существующие недостатки стресс-тестирования обуславливают необходимость проведения банками процедуры обратного стресс-тестирования, которая заключается в построении стресс-сценариев, обладающих определенными свойствами правдоподобия и опасности, выражающейся в финансовых потерях банка. Однако, не все модели оценки кредитного риска, распространенные на данный момент времени, приспособлены для решения задач обратного стресс-тестирования. Например, модели могут учитывать не все особенности организационной и деловой структуры конкретных компаний, не позволять исследовать развитие кризисных явлений во времени и/или предполагать обязательное наличие большой выборки данных об аналогичных предприятиях и ситуациях. Поэтому на данный момент существует острая необходимость в создании и развитии методов, реализующих процедуру обратного стресс-тестирования и решающих хотя бы часть указанных проблем.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы являются разработка и исследование алгоритма решения задачи обратного стресс-тестирования кредитного портфеля, представляемого системно-динамическими моделями предприятий-заемщиков. Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи:

1. Построить системно-динамические модели предприятий из нескольких ключевых отраслей российской экономики, учитывающие

структуру и динамику производственно-финансовой деятельности каждой компании. Провести анализ полученных моделей.

2. Построить многомерную ARIMA-GARCH-модель макроэкономических переменных, являющуюся основой для построения сценариев значимых факторов кредитного риска, способных повлечь максимум финансовых потерь кредитного портфеля в результате дефолтов заемщиков.

3. Разработать и исследовать алгоритм, основанный на принципах приближенного динамического программирования и решающий задачу обратного стресс-тестирования. Изучить ключевые свойства полученного алгоритма.

4. Реализовать разработанный метод с помощью современных средств программирования и провести ряд численных экспериментов, реализующих процедуру обратного стресс-тестирования на основе полученного алгоритма и с использованием построенных системно-динамических моделей. Сравнить результаты разработанного метода с классическим генетическим алгоритмом.

Степень проработанности проблемы

Основным подходам к моделированию кредитного риска посвящено множество научных работ, в частности, статьи Sorge M.⁵, Quagliariello M.⁶ и Drehmann M.⁷. Ключевым объектом анализа, рассматриваемым в указанных работах, является стресс-тестирование, которое позволяет вычислить уровень потерь финансовых организации, обусловленный осуществлением конкретного стресс-сценария. В указанных работах описываются основные методы, применяемые в рамках стресс-тестирования, и приводится их классификация.

⁵ Sorge M. Stress-testing financial systems: an overview of current methodologies // BIS Working Papers. - 2004. - N 165.

⁶ Quagliariello M. Stress-testing the banking system: methodologies and applications / Cambridge University Press. 2009.

⁷ Drehmann M. Macroeconomic stress-testing banks: a survey of methodologies. In Stress-testing the Banking System: Methodologies and Applications / edited by Quagliariello M. Cambridge University Press. - 2009.

Однако они не описывают обратное стресс-тестирование, ключевые аспекты которого содержатся в методологических указаниях для банков со стороны регуляторов банковской сферы^{8,9,10}. Несмотря на важность обратного стресс-тестирования, данной процедуре посвящено не так много исследований. В работах Flood M.D., Korenko G.G. и Glasserman P., Kang C., Kang W. изложена и исследована основная концепция данного подхода. Авторы первой из указанных статей¹¹ описывают алгоритм построения наиболее правдоподобных макроэкономических сценариев с известным распределением факторов риска, приводящих к фиксированному уровню финансовых потерь. Вторая работа¹² посвящена описанию подходов к построению стресс-сценариев с неизвестным распределением факторов риска, обуславливающих заданный уровень потерь. На данный момент предложен также альтернативный подход¹³, решающий задачу определения макроэкономических сценариев факторов риска, максимизирующих финансовые потери кредитного портфеля и удовлетворяющих заданному уровню правдоподобия. Указанные работы носят преимущественно теоритический характер. Структура и динамика конкретных компаний в данных работах не учитываются. Также не оценивается потенциальное взаимное влияние макроэкономических факторов, составляющих стресс-сценарии.

Личный вклад автора в разработку проблемы

⁸ Supervisory and bank stress testing: range of practices / Basel committee on banking supervision. 2017. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bis.org/bcbs/publ/d427.pdf> (дата обращения 09.10.2018).

⁹ Указание Банка России от 07.12.2015 N 3883-У [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_190733/ (дата обращения 09.10.2018).

¹⁰ Указание Банка России от 15.04.2015 N 3624-У [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_180268/ (дата обращения 09.10.2018).

¹¹ Flood M.D., Korenko G.G. Systematic scenario selection: stress testing and the nature of uncertainty // Office of financial research. – 2013.

¹² Glasserman P., Kang C., Kang W. Stress scenario selection by empirical likelihood // Office of financial research. 2012.

¹³ Breuer, T., Jandacka, M., Mencia, J., and Summer, M. A systematic approach to multi-period stress testing of portfolio credit risk. Technical Report Working Paper 1018 // Banco de Espana. – 2010.

Личный вклад соискателя заключается в непосредственном участии в постановке задач исследования и получении изложенных в работе результатов. Автором разработан и предложен алгоритм, реализующий процедуру обратного стресс-тестирования; осуществлена реализация указанного алгоритма путем написания соответствующего кода на языке программирования Matlab; проведены эксперименты и тестирование описанного подхода; подготовлен текст статей с результатами исследования; подготовлена визуализация результатов исследования для представления их на российских и международных конференциях, а также на многочисленных научных семинарах.

Автором исследования проведен анализ полученных результатов, сформулированы выводы по диссертационной работе.

Описание методологии исследования

При решении поставленных задач применены математические методы исследования операций, в том числе имитационного моделирования, математического моделирования, теории оптимизации, теории вероятности и математической статистики, статистические методы анализа временных рядов и регрессионного анализа, а также методы программирования.

Основные результаты, выносимые на защиту

1. В сфере моделирования.

1.1. Разработаны и исследованы системно-динамические модели компаний различных отраслей российской экономики, описывающие структуру и динамику исследуемых предприятий. Модели используются для задания целевой функции, фигурирующей в задаче обратного стресс-тестирования.

1.2. Продемонстрирована возможность использования системно-динамической модели для оценки вероятности дефолта соответствующей компании. Близость полученных оценок вероятности дефолта к

соответствующим оценкам рейтинговых агентств свидетельствует об адекватности модели реальным процессам реализации кредитного риска предприятий-заемщиков.

1.3. Идентифицирована многомерная ARIMA-GARCH-модель, являющаяся основой для макроэкономических стресс-сценариев факторов риска.

2. В сфере численных методов.

2.1. Разработан метод решения оптимизационной задачи обратного стресс-тестирования, относящийся к классу методов приближенного динамического программирования.

2.2. Доказаны утверждения, позволяющие сделать выводы о свойствах и применимости данного алгоритма. Эти утверждения описывают свойства функций, фигурирующих в подзадачах разработанного алгоритма, и обосновывают корректность применения метода последовательного квадратичного программирования к данным подзадачам.

3. В сфере программирования.

3.1. Создан исследовательский комплекс программ, реализующий разработанный алгоритм и обеспечивающий возможность проведения экспериментов, которые оценивают эффективность метода.

3.2. Получены результаты, подтверждающие преимущество разработанного алгоритма над классическим генетическим алгоритмом во времени работы и поиске стресс-сценариев, приводящих к наибольшим потерям.

Научная новизна

1. В сфере математического моделирования.

1.1. Предложен новый подход к проведению процедуры обратного стресс-тестирования, учитывающий структуру предприятий-заемщиков и динамику их показателей во времени.

1.2. Разработаны системно-динамические модели предприятий, обеспечивающие возможность анализа производственной и финансовой деятельности исследуемых компаний.

1.3. Продемонстрированы возможности использования системно-динамической модели для оценки вероятности банкротства предприятия. Подтверждена адекватность системно-динамических моделей путем сравнения оценок вероятности дефолта предприятия, полученных с применением разработанных моделей, с соответствующими оценками, полученными рейтинговыми агентствами.

1.4. Идентифицирована многомерная ARIMA-GARCH-модель, являющаяся основой для определения сценариев факторов риска, которые вызывают максимум финансовых потерь кредитного портфеля.

2. В сфере численных методов.

2.1. Разработан и исследован метод решения оптимизационной задачи обратного стресс-тестирования кредитного портфеля банка на основе системно-динамических моделей заемщиков.

2.2. Доказаны утверждения, которые позволяют сделать выводы о свойствах и применимости данного метода. Эти утверждения указывают на свойства функций, фигурирующих в подзадачах разработанного алгоритма, и обосновывают корректность применения метода последовательного квадратичного программирования к данным подзадачам.

3. В сфере программирования.

3.1. Создан исследовательский комплекс программ, реализующий полученный алгоритм и позволяющий строить сценарии обратного стресс-тестирования.

3.2. Выполнены численные эксперименты по построению сценариев обратного стресс-тестирования для кредитного портфеля из шести заемщиков на временном периоде пяти лет, которые демонстрируют применение разработанного метода к задаче построения макроэкономических сценариев. Результаты разработанного численного

метода сравниваются с результатами решения задачи при помощи классического генетического алгоритма.

Общие выводы исследования

В рамках настоящего диссертационного исследования реализованы следующие научные задачи:

1. Разработаны системно-динамические модели заемщиков, а также представлен общий подход к построению системно-динамических моделей заемщиков, используемых для решения оптимизационной задачи обратного стресс-тестирования кредитного портфеля. Представлены системно-динамические модели компаний, и потенциальная возможность использования их для оценки вероятности дефолта предприятия.

2. Разработан алгоритм, позволяющий формировать сценарии, способные привести к убытку кредитного портфеля, который соответствует локальному экстремуму оптимизационной задачи. При этом обеспечивается заданный уровень правдоподобия сценариев. Доказанные утверждения обосновывают корректность некоторых этапов разработанного алгоритма.

Результаты применения алгоритма могут быть использованы для принятия управленческих решений, позволяющих смягчить последствия реализации полученных сценариев.

3. Идентифицирована многомерная ARIMA-GARCH-модель, которая используется в описанном алгоритме обратного стресс-тестирования как основа для сценариев факторов риска, максимизирующих финансовые потери кредитного портфеля.

4. Представлен исследовательский комплекс программ, соответствующий разработанному методу и позволяющий получить стресс-сценарии в результате осуществления процедуры обратного стресс-тестирования.

Список опубликованных статей, где отражены основные научные результаты диссертации

Работа, опубликованная автором в рецензируемом научном издании, входящем в международную систему цитирования Scopus:

1. Kurennoy D.S. The use of the system dynamics model to determine the probability of company default (Использование модели системной динамики для определения вероятности банкротства предприятия) / Kurennoy D.S., Golembiovsky D.Y. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1047. No 1. 012033. P. 1-9.

Работа, опубликованная автором в рецензируемом научном издании, входящем в список рекомендованных журналов НИУ ВШЭ:

2. Куренной Д. С., Голембиовский Д. Ю. Построение сценариев дефолта предприятий на основе системно-динамических моделей в системе insightmaker // Прикладная информатика. 2017. №05. С. 11-28.

Работы, опубликованные в других рецензируемых научных изданиях:

3. Куренной Д. С., Голембиовский Д. Ю. Системно-динамическая модель кредитного риска нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей компании // Проблемы анализа риска. 2017. №01. С. 6-22.
4. Куренной Д. С., Голембиовский Д. Ю. Оценка вероятности дефолта компании на основе системно-динамической модели // Проблемы анализа риска. 2018. №02. С. 86-92.
5. Куренной Д. С. Алгоритм решения задачи обратного стресс-тестирования кредитного портфеля банка на основе системно-динамических моделей заемщиков // International Journal of Open Information Technologies. 2018. №10. С. 9-21.
6. Куренной Д. С. Алгоритм решения оптимизационной задачи обратного стресс-тестирования кредитного портфеля // Тихоновские

- чтения: Научная конференция / МГУ им. М. В. Ломоносова. – М.: МАКС Пресс, 2018.
7. Kurennoy D. S. System dynamics credit risk model of a corporate borrower // VIII Moscow International Conference on Operations Research (ORM 2016): Moscow, October 17-22, 2016: PROCEEDINGS: Vol.1. – М.: MAKS Press, 2016. P. 102-104.
 8. Kurennoy D. S., Golembiovskiy D. Yu. Estimating the probability of company default based on system dynamics model. // IX Moscow International Conference on Operations Research (ORM 2018): Moscow, October 22-27, 2018: PROCEEDINGS: Vol.1. – М.: MAKS Press, 2018. P. 218-222.