

УДК 336, 338, 339, 519. 2

Татьяна Унковская

МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Глобальный финансовый кризис с драматической резкостью и беспрецедентными расходами разрушил иллюзорный рост, построенный на кредитных пирамидах. Как свидетельствует история, глобальный риск таких резких спадов заключается в вероятности запуска цепной реакции последствий, которые в окончательном результате могут привести к опасным геополитическим сдвигам. Одним из кандидатов на роль виновника потери контролируемости экономических процессов часто считают несовершенство методологии макроэкономического моделирования и прогнозирования. Цель статьи – разобраться в сущности этого вопроса, осмыслить наиболее острые проблемы в данной сфере и определить возможные направления их решения.

Ключевые слова: финансовый кризис, глобальные риски, прогнозирование, макроэкономическое моделирование.

JEL: E6, E37, E47, F37, F47.

В конечном счёте, через всеобщую связь явлений и сетевые взаимоотношения человек становится, так или иначе, причастным ко всему, что происходит в мире, и если он может хоть как-то повлиять на те или иные события, то отвечает за них.

Академик А.Александров

Теневые стороны моделирования

Истина редко бывает полной и никогда простой.

Оскар Уайльд

Полезность математического моделирования для понимания и прогнозирования экономических процессов всегда была предметом споров в среде экономистов. Даже "финансовый гуру", бывший председатель ФРС Алан Гринспен шутил в кулуарах, что более ценным является мнение финансового трейдера, а не экономиста-математика. При этом современные финансовые трейдеры не работают без компьютерных программ и стандартных математических моделей, которые, впрочем, не спасают их от катастрофических потерь. Особенно ярким примером неадекватного применения математического моделирования стала нашумевшая история о скандальном провале хедж-фонда LTCM (Long Term Capital Management), в совете директоров которого работали два Нобелевских лауреата по экономике – Роберт Мертон и Майрон Шоулз, соавторы знаменитой математической модели Блэка-Шоулза-Мертон. В 1998 году фонд понёс катастрофические потери (4,6 млрд долл.), которые повлекли за собой кризис целой сети финансовых институтов и спасательные операции Федерального резервного банка Нью-Йорка объёмом

Татьяна Евгеньевна Унковская (unkovskaya@ukr.net), д-р.экон. наук, вед. науч. сотруд. отдела экономической теории Государственного учреждения "Институт экономики и прогнозирования НАН Украины".

3,6 млрд долл. Нобелевскую премию "За новые методы оценки стоимости деривативов" Р.Мертон и М.Шоулз получили в 1997 году.

Ясно, что такие истории – более сложные явления, чем только неадекватное математическое моделирование и прогнозирование. Скорее, это сочетание ошибок прогнозирования со скрытым переплетением институциональных причин, проблем морального риска (*moral hazard*) и чрезмерного левереджа, конфликтов интересов и недобросовестного поведения в финансовых структурах и регулирующих органах. Однако это не снимает фундаментальную проблему неадекватного использования математического моделирования, что, в частности, показал современный глобальный финансовый кризис.

Этот кризис вызвал острые международные дискуссии и заставил всерьёз задуматься о фундаментальных проблемах моделирования и разработки прогнозов. Мы видим здесь два критически важных аспекта. Первый, имеющих моральный и институциональный характер, редко озвучивается в официальной литературе. Его можно назвать *моральным риском использования моделирования и прогнозирования* (*moral hazard of modeling and forecasting*). Второй аспект – методологический. Он касается качества существующих фундаментальных теоретических основ прогнозирования и принципиальной прогнозируемости экономических событий.

Суть первого аспекта проблемы состоит в том, что математическое моделирование может сознательно использоваться не для той цели, для которой оно изначально создавалось, – поиска истины и более глубокого понимания экономических процессов, а для других – побочных или "теневых" целей. Эти "теневые" цели в разных профессиональных сообществах принимают разные формы. В бизнес-среде, в частности среди аналитиков инвестиционных банков, финансовых компаний и рейтинговых агентств, которые накануне кризиса занимались оценкой рисков структурированных инструментов, математическое моделирование использовалось, по образному выражению Н.Талеба¹, не для того, чтобы напоминать нам о неопределённости, а для обмана, увода к мнимой определённости через чёрный ход.

На уровне государственных регуляторов проблема морального риска использования моделирования приобретает ещё больший масштаб и становится критически серьёзной. После начала текущего кризиса в академических кругах развитых стран утвердилась идея, которая активно эксплуатируется банкирами и высшими должностными лицами государственного управления. Она состоит в том, что за последние десятилетия технологические и финансовые инновации достигли такого уровня сложности, который уже не поддаётся математическому моделированию и прогнозированию, и именно поэтому они вышли из-под контроля регуляторов и привели к глобальному кризису. Отсюда, по их мнению, вытекает, что ситуацию невозможно взять под контроль, пока не будут предложены совершенно новые, более сложные подходы и методы моделирования экономических процессов. С одной стороны, в этой идее есть рациональное зерно – действительно необходимы новые подходы. Однако, с другой стороны, эта идея содержит некоторые моменты спекуляций и интеллектуальной нечестности. Известный учёный Дидье Сорнетте пишет: "Прежде чем возлагать наши надежды на суперсложные и супервысокотехнологичные методы, мы должны помнить о простых истинах, которые продемонстрировали свою ценность в прошлом, но были забыты. Академическая и институциональная потеря памяти касается известной истины о роли банков в создании кредитных бумов, о преимуществах определённых (потерянных) форм регулирования и критической роли центральных банков как борцов с надуванием пузырей (а не их инициаторов)"². Хорошо известны идеи экономистов австрийской школы и таких мыслителей, как Фри-

¹ Нассим Николас Талеб – автор книги "Чёрный лебедь. Под знаком непредсказуемости" (*The Black Swan. The Impact of the Highly Improbable*, 2007). Чёрный лебедь – маловероятное, неожиданное событие, которое имеет огромное влияние на последующее развитие событий.

² *Sornette D., Becke S. von der. Systemic risk in banking: It is complex but not that complicated. A response to Andrew G. Haldane & Robert M. May, Neil Johnson and Thomas Lux // http://www.er.ethz.ch/Systemic_risk_in_banking_It_is_complex_but_not_that_complicated_2.2.2011.pdf .*

дрих Хайек и Йозеф Шумпетер, о роли банков в создании кредитных пузырей в системе с частичным резервированием. Уже более 40 лет известна прорицательная работа Хьюмана Мински³ и его гипотеза финансовой нестабильности. Кредитные бумы, поощряемые центральными банками посредством искусственного занижения процентных ставок, могут приводить к сильно неустойчивым состояниям – финансовым пузырям и последующим кризисам. Эти механизмы были известны и описаны во многих книгах. Поэтому циркулирующие идеи о непрогнозируемости подобных явлений похожи на идеи для обслуживания определённых частных и групповых интересов. Как пишет Д. Сорнетте, потеря памяти может быть обусловлена нежеланием и даже сопротивлением определённых кругов включению этих известных механизмов в официальные прогнозные модели правительств и центральных банков. То есть "непрогнозируемость" кризиса была заранее спроектирована, что является ярким проявлением морального риска использования моделирования.

Надежды, возлагаемые на новые методы моделирования, которые обеспечат прорыв в искусстве разработки прогнозов, должны сочетаться с доверием к системе регулирования, использующей эти прогнозы. Современные реформы регулирования, призванные согласовать мотивацию крупных банков и их общественную роль по кредитованию реальной экономики, вызывают в мире острые дискуссии. Недавно принятый в США закон Додда-Франка, который полностью вступит в силу только в 2015 году, представляется неким новым прорывом в системе регулирования. Однако хорошо известен 50-летний период наибольшей стабильности в финансовой истории США и Европы, который наступил после принятия в 1932 году закона Гласса-Стигала, разделившего инвестиционные и коммерческие банки, страхование и розничные банковские операции. С 1980-х годов начал лоббироваться процесс дерегулирования, в 1990-м достигший своего апогея – отмены закона Гласса-Стигала и ликвидации заградительных барьеров на пути создания крупных банковских монстров, подобных "Титанику", которые могли утопить всю финансовую систему. Ещё в 2007 году Нассим Талеб писал: "Возникает чрезмерная зависимость партнёров друг от друга, притом, что необходимость и возможность выбора снижается и тем самым создаётся видимость стабильности. Иными словами, такая ситуация чревата появлением чудовищных Чёрных лебедей. Мы раньше никогда не находились под угрозой общемирового коллапса. Финансовые институты объединились в небольшое число огромных банков. Почти все они нынче взаимосвязаны. Финансовая экология в ужасном состоянии: продолжают разбухать гигантские, забюрократизированные банки, детища кровосмесительных союзов (просчитывающие риски по гауссиане) – рухнет один, рухнут и все остальные. Усиление концентрации в банковской среде вроде бы снижает возможность финансового кризиса, но уж когда кризисы стрясаются, они более тяжелы и их жертвами становятся сразу несколько стран. Мы перешли от разномастных маленьких банков с разной кредитной политикой к гомогенной сети крупных фирм, похожих одна на другую. Да, влипаем мы реже, но уж когда влипнем ... брр!"⁴. Такие прогнозы были не очевидны только тем, кто не хотел их видеть.

Моральному риску использования моделирования, к сожалению, не чуждо и научное экономическое сообщество. Для маститых и авторитетных экономистов "теневыми" целями могут быть обслуживание интересов определённых влиятельных политических и финансовых кругов, экономические интересы, нежелание перемен и ответственности за "неудобные" прогнозы. Для начинающих учёных такой "теневой" задачей, воплощающей в себе моральные риски, является продвижение по карьерной лестнице с помощью публикаций математизированных наукообразных текстов, которые не дают прироста знаний, а просто удовлетворяют формальным критериям научной бюрократии. И методология моделирования в этом не виновна – нам же не приходится в голову обвинять скальпель, если хирург плохо оперирует.

³ Minsky H. Stabilizing an Unstable Economy. N-Y, McGraw-Hill Professional, 1986.

⁴ Талеб Н.Н. Чёрный лебедь. Под знаком непредсказуемости. – М, 2008. – С. 123.

Так, узкопрагматические "коллективные усилия" и стадное поведение создают мощное течение, разрушающее репутацию экономической науки, подстегивающее девальвацию экономических знаний и их потерю, в том числе в математической форме, которые были добыты великолепными мыслителями прошлого, удивительными людьми, посвятившими свою судьбу прояснению экономической картины мира.

В обличительной дискуссии автор статьи "Карта – не территория: о состоянии экономической науки", профессор Лондонской школы экономики Дж.Кэй пишет: "Репутация экономической науки и экономистов, и так не слишком высокая, ещё больше пострадала в результате кризиса 2008 года. Королева Великобритании была не единственной, интересовавшейся, почему никто его не предсказал. Ещё более серьёзное обвинение касается того, что дискуссии в области экономической политики, следовавшие за кризисом, лишь повторяют похожие обсуждения после Великой депрессии 1929 года"⁵. В этих обвинениях, распространившихся после начала кризиса, ошибочно смешиваются две разные категории. Одна из них – достигнутый уровень понимания мира экономической наукой в целом, другая – предсказательная сила той части экономической теории и тех инструментов, которые используются органами регулирования при проведении экономической политики. Следует констатировать факт – та часть экономической науки, для которой кризис был очевидным, органами регулирования не использовалась. Более того, институциональные противоядия финансовым кризисам, выработанные в 1930-х годах после Великой депрессии, через полвека были отброшены.

Главная тенденция, которая доминирует сейчас в процессе реформ, – это усложнение системы регулирования без изменения её принципиальных подходов. Пользуясь простым критерием, можно сравнить ответные антикризисные действия в сфере регулирования в США после Великой депрессии 1929 года и в настоящее время. Наиболее мощным законодательным ответом на Великую депрессию был уже упоминавшийся закон Гласса-Стигала, изменивший архитектуру и правила игры на финансовых рынках. Его по праву называют самым влиятельным законом XX века. Объём его составил 37 страниц. Объём закона Додда-Фрэнка 2010 года – 848 страниц, кроме того, 400 различных оговорок и дополнений и 8843 страниц правил использования этого закона (rulebook). Разъяснения правил, по предварительным оценкам, составят около 30000 страниц. Ситуация в Европе отличается в деталях, однако похожа по существу. С момента кризиса было начато более десятка регуляторных инициатив, касавшихся требований по капиталу, риск-менеджменту, гарантиям депозитов, коротким продажам, рыночным злоупотреблениям, инвестиционным фондам, альтернативным инвестициям, венчурному капиталу, ОТС-деривативам, рынкам финансовых инструментов, страхованию, аудиту и кредитным рейтингам. Они находятся на стадии доработки и уже составляют более 2000 страниц. С учётом правил пользования этими актами объём регуляторной документации катастрофически вырастет до 60000 страниц⁶. По образному выражению исполнительного директора по финансовой стабильности Банка Англии А.Халдейна, "Гласс-Стигал – это просто прочистка горла по сравнению с Доддом-Фрэнком, а Додд-Фрэнк – лёгкая разминка по сравнению с европейскими правилами"⁷.

Аналогичная ситуация наблюдается с Базельскими стандартами. В 1988 году был подведён фундамент под регулирование рисков международной деятельности банков и принято соглашение "Базель I". Широта охвата проблем регулирования рисков и важность принципиальных позиций сочетались с краткостью и простотой. Соглашение имело объём всего 30 страниц. Краткость достигалась за счёт чёткости регуляторных правил на основании не-

⁵ Kay J. The Map is Not the Territory: An Essay on the State of Economics/ Institute for New Economic Thinking, 2011. – P. 1.

⁶ См.: Andrew G. Haldane. The dog and the frisbee. – Speech at the Federal Reserve Bank of Kansas City's 366th economic policy symposium, "The changing policy landscape", Jackson Hole, Wyoming, 31 August, 2012.

⁷ Ibid.

скольких типов кредитных рисков по широкому классу активов. Были определены пять коэффициентов риска и ясные, простые правила расчёта собственного капитала. В течение 1990-х годов Базельские стандарты претерпели принципиальные изменения и значительно усложнились. В 1996-м были приняты Поправки по рыночным рискам (Market Risk Amendment), в соответствии с которыми вводилась концепция регуляторной торговой книги⁸ и банкам разрешалось использовать свои внутренние модели для оценки рисков и регуляторного капитала. Таким образом, регуляторный рубикон был переидён – размыта граница между оценкой коммерческих и регуляторных рисков и эстафета по их оценке передана банкам. Простой и ясный регуляторный заслон рискам был устранён и заменён сложными коммерческими оценками. В 2004 году было принято соглашение "Базель II", объём которого составил 347 страниц. После кризиса 2008 года реформирование Базельских стандартов протекало в направлении усложнения и детализации без изменения принципиального подхода. Объём соглашения "Базель III", принятого в 2010 году, составляет 616 страниц. Сохраняется принцип использования банками внутренних моделей оценки рисков и ухода от широкого класса активов к рискам индивидуальных займов, что раздувает количество коэффициентов риска и затемняет общую картину. Для крупного международного банка количество параметров, оцениваемых в торговой книге, превышает несколько тысяч⁹. При этом точность их оценки на коротких выборках, которые обычно используются во внутрибанковских моделях (около пяти лет), вызывают большие сомнения. Это увеличивает непрозрачность банковского риска для инвесторов и регуляторов.

Борьба регуляторов с растущей сложностью и непрозрачностью финансовых рынков с помощью увеличения сложности и непрозрачности регуляторных процедур похожа на ситуацию тушения пожара бензином. И проблема не в методологии экономической науки и моделирования, а в непрозрачности, запутанности и принципиальной неадекватности регуляторных процедур целям финансовой стабильности. Методологические принципы Базельских стандартов после реформы "Базель III" остались теми же, что порождали серьёзные проблемы и до кризиса, – процикличность, акцент на индивидуальных рисках финансовых институтов, невнимание к системным рискам. Более того, новые Базельские стандарты могут углубить вторичные негативные эффекты – усложнить конкурентные условия для классических банков, занимающихся кредитованием реального сектора, в пользу финансовых институтов, оперирующих на спекулятивных рынках.

Методология экономической науки, и в частности моделирования, должна охватывать понимание того, что процессы реформ финансового регулирования сопровождаются достаточно жёсткой борьбой вследствие столкновения финансовых, политических и геополитических интересов влиятельных групп. Пока не известны модели, которые бы охватывали понимание механизмов и последствий противостояния неформальных институциональных образований, имеющих геополитическое и глобальное финансовое влияние. В литературе, например, не встречаются модели, исследующие влияние Бельведерского клуба, Тройственного союза, семей Рокфеллеров и Ротшильдов, других влиятельных групп на мировые финансовые процессы и возникновение кризисов.

Глобальные институциональные и финансовые реформы могут пойти по эффективному пути только в том случае, если будут найдены точки соприкосновения и конструктивный консенсус между наиболее влиятельными конкурирующими силами и интересами общества в целом. В этой ситуации особенно важной становится роль теоретиков-экономистов, методологов моделирования и прогнозирования. Если экономической науке удастся выявить внутрен-

⁸ Торговая книга (trading book) – часть финансового портфеля банка, брокерской фирмы или иного финансового учреждения, в которой представлены финансовые инструменты, приобретаемые и продаваемые для поддержания торговых операций с клиентами, получения дохода в виде разницы между ценой покупки и продажи, хеджирования торговых операций и т. д.

⁹ См.: Andrew G. Haldane. The dog and the frisbee.

ние механизмы накопления системных рисков и показать их катастрофические последствия, ставящие под сомнение благосостояние всех участвующих сторон, тогда возникает прочный фундамент для поиска конструктивного выхода. Это аналогично тому, как осознание возможности глобальной экологической катастрофы, невыгодной никому из конкурирующих групп, приводит к их переориентации с краткосрочных конкурентных интересов на совместные долгосрочные цели сохранения жизни и безопасности.

Рассмотрим более глубоко второй – методологический – аспект проблем моделирования и разработки прогнозов.

Эволюция макроэкономического моделирования и методологические проблемы

Интеллектуальная честность заключается не в том, чтобы бояться и избегать ошибок, а в том, чтобы беспощадно устранять их.

Карл Поппер

Выдающемуся мыслителю XIX–XX веков Анри Пуанкаре, оставившему после себя великие открытия в сфере математики и физики, первому автору основных принципов общей теории относительности, человеку большого благородства и внутренней скромности, принадлежат слова: "Каждое поколение смеётся над предыдущим, обвиняя его в слишком поспешных и слишком наивных обобщениях. Декарт выражал сожаление по адресу философвионийцев; в свою очередь, он вызывает улыбку у нас; без сомнения, когда-нибудь наши потомки посмеются над нами"¹⁰. Эти слова очень точно отражают то, что происходит сейчас в сфере методологии моделирования и прогнозирования экономических процессов. Авторы многих современных публикаций подвергают уничтожающей критике существующие подходы в этой сфере. Во многом эта критика справедлива, однако не нужно забывать, что мы способны видеть дальше лишь только потому, что стоим на плечах гигантов.

Первое упоминание о применении математического моделирования для исследования макроэкономических процессов принято относить к работе основателя школы физиократов Франсуа Кенэ "Экономическая таблица", опубликованной в 1758 году. В ней проведён анализ общественного воспроизводства с позиции установления определённых балансовых пропорций между натуральными (вещественными) и стоимостными элементами общественного продукта. Фактически сгруппировав всех хозяйствующих экономических субъектов Франции XVIII века в классы: земледельцев (фермеры и сельские наёмные рабочие), собственников (землевладельцы и король) и "бесплодный класс" (промышленники, купцы, ремесленники и наёмные рабочие в промышленности), Кенэ составил первый вариант схемы-таблицы межотраслевого баланса "затрат-выпуска", ставшей прототипом для последующего развития моделей экономического баланса в работах Л.Вальраса и В.Леонтьева.

По мере усложнения экономической деятельности потребность в осмыслении накапливающейся информации, с одной стороны, и развитии математики, статистики и их прикладных возможностей – с другой, привели к быстрому росту использования математических методов в экономике. Этот естественный ход событий определялся взаимодействием растущего спроса на расширение интеллектуального арсенала средств анализа и прогнозирования экономики и предложения таких средств со стороны различных ветвей математики. В результате эволюции этого взаимодействия сформировалась новая наука, которая быстро развивается и в настоящее время, – математические методы и модели в экономике. Современная структуризация этой науки представлена на рисунке. Её области взаимно переплетены и взаимно обусловлены, некоторые из них являются устоявшимися и в определённом смысле достигли своих пределов, некоторые только формируются и открывают новые перспективы в прогнозировании.

¹⁰ Пуанкаре А. Наука и гипотеза. – М., 2011. – С. 14.

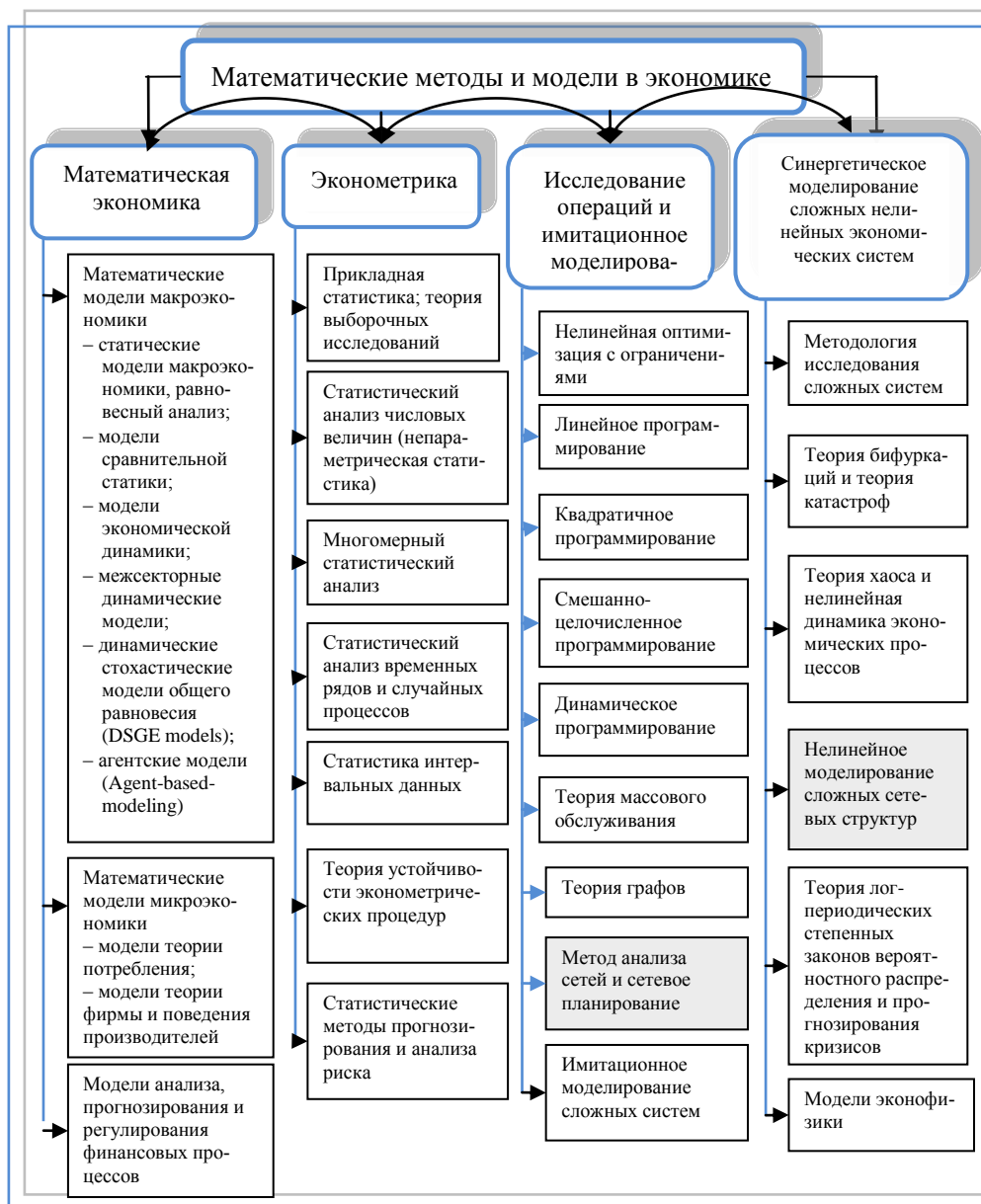


Рисунок. Современная структуризация науки "Математические методы и модели в экономике"

Дисциплина, родившаяся на стыке нескольких областей знаний – экономики, статистики и математики, естественно сталкивается с методологическими проблемами каждой из этих наук. Кроме того, каждый раз при разработке модели возникает методологическая проблема соответствия между сущностью экономической задачи и содержанием математических инструментов, а также адекватностью статистического обеспечения модели. Поэтому ошибка хотя бы в одном из звеньев или в их соединении приводит к ошибочному результату моделирования в целом. На наш взгляд, целесообразно выделить два типа методологических ошибок в процессе моделирования экономических процессов. **Методологической ошибкой первого типа** назовём ошибку в рамках методологии одной науки – экономики, математики или статистики. Например, если считать, что предпосылка эффективных рынков не верна, то это **экономическая** методологическая ошибка первого типа в

классических моделях рыночного равновесия. Ошибка в методологии формирования статистических данных – это *статистическая* методологическая ошибка первого типа.

Методологические ошибки второго типа связаны с несоответствием выбранного математического инструментария или статистического обеспечения сущности исследуемой экономической проблемы. Например, выбор линейных уравнений для моделирования экономических процессов неизвестной структуры, которые могут быть и нелинейными, – это методологическая ошибка второго типа. Неправомерная "искусственная линеаризация" нелинейных явлений не только ошибочно представляет логику их развития, но и чревата грубым искажением существа происходящих процессов. В этом случае можно не заметить важные эффекты, которые не имеют линейных аналогов.

В известном споре Дж. Кейнса и Я. Тинбергена о методе¹¹, в котором Кейнс подвергает жёсткой критике эконометрический метод исследования, применённый Тинбергенем, также речь идёт о методологических ошибках второго типа. По мнению Кейнса, метод множественной корреляции применим, только когда экономист в состоянии заранее представить правильный и абсолютно полный анализ значимых факторов. При этом возникает проблема использования неполного набора объясняющих переменных (смещённая оценка, вызванная пропуском переменных), построение моделей, содержащих ненаблюдаемые переменные (такие, как рациональные ожидания), полученные при помощи плохо измеренных данных, основанных на индексах; получение ложной корреляции в результате замещающих переменных.

На введение фактора времени в уравнение регрессии Кейнс обрушивает не меньшую критику. Она состоит в том, что использование линейного тренда означает, что между первым и последним годами временного ряда проводится прямая линия, и в результате очень многое зависит от того, какие годы выбраны для исследования. Анализируя пример временного ряда, взятого с 1919 по 1933 годы из книги Тинбергена, он говорит о парадоксе, состоящем в том, что экономика США характеризовалась серьёзным понижательным трендом за весь период, в том числе за период, закончившийся в 1929 году. Суммарно изменения достигают 20%, при этом если бы Тинберген исследовал временной ряд, заканчивающийся 1929 годом, он использовал бы растущий тренд вместо понижательного для анализа тех же самых лет. Трендовая компонента, по мнению Кейнса, очень похожа на метод корректировки неудачных результатов и затемняет тот факт, что "данное объяснение на самом деле ошибочно"¹². Людвиг фон Мизес, критикуя эконометрический метод, писал: "...в области человеческой деятельности статистика – это всегда история, и гипотетические корреляции и функции не описывают ничего, кроме того, что случилось в определённый момент времени в определённой географической области как результат деятельности определённого числа людей. Как метод экономического анализа эконометрика – ребяческая игра с числами, которая не добавляет чего-либо в разъяснение проблем экономической действительности"¹³.

Разделение методологических ошибок на два принципиально разных типа позволяет более чётко прояснить природу ошибки, её источник, а следовательно, путь её исправления. Методологические ошибки первого типа имеют сущностный характер и должны обдумываться в рамках соответствующей науки без перекладывания "вины" на смежную область знания. Исправление методологических ошибок второго типа связано с правильным осознанием границ применения выбранного инструментария и области его соответствия сущности исследуемой экономической проблемы. Современная острая критика моделей оценки риска и проблемы "толстых хвостов" вероят-

¹¹ Keynes J.M., Tinbergen J. Professor's Tinbergen's Method // Economic Journal. – 1939–1940. – 49. – P. 558–568; A Reply, by J. Tinbergen, and Comment, by Keynes 50. – P. 141–156.

¹² См.: Розмаинский И. Методологические основы теории Кейнса и его "спор о методе" с Тинбергенем // Вопросы экономики. – 2007. – № 4. – С. 31.

¹³ Mises L. von. The Ultimate Foundation of Economic Science: An Essay on Method. Princeton: D. Van Nostrand, 1962. – P. 23.

ностного распределения часто сводится к критике выбранного математического инструмента – нормальной кривой распределения, то есть к методологической ошибке второго типа. Возможные пути устранения таких ошибок – развитие математического инструментария конкретно для данной задачи или его замена другим, более совершенным с точки зрения адекватности экономической сути задачи. Выход лежит не в отбрасывании моделирования как такового, а в поиске адекватных математических инструментов. История математики знает множество случаев, когда новая математическая область разрабатывалась для решения проблем, сформулированных в рамках другой науки (один из ярких примеров – тензорное исчисление, которое является математической основой общей теории относительности).

Используя предложенную классификацию методологических ошибок, рассмотрим более глубоко дискуссии, возникшие в связи с глобальным финансовым кризисом.

Наибольшей критике подвергаются *динамические стохастические модели общего равновесия* (DSGE – Dynamic Stochastic General Equilibrium models), которые применяются правительствами и центральными банками.

Методологической базой DSGE-моделей, как и их предшественниц – больших макроэконометрических моделей, является *теория общего равновесия*, основы которой заложены в работах Леона Вальраса¹⁴ и развиты К.Эрроу и Г.Дебре¹⁵. Основная идея этой теории состоит в том, что развитие экономики как целостной системы может быть понято из анализа состояния равновесия, которого она достигает вследствие оптимизирующего поведения её частей – рыночных агентов. Первыми приложениями этой теории были высокоагрегированные большие макроэконометрические модели (LMM – Large-scale Macroeconometric Models), которые включали сотни (иногда тысячи) эконометрических уравнений, представляющих собой регрессионные соотношения между макроэкономическими переменными, выстроенные на основе огромного количества данных и анализа временных рядов. Выбор переменных частично определялся положениями экономической теории, но в большей степени эмпирическим опытом и интуицией исследователей. Для оценки параметров использовались равновесные соотношения между спросом и предложением на разных рынках. Эти модели стали объектом знаменитой *критики Лукаса*. Роберт Лукас писал, что макроэкономические модели должны быть основаны на фундаментальной теории, а не на эмпирических корреляциях, полученных из высокоагрегированных исторических данных. Из-за того, что параметры таких моделей не являются структурными, то есть отражающими фундаментальные экономические взаимосвязи, они обязательно изменятся при изменении политики. Поэтому выводы об экономической политике, основанные на таких моделях, обманчивы: "Любые изменения политики будут систематически изменять саму структуру эконометрических моделей"¹⁶.

В ответ на критику Лукаса дальнейшая эволюция макроэкономического моделирования пошла по пути попыток создания таких моделей, которые, с одной стороны, могли бы основываться на фундаментальных законах и учитывать микроэкономические корни формирования макросостояний, а с другой – справляться с количественным анализом больших массивов данных. Возник новый класс динамических моделей общего равновесия, включающий три типа: динамические стохастические модели общего равновесия (DSGE), вычислимые модели общего равновесия (Computable General Equilibrium models – CGE) и прикладные модели общего равновесия (Applied General Equilibrium models – AGE). Параллельно развивалось несколько отличающееся направление агентских моделей (Agent-based Computational Economics – ACE; Agent-Based Models – ABM).

¹⁴ *Walras L. Elements of Pure Economics* (trans Jaffe), Irwin, 1954.

¹⁵ *Arrow K. J., Debreu G. The Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy // Econometrica.* – 1954. – Vol. XXII. – P. 265–290.

¹⁶ *Lucas R. Econometric Policy Evaluation: A Critique*, in Brunner K.; Meltzer A. *The Phillips Curve and Labor Markets*, Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, 1, New York: American Elsevier, 1976. – P. 19.

Наибольшую популярность приобрели DSGE-модели¹⁷. Основная идея моделей такого типа состоит в моделировании функций полезности отдельных экономических агентов в предположении рационального выбора и последующей интеграции результатов этого выбора в равновесную структуру. Макроэкономическое движение к равновесию здесь определяется микроэкономическими основаниями, то есть независимым выбором множества экономических агентов, каждый из которых максимизирует свою полезность при заданном бюджетном ограничении. Стохастичность вводится в модель через вероятностное распределение доходов, которое предполагается известным рыночным агентам.

В настоящее время существуют две конкурирующие школы DSGE-моделирования.

Теоретической основой *первой школы* является *теория реального бизнес-цикла* (Real Business Cycle – RBC-theory) в рамках неоклассических моделей роста. Модели этого типа изучают, как реальные шоки могут порождать экономические флуктуации в условиях предпосылки гибких цен. Первые разработки в этом направлении были сделаны Кидландом и Прескоттом¹⁸, которые положили начало развитию RBC-теории и DSGE-моделированию в целом.

Вторая школа основана на методологии неокейнсианства. Структура этих DSGE-моделей подобна структуре моделей первой школы, однако их исходная предпосылка гибкости цен предполагается неверной. В соответствии с допущением жёсткости цен в этих моделях цены устанавливаются фирмами-олигополистами и не могут непрерывно и беспрепятственно изменяться. Первой работой, в которой предложена такая структура моделирования, была статья Ротемберга и Вудфорда¹⁹.

Хорошо известна модель этого класса Сметса-Уотерса, разработанная в ЕЦБ в 2002 году, которая использовалась для анализа экономики еврозоны в целом. В неё включены три типа агентов: домохозяйства, которые оптимизируют потребительский выбор; фирмы, оптимизирующие привлечение ресурсов, исходя из производственной функции Кобба-Дугласа, и центральный банк, который контролирует монетарную политику. Поразительно, что эта модель центрального банка не включает в явном виде банковский сектор и финансовые рынки, что типично для DSGE-моделей докризисного периода. В начале третьего квартала 2008 года модель не "видела" развёртывания глубокого кризиса, но даже не предполагала замедления экономического роста. Уже после начала кризиса, после корректировки данных в четвёртом квартале модель спрогнозировала слишком быстрое восстановление экономики по сравнению с реальными событиями.

Если наличие методологической ошибки первого типа – корректность предпосылок теории общего равновесия – можно дискутировать, то существование методологической ошибки второго типа – несоответствие структуры модели (в частности, отсутствие в ней финансового сектора) сущности экономической проблемы – является очевидным.

До кризиса 2008 года существовали некоторые модификации DSGE-моделей, в которых осуществлялись попытки анализа влияния финансовых процессов на реальные бизнес-циклы без явного введения в модель банковского сектора. В частности, это *модель финансового акселератора Бернанке, Гертлера и Гилчриста*²⁰ (1999). В своей статье авторы упоминают работы

¹⁷ Многие центральные банки разработали собственные варианты DSGE-моделей: Банк Канады – модель ToTEM; Банк Англии – BEQM; Европейский Центральный банк – Smets-Wouters Model, NAWM; Банк Норвегии – NEMO; Риксбанк Швеции – RAMSES; ФРС США – SIGMA; МВФ – модели GEM, GFM и GIMF; Центральный банк Чили – MAS; Центральный резервный банк Перу – MEGA-D.

¹⁸ Kydland F.E., Prescott, E.C. Time to build and aggregate fluctuations // *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. – 1982. – 50 (6): 1345–1370.

¹⁹ Rotemberg J.J., Woodford M. Dynamic General Equilibrium Models with Imperfectly Competitive Product Markets // *NBER Working Papers*. – 4502, National Bureau of Economic Research, Inc., 1993.

²⁰ Bernanke Ben S., Gertler M., Gilchrist S. The Financial Accelerator in a Quantitative Business Cycle Framework // *Handbook of Macroeconomics*. – Vol. 1. Edited by J.B.Laylor and M. Woodford © 1999 Elsevier Science.

И.Фишера, Х.Мински и других учёных, убедительно обосновавших роль кредитных бумов в возникновении кризисов, и мотивируют этим необходимость включения финансовых процессов в структуру DSGE-моделей. Однако не включают в свою модель банковский сектор в явном виде. Кредитный рынок является анонимным, банки рассматриваются как безубыточные структуры, финансируемые заёмщиками по безрисковой ставке, которые лишь обеспечивают канал перемещения средств между кредиторами и заёмщиками. Предполагается, что банки не подвержены опасности дефолта или банкротства, возможность финансового кризиса не рассматривается и лежит за рамками модели. Механизм финансового акселератора, способного усилить внешние шоки, вводится в модель через сектор фирм посредством взаимосвязи между благосостоянием фирмы и премией за внешнее финансирование. Так как в модели отсутствует межбанковской сектор, влияние банковского капитала на механизм финансового акселератора не учитывается. В целом модель включает интересные элементы, однако остаётся несколько искусственной и, на наш взгляд, содержит методологическую ошибку второго типа.

Настоящим прорывом в DSGE-моделировании стала *модель кредитных циклов Кийотаки и Мура*²¹ (1997). В хорошо развитой динамической модели достаточно полно освещается механизм положительной обратной связи между залоговым обеспечением, ценами на активы и кредитным бумом. По сути, смоделировано в точности то, что произошло в 2008 году. Однако, несмотря на известность в литературе и свою прогностическую силу, модель не получила широкого признания и применения в финансовом регулировании.

После начала кризиса 2008 года и лавины критики, обрушившейся на DSGE-модели центральных банков и правительств, вплоть до призывов полностью отказаться от моделирования вследствие принципиальной непрогнозируемости финансовых кризисов, начался новый виток активной эволюции в сфере DSGE-моделирования. Появилось множество моделей DSGE, в структуру которых в явном виде включены банковский сектор и кредитные процессы. К ним относятся, например, модели *Гертлера и Каради* (2010), *Гертлера и Кийотаки* (2010), *Герали, Нери, Сесса и Сигноретти* (2010), *Дибба* (2010). В этих моделях серьёзную роль в усилении экономических колебаний играют кредитные циклы, банковский капитал и завышенный левередж.

Похоже на то, что результатом сложной эволюции DSGE-моделирования станет открытие на новом уровне старых истин, содержащихся в гипотезе финансовой нестабильности Мински, теории долговой дефляции Фишера и теории банковских кризисов австрийской научной школы.

Развитие экономической науки удивительным образом подтверждает мысли Анри Пуанкаре: "Нет сомнения, что если бы наши методы исследования становились всё более и более проникающими, то мы открывали бы простое под сложным, потом сложное под простым, потом опять простое под сложным и так далее, причём невозможно было бы предвидеть, каково будет последнее звено"²². Экономическая наука подошла к пониманию простых истин, лежащих в основе финансовых кризисов. Однако за этой видимой простотой скрывается внутренняя сложность, препятствующая прогнозированию времени наступления кризисов и их заблаговременному предотвращению. Возможности понимания этой сложности наталкиваются на границы господствующего в экономике аналитического мышления, построенного на философии редукционизма, то есть вере в то, что детальное изучение частей может дать представление о функционировании целого. Изучение частей необходимо, однако этого не достаточно. В рамках такого мышления даже математически изоцированные инструменты уже не дают нового качества знаний, что наталкивает многих экономистов на предположение о принципиальной непрогнозируемости кризисов. Однако то, что находится за пределами познания сегодня, не обязательно останется таковым завтра.

²¹ Kiyotaki N., Moore J. Credit Cycles // Journal of Political Economy. – 1997. – Vol. 105. – No. 2. – P. 211–248.

²² Пуанкаре А. Наука и гипотеза // <http://vivovoco.rsl.ru/W/PAPERS/NATURE/POINT2.HTM>.

**Перспективы макроэкономического прогнозирования:
моделирование сложности, нелинейная динамика и сетевые структуры**

Математика – лишь очень малая и простая часть жизни. Если многие не верят в то, что математика проста, то это лишь потому, что они не осознают, насколько сложна жизнь.

Джон фон Нейман

В настоящее время достаточно быстро развивается новый подход к математическому моделированию экономики, который способен преодолеть узость аналитического способа мышления, ограниченного изучением целостности как суммы свойств её отдельных частей. В основу нового подхода легли несколько мощных концептуальных идей, в частности:

– **идеи, объединённые термином "методология сложности"** (methodology of complexity). Они основаны на рассмотрении сложных систем с большим числом взаимодействующих элементов как целостности, поведение которой определяется внутренними когерентными процессами, коллективными режимами и эмерджентными свойствами (то есть свойствами, не сводимыми к сумме свойств частей);

– **подходы теории нелинейной динамики и теории катастроф** в приложении к экономическим процессам;

– **идеи фрактальных форм и размерностей**, предложенные Б.Мандельбротом, в применении к исследованию случайных процессов в экономике;

– **теория лог-периодических степенных законов** (Log-Periodic Power Lows – LPPL) вероятностного распределения, основанная на математическом обобщении концепции фракталов сложной комплексной размерности, для прогнозирования финансовых кризисов;

– **идеи моделирования динамики сложных сетевых структур** в приложении к экономике.

Эти идеи были предложены и развивались учёными различных областей науки – математики, статистической физики и квантовой механики, антропологии, нейробиологии, молекулярной биологии, теории эволюции и происхождения жизни, геологии, климатических изменений, экономики, социологии, психологии и других. Однако их объединяет общий концептуальный взгляд на поведение сложных систем, который приобретает разную содержательную окраску в применении к системам различной природы. Это отнюдь не означает механического переноса понимания процессов из одной области науки в другую, скорее, говорит о новом уровне глубины понимания дихотомии "универсальность – специфичность". Понимание общих универсальных принципов не заменяет конкретного знания механизмов их воплощения в специфические сложные системы. Однако эти принципы помогают увидеть плодотворное направление исследований и стимулируют открытие новых свойств и глубоких неочевидных закономерностей в поведении конкретной системы.

Исследование сложных систем в последние годы развивается как некая фундаментальная методологическая структура мышления, охватывающая такие проблемы, которые кажутся непостижимыми с позиций традиционного аналитического подхода. В основе этой структуры лежат три фундаментальные концепции – *сложность* (complexity), *эмерджентность* (emergence) и *сетевые структуры* (networks).

В настоящее время существует обширная литература по сложным системам, в которой осуществляются попытки описания сущности концепции "сложность", однако её строгое определение пока отсутствует. Видимо, на этом этапе попытки дать строгое универсальное определение терпят неудачу, так как невольно отсекают какие-то достаточно ёмкие классы объектов, обедняя концепцию сложности. В этой связи нельзя не вспомнить мудрые слова основоположника нелинейной физики Л.Мандельштама, который сравнивал чрезмерно ограничительные определения на начальном этапе существования научной дисциплины с губительным пристрастием заворачивать ребёнка в колючую проволоку²³.

²³ См.: Данилов Ю.А. Лекции по нелинейной динамике. – М., 2006.

На самом поверхностном уровне понимания ясно, что концепция "сложность" имеет как минимум два аспекта:

– "сложный" – это состоящий из большого числа взаимодействующих и взаимосвязанных компонентов;

– "сложный" – это трудный для понимания, то есть требующий большого количества информации для своего описания.

Эти аспекты лежат в основе двух количественных подходов к оценке степени сложности системы – структурный (количество элементов сети и структура их взаимосвязей) и информационный (количество информации, необходимое для описания системы).

Одна из информационных метрик сложности выглядит следующим образом:

$$I = \log_2(\Omega),$$

где I – количество информации, необходимое для описания системы; Ω – количество возможных состояний системы.

Второй трудноопределимой концепцией теории сложности является "эмерджентность". Под эмерджентностью понимают качества системы, не сводимые к свойствам её частей, которые возникают вследствие когерентного поведения элементов системы, эндогенно порождающего неожиданные макроскопические эффекты. Различают *локальную* эмерджентность системы – когда когерентное поведение возникает в малой части системы, и *глобальную* – когда когерентное поведение элементов охватывает всю систему. Например, давление и температура – это проявление локальных эмерджентных свойств газа, изучаемых термодинамикой и статистической физикой; феномен сознания – удивительное и пока слабо исследованное свойство глобальной эмерджентности человеческого мозга. Классическим примером анализа глобальной эмерджентности в нейробиологии является исследование феномена ассоциативной памяти в моделях нейронных сетей, известное как модель Хопфилда (Hopfield model) или сетевой аттрактор.

В сложных экономических системах один из важнейших вопросов, являющийся ключом к проблеме прогнозирования кризисов, – вопрос о возможных способах взаимодействия локальной и глобальной эмерджентности, который на сегодня остаётся нерешённым. Исследование этого вопроса лежит в области *нелинейной динамики сложных систем*.

Яркое и простое описание водораздела между линейной и нелинейной динамикой дал известный учёный Ю.Данилов: "Мир нелинейных закономерностей, как и стоящий за ним мир нелинейных явлений, страшит, покоряет и неотразимо манит своим неисчерпаемым разнообразием. Здесь нет места чинному стандарту, здесь безраздельно господствует изменчивость и буйство форм. То, что точно схватывает и передаёт характерные особенности одного класса нелинейных функций, ничего не говорит даже о простейших особенностях нелинейных функций другого класса... На одинаковые приращения независимой переменной одна и та же нелинейная функция откликается по-разному в зависимости от того, какому значению независимой переменной придаётся приращение. Почти полным "безразличием" к изменению одних и повышенной чувствительностью к изменению других значений независимой переменной нелинейные функции контрастируют с линейными. Любая линейная функция откликается на приращение независимой переменной одним и тем же приращением своего значения для любого значения переменной. Именно здесь и проходит демаркационная линия между миром линейных и нелинейных явлений"²⁴.

Физики в прошлом считали, что именно линейная теория даёт главный член бесконечного ряда последовательных приближений к истине, а нелинейности отводилась скромная роль поправки, не меняющей существо выводов. Линейный математический аппарат был неотъемлемым элементом их математической культуры, "...вошёл в плоть и кровь, обрёл почти осязаемые формы в виде целой серии насыщенных яркими физическими идеями и об-

²⁴ Там же. – С. 37.

разами сущностей, позволяющими физику, минуя тяготы вычислений, интуитивно предугадывать ответ"²⁵. Тех, кто надеялся, что линейный математический аппарат удастся приспособить к решению новых нелинейных задач, ждало разочарование. По словам Л.Мандельштама, линейный математический аппарат отторгал чужеродную ткань нелинейных дополнений. Искусственная линеаризация оказывалась малоэффективной, большей частью ничему не учила, а иногда бывала чрезвычайно вредной. Как в своё время физика, экономическая наука сегодня достигла того уровня зрелости, который актуализирует необходимость перехода к нелинейному мышлению. Исследователи сложных экономических систем идут по пути решения нелинейных проблем "поштучно", используя их индивидуальные особенности. Это вполне нормальный старт для наработки опыта нелинейного моделирования, который прошли и другие науки, однако это не может оставаться в качестве широкой магистрали методологического развития. Нелинейная экономика должна обрести внутреннее единство. Как когда-то при становлении нелинейной физики²⁶, нужно создать нелинейную культуру мышления экономистов, включающую надёжный математический аппарат и экономические представления, адекватные новым задачам, выработать нелинейную интуицию, необходимую там, где оказывается непригодной интуиция, выработанная на линейных задачах. Возможно, что внутри этой культуры вопрос о принципиальной непрогнозируемости финансовых кризисов приобретёт другое звучание и продемонстрирует новый ракурс в постановке и решении задач. Ярким примером проблемы непрогнозируемости в науке является известная задача Лоренца о тепловой конвекции, связанная с вопросами прогнозирования погоды в средне- и долгосрочном периодах. Эта задача была сведена Лоренцем к решению системы трёх дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma x + \sigma y, \\ \frac{dy}{dt} &= rx - y - xz, \\ \frac{dz}{dt} &= -bz + xz.\end{aligned}$$

Оказалось, что решение этой системы ведёт себя совершенно необычным, неожиданным образом. Это был новый тип поведения траекторий, притягивающихся в фазовом пространстве к некоторому неизвестному до этого момента пространственному образованию, обладающему сложной (фрактальной) структурой, не имеющему аналогов на плоскости и получившему название "аттрактор Лоренца". О степени его изрезанности можно было судить по количественным мерам стохастичности фрактальной природы. Как пишут многие авторы, открытие Э.Лоренца произвело впечатление разорвавшейся бомбы: такого сложного поведения от простой системы из трёх обыкновенных дифференциальных уравнений с квадратичными нелинейностями не ожидал никто. Это ассоциировалось с принципиальной непрогнозируемостью. Более ясное понимание характера сложности аттрактора Лоренца возникло позже – после появления количественных мер сложности хаотических структур и режимов. Возможно, в дальнейшем, по мере углубления понимания сложных нелинейных систем и внутренней природы странных аттракторов, вопрос о непрогнозируемости траекторий будет снят.

Развитие математических моделей экономики может пойти по сходному пути. Уже сейчас появляются статьи в области прогнозирования финансовых кризисов, в которых развиваются нелинейные динамические модели с использованием категорий мультифрактальности. В частности, в работах Дидье Сорнетте предлагается новый взгляд на прогнозирование кризисов на

²⁵ Там же.

²⁶ См.: Бойко Е.С. Школа академика А.А.Андропова. – М., 1983.

основе **теории лог-периодических степенных законов** (Log-Periodic Power Lows – LPPL) распределения, основанной на математическом обобщении концепции фракталов сложной комплексной размерности²⁷.

Идея фрактальных форм и размерностей была предложена Бенуа Мандельбротом²⁸. Он первый указал на важный пробел в "Началах" Евклида (основы 2000-летнего развития геометрии, с помощью которых человечество постигало геометрию окружающего мира), состоящий в неявном предположении о гладкости геометрических объектов. "Бенуа Мандельброт предложил изумленному миру по существу новую неевклидову геометрию... Он создал неевклидову геометрию негладких, шероховатых, зазубренных, изъеденных ходами, порами, трещинами и отверстиями, извилистых и тому подобное объектов, своего рода математических парий, по молчаливому уговору ранее исключавшихся из рассмотрения в пользу более благообразных, усреднённых, сглаженных, отполированных, спрямлённых объектов. Между тем, именно такие неправильные объекты составляют подавляющее большинство объектов природы"²⁹. Мандельброт писал, что Евклидова геометрия не способна описать форму реальных объектов Природы, так как они очень нерегулярны и фрагментированы, и Природа обладает не просто большей сложностью, а сложностью совершенно иного уровня.

Мандельброт объясняет смысл введённого им понятия фрактала как некоего образования в пространственно-временном континууме, самоподобного или самоаффинного в том или ином смысле. Согласно Мандельброту, слово "фрактал" происходит от латинских слов "fractus" – дробный, и "frangere" – ломать, что принято понимать как "изломанное", нерегулярное множество, обладающее свойством самоподобия. Простейшие фракталы обладают регулярной, правильной структурой, каждый фрагмент которой в точности повторяет всю конструкцию в целом. К таким фракталам относятся известные математические структуры – канторовская пыль, ковёр Серпинского, снежинка Коха, дискретная последовательность Туэ-Морса, возникающая в самых разных динамических ситуациях (символическая динамика, числа Фибоначчи, треугольник Паскаля и т. д.). Более сложные фракталы могут быть не столь регулярными. Их самоподобие может проявляться различным образом, например, в сохранении нормальности случайного распределения в разных масштабах, возможно, с разными дисперсиями и средними значениями. Примерами случайных фракталов реального мира могут служить береговые линии, рельеф гор, синергетические структуры, траектории колебаний цен на финансовых рынках, Лоренцевы аттракторы и т. д. Существуют гипотезы, что динамические структуры живых организмов и даже Вселенной также имеют фрактальную природу.

Как оказалось, математические фрактальные структуры удивительно точно отражают свойства многих реальных нелинейных (то есть чувствительных к малым изменениям параметров) процессов различной природы в биологии, физике, экономике, социологии и других областях знаний. Возможно, наличие самоподобия является принципиальным моментом в развитии Природы и общества от простого к сложному, когда более мелкие структуры в бесконечно изменяющемся масштабе в каком-то смысле подобны более крупным. Это способ компактной схемы хранения информации и бесконечно-го развития на всё более сложном уровне.

Сложные сети и моделирование экономических процессов

Сложные сети являются структурным ядром сложных систем различной природы, в том числе экономических. Банковская система, финансовая система, экономика в целом на национальном и международном уровнях – всё это сложные сети, обладающие специфической структурой. Их динамические

²⁷ Sornette D., Woodard R. Financial Bubbles, Real Estate bubbles, Derivative Bubbles, and the Financial and Economic Crises; Filimonov V., Sornette D. Self – Exited Multifractal Dynamics // <http://arxiv.org/abs/1008.1430>.

²⁸ Мандельброт Б. Фрактальные объекты: форма, случай и размерность. – М., 1975; Мандельброт Б. Фрактальная форма, случай и размерность. – М., 1977; Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М., 1977 и др.

²⁹ Данилов Ю. Лекции по нелинейной динамике. – С. 54.

свойства имеют ярко выраженный нелинейный характер, который, как показал глобальный финансово-экономический кризис, слабо поддаются прогнозированию. В течение последних лет происходит бурное развитие теории сложных сетей как новой междисциплинарной области, выросшей из методологии сложных систем, нелинейной динамики, теории графов и ряда других математических дисциплин. По сути, моделирование сложных сетей является сегодня передним краем развития, или "точкой роста" математических методов прогнозирования в экономике. Именно здесь может произойти качественный прорыв в понимании глубинных механизмов формирования кризисов и разработке методов прогнозирования нового типа.

Реальные экономические сети демонстрируют довольно сложную стохастическую динамику. Как под влиянием внутренней логики их развития, так и в результате случайных внешних воздействий количество узлов сети может расти и сокращаться, связи между ними могут возникать и исчезать. Для изучения динамических процессов возникновения, жизни и смерти сетевых структур ещё в 60-е годы прошлого века венгерскими математиками Полом Эрдешем и Альбертом Реньи была создана *теория случайных графов*³⁰. Она дала понимание того, что тип сети и её структурные характеристики являются важной информацией для прогнозирования динамики и устойчивости сети к возможным шокам. При произвольном удалении узлов из случайного графа Эрдеша-Реньи существует определённое критическое значение отношения числа удалённых узлов к общему количеству узлов сети, в случае превышения которого сеть распадается на отдельные кластеры, то есть теряет свою целостность. Главными открытиями в понимании сетей Эрдеша-Реньи являются следующие.

1. Вероятностное распределение степеней узлов таких сетей описывается законом Пуассона:

$$P(k_i = k) = C_{N-1}^k \cdot p^k \cdot (1-p)^{N-1-k}.$$

2. При значении вероятности возникновения связей больше, чем определённое критическое значение:

$$p > p^* = n^{-1} = \frac{1}{n},$$

где n – количество узлов,

неожиданно и достаточно быстро возникает гигантский связанный кластер, размер которого является функцией $f = f(n^{2/3})$; если эта вероятность меньше или равна критическому значению:

$$0 < p \leq p^* = n^{-1} = \frac{1}{n},$$

то случайная сеть представляет собой дерево размера $f(\log n)$.

В чём *ограничения* модели Эрдеша-Реньи?

Простота модели случайного графа Эрдеша-Реньи позволяет получать некоторые структурные оценки сетей, однако эта модель не воспроизводит многие качества реальных сложных сетей и не отражает их поведения в реальном мире. Это обусловлено следующими ограничениями.

1. В случайных сетях Эрдеша-Реньи количество узлов считается фиксированным.

В реальном мире сложные сети – это эволюционирующие, развивающиеся системы, а не статические объекты. Они постоянно расширяются или сжимаются, в них появляются новые узлы или исчезают уже существующие вместе со своими связями. То есть модель Эрдеша-Реньи не учитывает возможности *роста сети* (networks' growth).

³⁰ Erdos P., Renyi A. On random graphs I // Publ.Math.Debrecen. – 1959. – Vol. 6. – P. 290–297; Erdos P., Renyi A. On the evolution of random graphs // Publ.Math.Inst.Hungar Acad.Sci. – 1960. – Vol. 5. – P. 17–61; Erdos P., Renyi A. On the evolution of random graphs // Bull.Inst.Int.Statist. Tokyo. – 1961. – Vol. 38. – P. 343–347.

2. В случайных сетях Эрдеша-Реньи предполагается одинаковая вероятность возникновения связей между любыми двумя узлами.

В реальности во многих сложных сетях различной природы формирование связей у новых узлов протекает по закону *предпочтительного присоединения* (preferential attachment). Этот закон состоит в том, что новые узлы предпочитают формировать связи с узлами, у которых уже существует наибольшее количество связей. В этом случае вероятностные распределения степеней узлов не подчиняются закону Пуассона, а описываются степенными законами с параметрами, соответствующими специфической природе той или иной сети. Такие сети были открыты Ласло Барабаши и Рекой Альберт и получили название *безмасштабных*, или *масштабно-инвариантных сетей* (Scale-Free Networks). Оказалось, что в этих сетях вероятностное распределение степеней узлов подчиняется не биномиальному, а степенному закону:

$$P(k) \approx k^{-\gamma},$$

$$P(k_i) = \frac{k_i}{\sum_j k_j}.$$

То есть вероятность того, что новый узел соединится с узлом, имеющим k связей, пропорциональна значению k . Проявлялся известный феномен *"богатый становится богаче"* (Rich get richer). Такое распределение степеней обуславливает уникальные особенности структуры сети – малое число узлов содержит очень большое число связей, то есть эти узлы становятся *хабами* (hub), а всё остальное огромное число узлов содержит малое количество связей. Финансовая система является сложной сетью подобного типа, в которой большие системные банки (*"финансовые хабы"*) обладают особым влиянием на динамику глобальной сети и при неправильном регулировании становятся источниками системных рисков. В отличие от случайных сетей Эрдеша-Реньи, безмасштабные сети характеризуются высокой устойчивостью к случайным повреждениям и отсутствием критического числа узлов, разрушение которых ведёт к распаду всей сети. Однако безмасштабные сети чрезвычайно уязвимы перед целенаправленными атаками на хабы или их случайными повреждениями. Достаточно вывести из строя малое количество узлов, выполняющих функции хабов, и сеть прекращает своё существование как целостная структура. Похожие процессы произошли в глобальной банковской системе в течение последнего кризиса – вывод из строя нескольких крупных банков привёл к дисфункциональности всей банковской системы. Это наталкивает на мысль о необходимости введения регулирования размера банков, количества и качества их сетевых связей с целью изменения архитектуры банковской сети и снижения её уязвимости.

Недавно группой исследователей во главе с Д.Чалво³¹ получены свидетельства того, что функциональные связи в мозгу человека также образуют безмасштабные сети, в которых постоянно происходят процессы самоорганизации и распада функциональных нейронно-сетевых структур. Каждая такая сеть, объединяющая нейронные ансамбли из разных отделов мозга, создаётся для реализации определённой функции мозга – поведенческой, когнитивной и т. д. Таким образом, не только сети, созданные человеком, в частности, экономические и социальные, но и многие сети, созданные Природой в процессе эволюции, имеют структуру безмасштабных.

Одним из широко распространённых классов сетей, которые также относятся к безмасштабным сложным, являются *сети тесного мира* (Small World Networks). В 1967 году социолог из Гарвардского университета Стэнли Милграм провёл исследование, направленное на выяснение минимального количества шагов, которое могло бы связать любые узлы в сети³². Суть экс-

³¹ Chialvo D. Emergent complexity: what uphill analysis or downhill invention cannot do; New Ideas in Psychology (2007), doi:10.1016/j.newideapsych. 2007.07.013.

³² Milgram S. The small world problem // Psychology Today. – 1967. – № 2. – P. 60–67.

перимента состояла в рассылке писем случайно выбранным людям с просьбой найти возможность передать письмо указанному человеку, совершенно не знакомому респонденту. Результаты были поразительными и получили широкую известность как "шесть степеней разделения" (Six degrees of separation). В своём большинстве письма достигали целевого адресата, пройдя в среднем шесть промежуточных пересылок. Этот удивительный результат состоял в следующем утверждении: каждого человека на земном шаре можно связать с любым другим человеком цепочкой из шести знакомых. Этот эксперимент считается эмпирическим доказательством "явления тесного мира". Он был ещё неоднократно проведён более совершенным образом и подтвердился. В середине 1990 годов Стивен Строгатц и Дункан Воттс осуществили углублённые исследования сетей, обладающих свойством "тесного мира". Компьютерное моделирование различных типов сетей показало, что этим свойством обладают сети с высокой степенью кластеризации и малым значением средней длины пути между узлами³³.

Важным феноменом, возникающим в сложных сетях, является феномен синхронизации колебательной динамики элементов сети. Его моделирование позволило бы в какой-то степени пролить свет на механизмы формирования особых условий, которые приводят к спонтанному возникновению коллективного поведения агентов сети и когерентным эффектам, разрушающим сеть как целостный организм. В применении к сложным экономическим сетям эти подходы открывают новые перспективы в моделировании системных рисков и прогнозировании финансово-экономических кризисов.

MACROECONOMIC MODELING: MODERN CHALLENGES AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Tetiana Unkovska

Author affiliation: Doctor of Sciences (Economics), Leading Research Fellow, Department of Economic Theory, State Institution "Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine"

The global financial crisis with dramatic abruptness and unprecedented costs destroyed the illusive growth based on credit pyramids. As history suggests, the global risk of such abrupt declines consists in the probability of triggering a chain reaction of consequences, which eventually may lead to dangerous geopolitical changes. One of the candidates for the role of the culpable for the loss of control over the economic processes is often identified as the imperfect character of the methodology of macroeconomic modeling and forecasting. The article's aim is to define the essence of that issue, to comprehend the most acute problems in that area and to outline possible guidelines for their solution.

Keywords: financial crisis, global risks, forecasting, controlability of economic processes, macroeconomic modeling.

JEL: E6, E37, E47, F37, F47.

³³ *Watts D.* Six degrees. W. W. Norton & Company, New York, 1995, 2004.