

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра теории функций и стохастического анализа

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ
АНАЛИЗА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ШОКОВ В
ЭКОНОМИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 248 группы

направления 09.04.03 — Прикладная информатика

механико-математического факультета

Кормилицына Сергея Андреевича

Научный руководитель

профессор, д. ф.-м. н.

П. А. Терехин

Заведующий кафедрой

д. ф.-м. н., доцент

С. П. Сидоров

Саратов 2021

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Каскадные сбои наблюдались во многих сложных системах. Они происходят в Интернете, когда трафик перенаправляется в обход неисправных маршрутизаторов. Эта рутинная операция может иногда создавать атаки отказа в обслуживании, которые делают полностью функциональные маршрутизаторы недоступными, подавляя их трафиком. Мы являемся свидетелями каскадных событий в финансовых системах, как в 1997 году, когда Международный валютный фонд оказал давление на центральные банки ряда Тихоокеанских стран, чтобы ограничить их кредит, что привело к дефолту нескольких корпораций, что в конечном итоге привело к краху фондового рынка во всем мире. Финансовый кризис 2009-2011 годов часто рассматривается как классический пример каскадного краха, кредитный кризис США парализует экономику мира, оставляя позади десятки обанкротившихся банков, корпораций и даже обанкротившихся государств. Каскадные сбои также могут быть вызваны искусственно. В качестве примера можно привести всемирные усилия по сокращению денежной массы террористических организаций, направленные на подрыв их способности функционировать. Точно так же исследователи рака стремятся вызвать каскадные сбои в наших клетках, чтобы убить раковые клетки.

Данная работа представляет интерес поскольку анализ экономических шоков является мощным инструментом исследования макроэкономики. Построенные модели экономических потрясений в дальнейшем могут применяться для расчета экономических характеристик эффективности функционирования мировой экономики. Методы анализ экономических шоков позволяют собрать необходимую информацию о поведении системы путем создания ее компьютеризованной модели.

Эта информация используется затем для проектирования системы.

Целью магистерской работы является рассмотрение математических моделей способных анализировать экономические шоки, и применения одной из них на реальных данных.

Объект исследования - экономические шоки и кризисы способные повлечь за собой массовый крах экономики.

Предмет исследования - методы анализа экономических шоков.

Для достижения поставленных целей в работе необходимо решить следующие **задачи**:

- рассмотреть эпидемиологические подходы для решения проблем экономических шоков;
- определить основные понятия экономического шока, необходимые для понимания объекта исследования;
- рассмотреть примеры использования моделей экономических шоков на реальных данных;
- подобрать данные для анализа экономических потрясений;
- применить одну из рассмотренных моделей к реальным данным;
- оценить результаты полученные от применения модели экономического шока.

Практическая значимость проводимого исследования состоит в основании создания математической модели анализа экономических шоков и ее программировании, для получения результатов на существующих данных. В дальнейшем данным программным кодом можно проводить исследования реальных экономических ситуаций. По результатам этих вычислений делать выводы о состоятельности и эффективности экономики.

Структура и содержание магистерской работы. Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников, содержащего 27 наименований. Общий объем работы составляет 62 страницы.

Основное содержание работы

Во **введении** рассматривается важность проводимых исследований и приводятся ситуации, в которых применение моделей для анализа экономических шоков могло бы исправить упадническое состояние экономики.

В **первом** разделе рассматривается обзор эпидемиологических подходов к решению проблем экономических шоков, так как базово модели для эпидемиологии могут рассматриваться как модели для анализа экономических шоков. В данном пункте рассматриваются три модели:

- Классическая модель SI, подход которой основывается на утверждении: для любого промежутка времени верно, что количество человек, присоединившихся к больным, равно количеству человек, переставших быть здоровыми.
- Модель SI для графа «Мир тесен» это когда в каждый момент времени здоровый имеет примерно (k) контактов с больными, а значит (k) возможностей заразиться
- Модель SI для безмасштабной сети, где безмасштабная сеть — граф, в котором степени вершин распределены по степенному закону: $P(k) \sim k^{-\gamma}$.

Во **второй** части работы рассмотрено равновесие, экономические шоки и их влияние на экономику, а так же Методы анализа распространения шоков. В данной работе рассмотрено 4 метода:

- Стандартная модель ввода-вывода, в которой шоки происходят от конечного спроса. В модели отраслевой выпуск линейно зависит от потребностей в ресурсах всех секторов экономики, а также от конечного спроса домашних хозяйств, правительства, экспорта и капиталовложений.
- Модель ввода-вывода во времени основывается Стандартная модель ввода-вывода, которая предполагает экзогенный шок в отношении конечного спроса и вычисляет влияние на отраслевое производство, оставаясь неизменным, в ходе процесса диффузии, величины межотраслевых связей и отраслевого производства. Во второй модели, вместо этого позволяем величинам экономических операций ввода-вывода изменяться во время распространения шока.

- Адаптивная модель ввода-вывода во времени, в которой можно предположить, что при ударе по сектору регулируется не только величина своих соединений в сети ввода-вывода, но и уровень своей продукции. Моделирование показывает, что этот дополнительный механизм адаптации обычно усиливает силу и масштабы последующих лавин, делая страны более уязвимыми. В то же время распределение размеров лавины становится более сконцентрированным вокруг больших значений. Следовательно, адаптивная модель ввода-вывода во времени вызывает каскадный процесс, который напоминает процесс первой модели, но со значительно большей неоднородностью. Тенденция к более однородным и большим каскадам связана с тем, что после корректировки производства в секторах наблюдается более низкий порог мощности, и, таким образом, распространение шока становится легче. Другими словами, негативные шоки, приводящие к корректировке производства, запускают усиливающий механизм, при котором экономика становится слабее и более уязвимой, даже если шок довольно небольшой, из-за совместного эффекта увязки и обновления производства.
- Межстрановая BVAR-модель. При оценке VAR-модели с большим количеством переменных и большим количеством лагов число оцениваемых параметров может значительно превышать число доступных наблюдений — так называемая проблема проклятия размерности (curse of dimensionality). В таких условиях оценки коэффициентов либо вообще невозможно получить, либо они оказываются неточными (слишком большие стандартные ошибки) и не пригодными для дальнейшего структурного анализа и прогнозирования. Байесовские методы предлагают решение этой проблемы благодаря использованию априорных предположений относительно коэффициентов VAR-модели, их дисперсии и ковариации, что позволяет снизить число оцениваемых параметров — вернее, ограничить (shrink) их вариацию относительно априорных (чаще всего нулевых) средних — и тем самым решить проблему проклятия размерности и улучшить качество прогнозов.

В **третьей** части работы рассматриваются примеры использования первых трех моделей из второй части.

Стандартная модель ввода-вывода запускает очень однородный каскадный процесс в большинстве стран ЕС. Это можно увидеть на фигуре 1, где для каждой страны был построен коэффициент вариации (CoV) распределения лавин в стране $\{A_s, s = 1, \dots, S\}$, определяемый как отношение между стандартным отклонением и средним значением, в зависимости от плотности соответствующей страновой сети ввода-вывода.

Модель ввода-вывода во времени генерирует очень неоднородные распределения размеров потрясения (как внутри страны, так и между странами). Также более низкая устойчивость системы вызывает более широкие распределения размеров лавины с более высокой вероятностью.

Вызванная неоднородность в распределении размеров потрясения отображает интересные модели корреляции. Для случая высокой устойчивости, чем больше взаимосвязана сеть ввода-вывода, тем больше самый большой размер потрясения и меньше распределения размеров шока. Также можно заметить, что крупнейшие европейские страны с точки зрения их ВВП, как правило, испытывают самые большие потрясения.

Адаптивная модель ввода-вывода во времени показывает, что дополнительный механизм адаптации обычно усиливает силу и масштабы последующих потрясений, делая страны более уязвимыми. Данная модель вызывает каскадный процесс, который напоминает процесс Модели ввода-вывода, но со значительно большей неоднородностью. Тенденция к более однородным и большим каскадам связана с тем, что после корректировки производства в секторах наблюдается более низкий порог мощности, и, таким образом, распространение шока становится легче. Другими словами, негативные шоки, приводящие к корректировке производства, запускают усиливающий механизм, при котором экономика становится слабее и более уязвимой, даже если шок довольно небольшой, из-за совместного эффекта увязки и обновления производства.

В **четвертом** разделе работы были рассмотрены данные для российской экономики. Для спецификации модели BVAR российской экономики были выбраны 10 переменных, сгруппированных в 3 блока (среднеразмерная модель):

1. переменные внешнего сектора: индекс волатильности на мировых фи-

нансовых рынках VIX (VIX), цена нефти марки Brent (Brent), объем российского экспорта в ценах 2007 года (Export);

2. внутренние нефинансовые переменные: объем ВВП в сопоставимых ценах 2007 года (GDP); индекс потребительских цен, 2007 = 100 (CPI);
3. внутренние финансовые и монетарные переменные: объем внешнего корпоративного долга РФ (без учета долга перед прямыми инвесторами) (ExtDebt), процентная ставка по рублевым кредитам предприятиям (LnsRate), задолженность населения и предприятий по банковским кредитам (Lns), денежная база (MB), номинальный курс рубля (стоимость бивалютной корзины) (ExRate).

В качестве источников данных использовались интернет-сайты Росстата, Банка России, ИА «Финам», Минэкономразвития РФ, Минфина РФ.

Все переменные (кроме процентной ставки) были взяты в логарифмах уровней. Ряды переменных были очищены от сезонных эффектов.

Модель оценивалась на временном периоде с января 2000-го по сентябрь 2015 года

Далее было применение и адаптирование модели к имеющимся данным российской экономики с помощью библиотеки «bvartools» на языке Python.

В результате оценивания модели BVAR российской экономики были получены следующие данные:

Шок доверия на мировых финансовых рынках (переменная VIX) оказывает статистически значимое воздействие на 7 из 10 переменных. Рост волатильности на мировых финансовых рынках ведет к значимому отрицательному изменению цен на нефть и экспорта РФ (ввиду ожиданий снижения мирового спроса на сырье), к снижению внутреннего производства (1% роста VIX соответствует снижению реального ВВП примерно в размере 0,03%; для сравнения: в 2008 году рост VIX в отдельные месяцы составлял свыше 100%), к снижению внешней и внутренней долговой нагрузки, к сокращению денежной эмиссии и к ослаблению курса рубля по отношению к бивалютной корзине. Влияние шока VIX на инфляцию (ИПЦ) оказалось незначимым.

Шок цены на нефть (переменная Brent) оказывает статистически значимое воздействие на 7 из 10 переменных. В ответ на рост нефтяных цен в России наблюдается увеличение экспорта, рост реального ВВП (в ответ на

каждый 1% роста цены нефти ВВП увеличивается в точке максимума на 0,05%), снижение ИПЦ (возможное объяснение — через укрепление курса рубля, которое является «ценовым якорем» и ведет к снижению инфляции), рост внешнего долга в первый год и внутреннего кредитования — во второй, рост эмиссии и укрепление рубля.

Шок физического объема экспорта (переменная *Export*). Данный шок оказывает статистически значимое воздействие на 3 из 10 переменных. Под действием этого шока наблюдается краткосрочный рост ВВП (чувствительность ВВП к росту физического объема экспорта составляет на пике воздействия 0,03), непродолжительное сокращение инфляционного давления, небольшое укрепление курса рубля.

Шок реального ВВП (переменная *GDP*) приводит к росту инфляционного давления (переменные меняются совместно в рамках бизнес-цикла, на 1% увеличения реального ВВП приходится на максимуме 0,38% роста инфляции), к росту внешнего долга (2%) и внутреннего кредитования (за счет спроса на новые займы; в данном случае эластичность ниже, чем в случае внешнего долга). Одновременно растет объем денежной эмиссии.

Шок инфляции (переменная *CPI*). Данный шок оказывает статистически значимое воздействие на 4 из 10 переменных. Ускорение инфляции негативно влияет на динамику производства. Рост ИПЦ ведет к непродолжительному снижению внешнего долга, к увеличению эмиссии и негативно влияет на устойчивость российской валюты.

Шок внешнего долга (переменная *ExtDebt*). Данный шок оказывает статистически значимое воздействие на 5 из 10 переменных. Ускорение привлечения внешних займов из-за рубежа ведет к положительному импульсу внутреннего производства на протяжении примерно 20 месяцев (эластичность на пике составляет 0,06), к снижению инфляции, к росту внутреннего кредитования (возможное объяснение — комплементарность внешних и внутренних кредитных рынков). Также через канал притока валютной выручки и соответствующего роста спроса на рубли растет денежная эмиссия и укрепляется обменный курс национальной валюты.

Шок внутренних процентных ставок (переменная *LnsRate*). Данный шок оказывает статистически значимое воздействие на 4 из 10 переменных

(рис. 26). Рост ставки по кредитам негативно сказывается на объеме внутреннего производства (ВВП). Увеличение кредитной ставки ведет к небольшому росту ИПЦ на протяжении нескольких месяцев (так называемая загадка цен — *price puzzle*, возможная причина которой — действие канала издержек монетарной политики, рост издержек производства в ответ на удорожание заемных ресурсов фирм). Прослеживается комплементарность между внутренним и внешним долгом: в ответ на рост стоимости заимствования внутри страны снижается внешний долг. На кредитном рынке в ответ на рост ставки наблюдается снижение кредитования банками (однако ноль включен в достоверный интервал). Также в ответ на рост ставки по кредитам обнаружено небольшое снижение денежной эмиссии (с лагом более года).

Шок внутренних кредитов (переменная Lns). Данный шок оказывает статистически значимое воздействие на 4 из 10 переменных. Наблюдается рост внутреннего производства длительностью примерно в год (эластичность равна 0,07), значимо и устойчиво растет ИПЦ. Влияние на ставки по кредитам незначимо. С большим лагом (свыше 2 лет) под рост внутреннего кредитования подстраивается денежная эмиссия, которая растет для обеспечения ликвидности банковского сектора. Также вследствие роста внутреннего кредитования наблюдается ослабление курса рубля.

Шок денежно-кредитной политики или денежной эмиссии (переменная MV). Данный шок оказывает статистически значимое воздействие на 4 из 10 переменных. Наблюдается куполообразное положительное воздействие на производство (ВВП, эластичность приблизительно равна 0,04), незатухающий рост ИПЦ, рост объемов кредитования и ослабление курса рубля.

Шок обменного курса рубля (переменная NER). Данный шок оказывает статистически значимое воздействие только на одну переменную. Ослабление курса рубля по отношению к бивалютной корзине ведет к росту ИПЦ с максимальной эластичностью 0,1 по причине удорожания импорта.

В заключении приведены результаты магистерской работы.

Основные результаты

1. Рассмотрены эпидемиологические подходы для решения проблем экономических шоков, такие как:
 - Классическая модель SI;
 - Модель SI для графа «»;
 - Модель SI для безмасштабной сети.
2. Определены основные понятия экономических шоков, а так же методы анализа их распространения такие как:
 - Стандартная модель ввода-вывода;
 - Модель ввода-вывода во времени;
 - Адаптивная модель ввода-вывода во времени.
 - Межстрановая BVAR-модель
3. Так же рассмотрено применение трех моделей анализа распространения экономических потрясений.
4. Были рассмотрены данные для российской экономики в период с января 2000-го по сентябрь 2015 года.
5. Использована и адаптирована к модели BVAR библиотека «bvartools» на языке Python к имеющимся данным российской экономики.
6. Получен результат модели BVAR по 10 обозначенным переменным: доверия; нефть; экспорта реального ВВП; инфляции; внешнего долга; внутренних процентных ставок; внутренних кредитов; денежно-кредитной политики; обменного курса рубля.