



О МОДЕЛИРОВАНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОКРУЖЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОСЛЕДСТВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭПИДЕМИИ

Ю. Г. Рыков

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

**XVI международная конференция «Забабахинские научные чтения»,
29 мая–02 июня 2023 г., Снежинск**

ОСНОВНЫЕ ТРУДНОСТИ ОЦЕНКИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ЭПИДЕМИЙ

При возникновении вирусных инфекций, особенно в условиях перерастания в эпидемию, адекватное средне- и долгосрочное описание их распространения и последствий в масштабе субъектов федерации и государства в целом, которое учитывает такие разнородные факторы, как, например, наложение и снятие карантинных ограничений, психологические характеристики групп населения, воздействие на структуру трудовых ресурсов и производственный процесс и т.п., требует присутствия в той или иной форме экономического моделирования. То есть предсказательная математическая модель процесса распространения вирусных инфекций должна опираться на модель экономической и социальной среды, где такая инфекция распространяется. Это же сочетание позволит оценить степень экономической и социальной деформации, возникающей вследствие воздействия вирусной инфекции/эпидемии.

Однако при такой точке зрения результирующая модель может оказаться слишком сложной и требующей значительный объем достоверных данных из различных областей знания. В данной ситуации наличия очень сложных систем и недостатка информации для описания экономического окружения, сопровождающего процесс распространения вирусной инфекции/эпидемии, можно предложить метод, связанный с подходом когнитивного моделирования, в частности, с понятием «когнитивных карт».

О КОГНИТИВНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

- **В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РФ ТРЕБУЕТ НЕ ТРАДИЦИОННЫХ ПОДХОДОВ**
 - Высокий уровень неопределенности, постоянные изменения структурных связей
 - Высокий уровень влияния субъективных причин, которые трудно аккуратно формализовать
 - Недостаток данных и их достоверности
- **ТЕХНОЛОГИЯ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЗВОЛЯЕТ ДАТЬ ЭКСПРЕСС АНАЛИЗ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ МАЛОМ ОБЪЕМЕ ДАННЫХ**
 - Комбинирование разнородных факторов
 - Возможно введение абстрактных «параметров порядка», например, силы проявления фактора
 - Однако, для калибровки моделей требуется значительный объем практического экспериментирования

ЧТО ИЗ СЕБЯ ПРЕДСТАВЛЯЕТ КОГНИТИВНАЯ МОДЕЛЬ В ФОРМЕ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ?

Суть когнитивной карты состоит в том, что сложная система представляется в виде ориентированного графа, который связывает вершины – элементы системы – посредством ребер – отношений элементов. При этом и вершинам, и ребрам могут быть приспаны характеристики числового или функционального характера, совокупность которых отражает состояние системы. Поясним кратко связь изложенной конструкции с некоторыми традиционными средствами экономического моделирования. Если рассмотреть всего два связанных элемента и характеризовать вершины векторами наблюдаемых значений, а ребро вероятностным распределением для соотношения величин, то такой граф будет представлять простую регрессию каких-либо, например, экономических, переменных. состоит в том, что сложная. Если граф будет состоять из набора элементов, связанных только с одним, выходным, элементом, то это будет множественная регрессия. Графы в виде направленного дерева представляют собой нейросети, а граф общего вида отражает более сложные зависимости, связанные со структурой системы, выраженной, например, через наличие циклов разной длины. Можно ввести числовые характеристики такой структуры, также возможны подходы, позволяющие искать оптимальное в некотором смысле состояние системы, например, при воздействии вирусной инфекции/пандемии. При этом когнитивное моделирование предполагает достаточно быструю процедуру перестроения модели и возможность проигрывать большое число вариантов при существенном недостатке информации.

ОБЩИЙ АБРИС МОДЕЛЕЙ КОГНИТИВНЫХ КАРТ

Входной фактор А

Входной фактор В

Вес ребер определяется при помощи экспертных оценок или исторических данных

Возможно ввести понятие влияния входных факторов на другие факторы. При интуитивном подходе – сумма весов путей между факторами; при строгом подходе учитывается циклическая структура

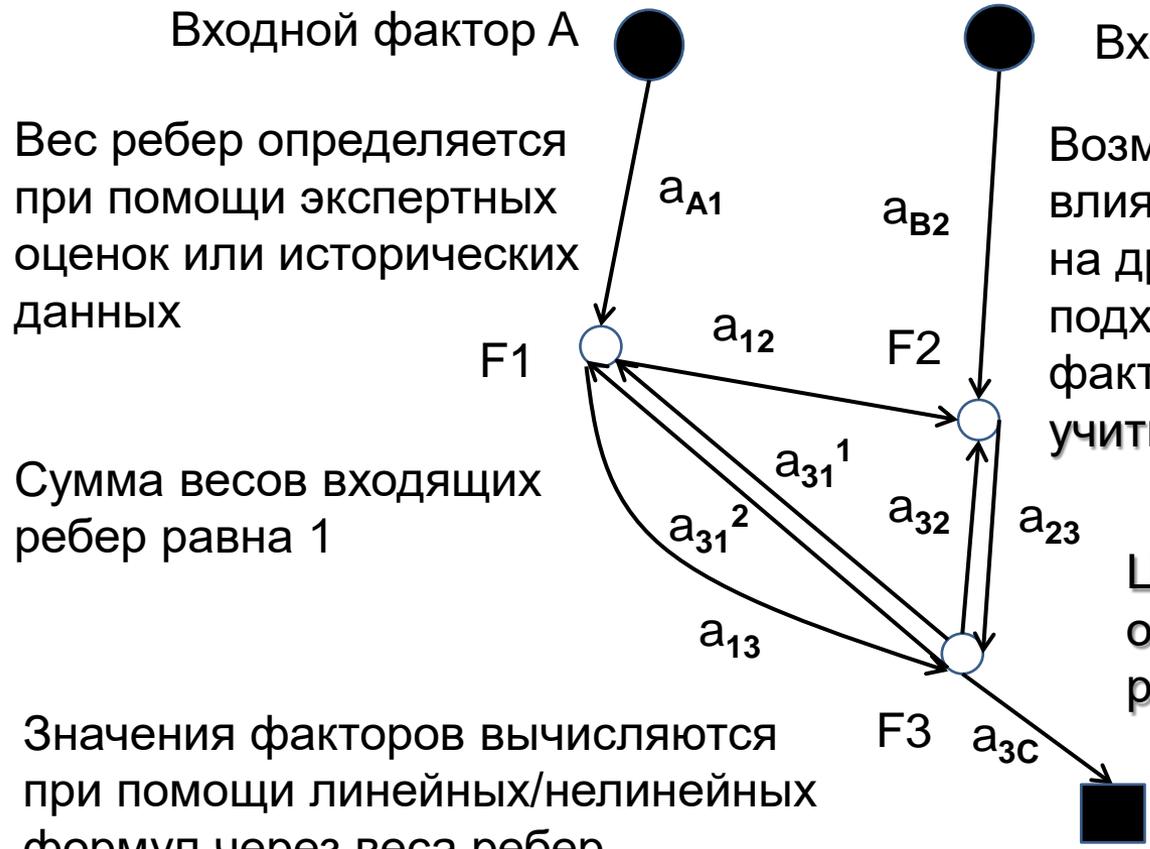
Сумма весов входящих ребер равна 1

Циклическая структура также определяет совместимость рассматриваемой системы

Значения факторов вычисляются при помощи линейных/нелинейных формул через веса ребер

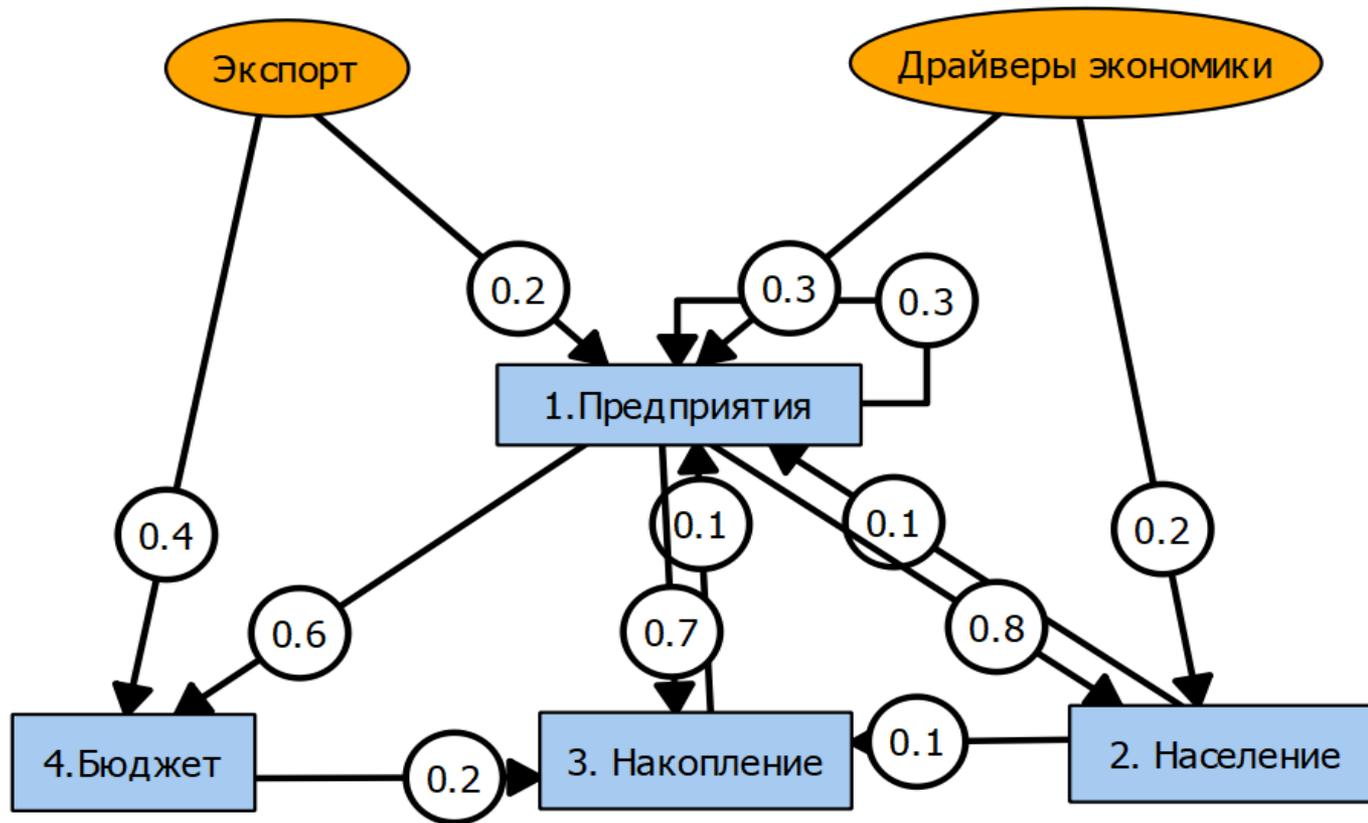
Целевой фактор С

Основная цель построения и анализа модели: определить, какие входные факторы и в какой степени влияют на нужные целевые факторы



**НА СЛЕДУЮЩИХ СЛАЙДАХ ПРИВЕДЕМ
РЯД ПРОСТЫХ (ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ)
МОДЕЛЕЙ В ОТНОШЕНИИ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ, А ТАКЖЕ В
ОТНОШЕНИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭПИДЕМИИ
НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС**

КРУПНОМАСШТАБНАЯ МОДЕЛЬ ЭКОНОМИКИ РФ (совместно с О.И. Дранко и А.А. Карандеевым)



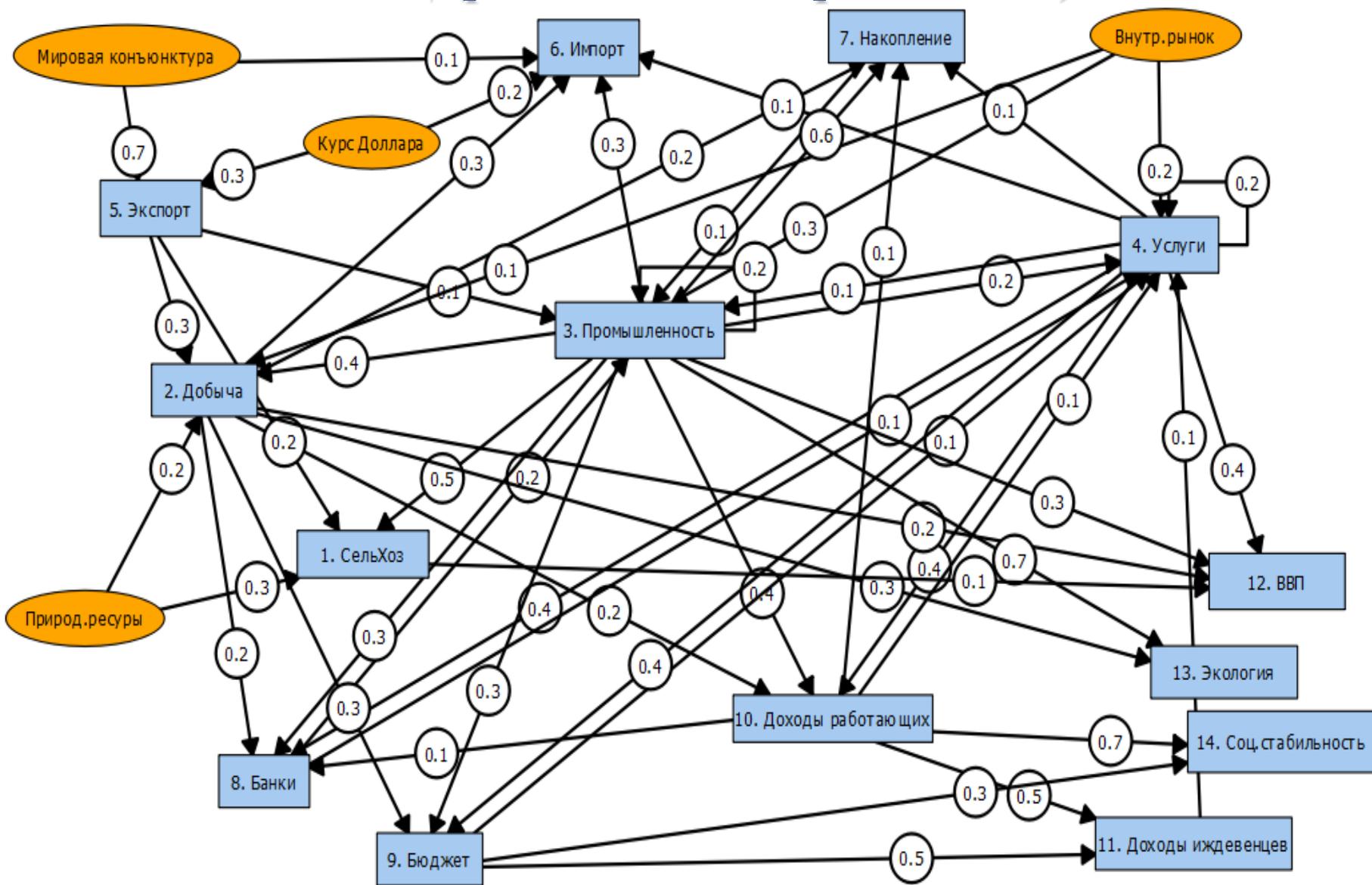
01 Предприятия – отрасли промышленности и сельского хозяйства; 02 Население – работающие и не работающие граждане РФ; 03 Накопление – прирост основного и оборотного капитала; 04 Бюджет – бюджетные поступления; Экспорт – фактор доходов от экспортной деятельности; Драйверы экономики – фактор стимулов для внутреннего развития экономики. Веса связей определены экспертным образом на основе данных по притокам финансовых средств.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НОРМИРОВАННОГО ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ В КРУПНОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ

	01 Предприятия	02 Население	03 Накопление	04 Бюджет
Экспорт	0.572	0.458	0.631	0.926
Драйверы экономики	0.886	1.000	0.826	0.531

Фактор «Драйверы экономики» оказывает основное влияние на тройку Предприятия-Население-Накопление, т.е. на производственный процесс, а фактор «Экспорт» оказывает основное влияние только на бюджетные поступления. То есть, экономика (в данной модели) распадается на два в некотором смысле независимых агрегата и колебание любого из входных факторов приводит к стагнации того или другого агрегата. Другими словами представленная система является нестабильной.

РАСШИРЕННАЯ МОДЕЛЬ ЭКОНОМИКИ РФ (совместно с О.И. Дранко и А.А. Карандеевым)



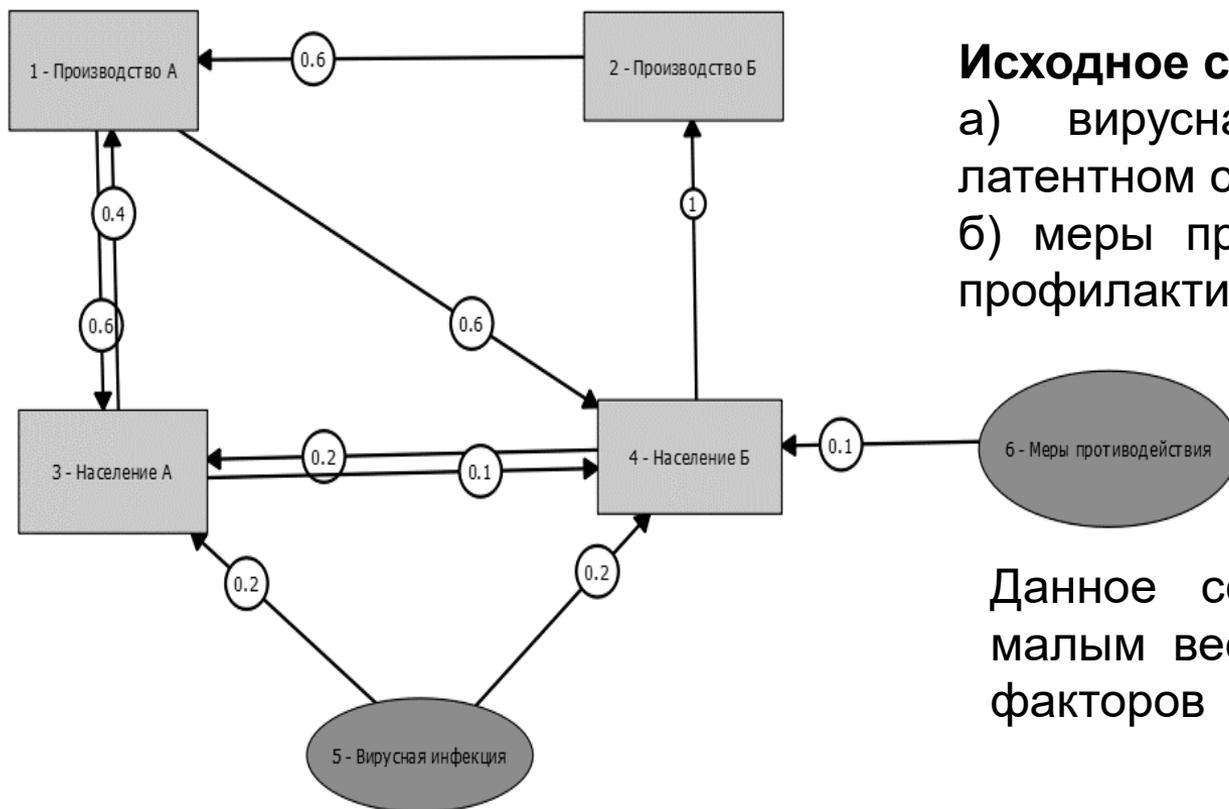
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НОРМИРОВАННОГО ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ В РАСШИРЕННОЙ МОДЕЛИ

	02 Добыча	03 Промышл.	05 Экспорт	07 Накопление	09 Бюджет	10 Доходы работающих
Внутр. рынок	0.512	0.948	0	0.859	0.838	0.882
Курс доллара	0.159	0.098	0.397	0.109	0.108	0.102
Мировая конъюнктура	0.37	0.229	0.927	0.253	0.251	0.237
Природные ресурсы	0.285	0.049	0	0.104	0.128	0.104

На большинство факторов данного среза основное влияние оказывает фактор «Внутренний рынок» (даже влияние на фактор «Добыча», хотя и меньше влияния на другие не входные факторы, но наивысшее из влияний других входных факторов на «Добычу»), его сбой приведет к развалу системы. В этом отношении система не устойчива. С другой стороны, если фактор «Внутренний рынок» имеет сильную значимость, то система приобретает свойство устойчивости, поскольку, комбинируя остальные три фактора, можно обеспечить необходимый уровень значимости для оставшихся факторов «Добыча» и «Экспорт».

Возможно, что именно устойчивость внутреннего рынка, хотя, вероятно, и на более низком технологическом уровне, обусловила устойчивость экономики РФ к санкциям.

МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС (совместно с Б.Н. Четверушкиным и В.П. Осиповым)



Исходное состояние системы:

а) вирусная инфекция – в латентном состоянии

б) меры противодействия имеют профилактический характер

Данное состояние «кодируется» малым весом стрелок у входных факторов

01 Производство А – направлено на товары народного потребления; 02 Производство Б – направлено на выпуск машин и оборудования; 03 Население А и 04 Население Б – представляют собой источники рабочей силы для производств; 05 Вирусная инфекция – всегда присутствует в социоэкономических системах, в начале проявляется слабо; 06 Меры противодействия – собирательное название для карантинных мер и т.п., вначале практически не задействованы.

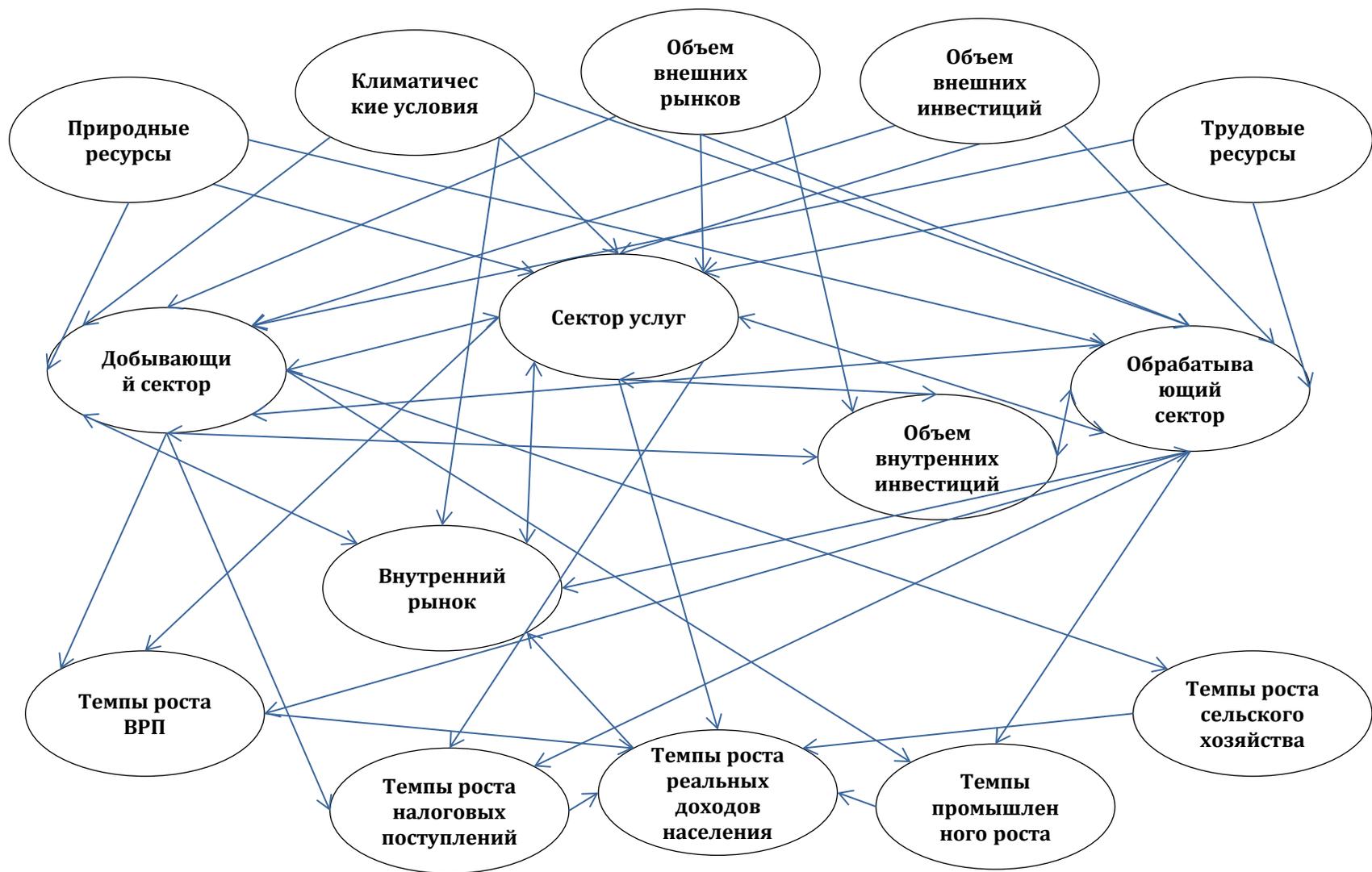
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НОРМИРОВАННОГО ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЕВ

	01 Производство А	02 Производство Б	03 Население А	04 Население Б
	Базовый сценарий (латентное состояние): представлен на предыдущем слайде			
05 Вирусы	0.950	0.917	1.000	0.917
06 Карантин	0.283	0.317	0.233	0.317
	Сценарий распространения вируса: одновременное усиление воздействия факторов «Вирусная инфекция» и «Меры противодействия»			
05 Вирусы	0.782	0.636	1.000	0.636
06 Карантин	0.364	0.509	0.145	0.509

В базовом сценарии фактор 05 влияет примерно одинаково на все элементы системы и гораздо сильнее, чем фактор 06. Это не удивительно, т.к. предполагается, что инфицирование – на уровне фона, а меры противодействия – профилактические. В сценарии распространения вируса резко растет влияние и фактора 05, и фактора 06. Но в данном случае видно, что хотя защищенность фактора 04 (Население Б) выросла по сравнению с базовым случаем, но защищенность фактора 03 (Население А) даже упала, т.е. данный сценарий реализации мер противодействия не годится для защиты населения.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ О РАЗВИТИИ РЕГИОНА

СХЕМА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ В РЕГИОНЕ



ЭКСПЕРТНОЕ ПОСТРОЕНИЕ МАТРИЦЫ ВЕСОВ РЕБЕР

Value		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1. Природные ресурсы	0					0,179	0,18	0,13							
0,2	2. Климатические условия		0				0,1	0,05	0,03	0,1						
1	3. Объем внешнего рынка			0			0,175	0,1	0,18		0,4					
0,8	4. Объем внешних инвестиций				0		0,175	0,18	0,16							
0,4	5. Трудовые ресурсы					0	0,1	0,18	0,15							
	6. Добывающий сектор						0	0,01	0,03	0,15	0,01	0,1	0,1		0,2	1
	7. Сектор услуг						0,03	0	0,13	0,15	0,4	0,6	0,6			
	8. Обрабатывающий сектор						0,033	0,05	0	0,15	0,19	0,3	0,3		0,8	
	9. Внутренний рынок						0,033	0,18	0,03	0						
	10. Объем внутренних инвестиций						0,175	0,07	0,16		0					
	11. Темпы роста ВРП											0		0,6		
	12. Темпы роста налоговых поступлений												0	0,4		
	13. Темпы роста реальных доходов населения									0,45				0		
	14. Темпы промышленного роста														0	
	15. Темпы роста сельского хозяйства															0

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НОРМИРОВАННОГО ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ

	Темпы роста ВРП	Темпы роста налоговых поступлений	Темпы роста реальных доходов населения
Природные ресурсы	0.819	0.639	0.486
Климатические условия	0.333	0.333	0.194
Объем внешнего рынка	1.000	0.917	0.542
Объем внешних инвестиций	0.861	0.639	0.500
Трудовые ресурсы	0.722	0.528	0.458

Нормированная сила влияния показывает, какие входные факторы в рассматриваемой системе следует учитывать в первую очередь, чтобы повлиять на целевые факторы. Например, для обеспечения хороших показателей развития региона и наполнения бюджета достаточно «улучшение внешних условий». А для подъема уровня жизни населения необходим комплексный учет широкого спектра факторов.

НЕКОТОРЫЕ ВЫВОДЫ

Продемонстрированная технология моделирования показывает, что, несмотря на простоту, она может на качественном уровне правильно отражать общие тенденции развития систем. Реальные модели, как правило, содержат сотни факторов и строятся различными группами экспертов. Для их изучения необходимо специальное ПО, а для процессов калибровки – использование методов искусственного интеллекта (например, согласование экспертных мнений, поиск данных в Интернете, анализ текстов и т.п.) и суперкомпьютинга.

Данный подход можно также рассматривать как один из примеров реализации концепции «гибридного интеллекта», рассматриваемого как способ сочетания методов сбора и обработки данных и опыта эксперта при выделении основных факторов ситуации и их связей, а также сочетания, например, технологий «когнитивных карт» и «нечеткой математики».

Кроме того, с точки зрения использования математических методов экономики, описанный подход (по различным формам которого имеется достаточно обширная литература) содержит обобщение такого известного инструмента как регрессионный анализ при придании связям в графе вероятностных характеристик.