
http://ccsi.columbia.edu/files/2014/01/EMGP_-_eBook_PDF_2_11.pdf.

Srivastava S. (2003). What is the true level of FDI flows to India? *Economic and Political Weekly*, vol. 38, no. 7, pp. 608–610.

UNCTAD (2009). Training Manual on Statistics for FDI and the Operations of TNCs. Volume II: Statistics on the Operations of Transnational Corporations. NY & Geneva: UN. URL: http://unctad.org/en/Docs/diaeia20092_en.pdf.

World Investment Report (2006). FDI from Developing and Transition Economies Implications for Development. NY & Geneva: UN. URL: http://unctad.org/en/Docs/wir2006_en.pdf.

World Investment Report (2017). Methodological Note. NY & Geneva: UN. URL: http://unctad.org/en/PublicationChapters/wir2017chMethodNote_en.pdf.

World Investment Report (2018). Investment and New Industrial Policies. NY & Geneva: UN. URL: http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/wir2018_en.pdf.

Manuscript received 28.08.2018

УКРУПНЕННАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РФ¹

Г.Л. Бекларян

В данной статье представлена разработанная укрупненная имитационная модель внешнеэкономического взаимодействия РФ со странами-партнерами. Сформулирована и решена бикритериальная оптимизационная задача рационального управления внешнеэкономической деятельностью с учетом разнонаправленных интересов РФ и стран-партнеров. Изучаются возможности сбалансировать подобные связи в зависимости от различных сценариев, отражающих внешнеторговую стратегию, характерную для соответствующих групп стран (ЕС, АТЭС, ЕАЭС и др.). Предложенная имитационная модель, реализованная в AnyLogic, позволила исследовать влияние ключевых управляющих параметров ВЭД на характеристики взаимосвязей РФ с другими странами. Вычислены субоптимальные (сценарные) значения импортных пошлин и квот, обеспечивающих наилучшее влияние на прогнозную динамику внешнеторгового оборота РФ.

Ключевые слова: агентное моделирование внешнеэкономической деятельности (agent-based modeling), ВЭД, AnyLogic, импортные пошлины, квоты на импорт, экспортная экономика, внешнеэкономическая деятельность. *JEL:* C02, C63.

© Бекларян Г.Л., 2018 г.

Бекларян Гаянэ Левоновна, к.э.н., старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Центральный экономико-математический институт РАН» (ЦЭМИ РАН), Москва, Россия, glbeklaryan@gmail.com

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-51-45001).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема выстраивания устойчивых внешнеэкономических связей весьма актуальна для национальной экономики. Основными внешнеэкономическими партнерами РФ являются страны Европейского союза (ЕС) и Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества (АТЭС). Так, согласно статистическим данным Федеральной таможенной службы (ФТС)² доля в торговом обороте РФ со странами ЕС в январе–мае 2018 г. в общем объеме составила 44,1 и 29,5% – со странами АТЭС соответственно. При этом доля стран Евразийского экономического союза (ЕАЭС), в который также входит большинство стран Содружества Независимых Государств (СНГ), составляет всего 8,4%. Таким образом, имеются существенные диспропорции в торговле в пользу стран дальнего зарубежья, зачастую имеющих отличные от РФ геополитические интересы.

Отметим, что внутри как ЕС, так и АТЭС структура внешнеэкономической деятельности (ВЭД) также является неоднородной. На три (из 28) европейские страны (Германия, Нидерланды и Италия) приходится примерно половина всего внешнеторгового оборота с ЕС, и только на один Китай приходится половина торгового оборота с АТЭС.

Такая структура внешнеэкономических связей делает российскую экономику крайне зависимой от текущей экономической и политической конъюнктуры. Санкционная политика США и ЕС ведет к росту рисков во внешнеэкономической деятельности РФ и для национальной экономики, особенно с учетом слабой диверсификации товарной структуры российского экспорта (57% экспорта составляют нефть, нефтепродукты и газ по данным ФТС³). Таким образом, введение даже частич-

ных ограничений импорта соответствующих товарных категорий может нанести существенный ущерб российской экономике. Аналогичные проблемы могут возникнуть и в условиях потенциального ухудшения состояния экономики Китая, вызванного, например, торговыми войнами с США.

В связи с этим важно оценить возможности перехода к более устойчивой конфигурации внешнеэкономических связей между РФ и другими странами с учетом возможностей диверсификации национальной экономики и структуры экспорта. Для этого предлагается использовать методы имитационного моделирования, в частности *системной динамики* (Forrester, 1961; Акопов, 2014), позволяющие учитывать сложные взаимосвязи между агентами глобальной экономической системы с учетом внутренней экономической динамики соответствующих стран.

Наиболее известными работами по применению методов имитационного моделирования в экономических исследованиях являются следующие работы (Макаров, 1999; Бахтизин, 2008; Акопов, Бекларян, 2015; Акопов, Хачатрян, 2016).

Следует выделить имитационную модель RUSEC (RUSSian EConomy) (Макаров, 1999), в которой имеется 12 агентов: 4 агрегированных производителя, агрегированное домашнее хозяйство, 3 типа правительств, банковская система и остальной мир. Подобная модель и ее модификации позволяют, в частности, моделировать влияние изменения тарифов на электроэнергию, газ и др. на различные макроэкономические показатели (темпы роста ВВП, динамику инвестиций, доходов и др.). Модели типа RUSEC относятся к более широкому классу CGE-моделей (Computable General Equilibrium Model – вычислимых моделей общего экономического равновесия), основанных на вычислении общего экономического равновесия на различных рынках (например, на рынке конечного и промежуточного продуктов, на рынке рабочей силы, на рынке кредитов ЦБ и др.). Наиболее известные результаты по CGE-моделям для россий-

² http://www.customs.ru/index2.php?option=com_content&view=article&id=25865&Itemid=1977

³ http://www.customs.ru/index2.php?option=com_content&view=article&id=24923&Itemid=1978

ской экономики опубликованы в следующих работах (Макаров и др., 2007, 2009; Акопов, Бекларян, 2005).

В отличие от региональных экономик, описываемых с помощью CGE-моделей и их различных модификаций, глобальная экономическая система, состоящая из стран-агентов, как правило, не находится и не стремится к равновесному состоянию.

Основными причинами отсутствия устойчивого равновесия на глобальных рынках являются наличие существенных различий в экономических и геополитических интересах стран, различная структура национальных экономик и множественные естественные и искусственные барьеры. Так, например, языковой и визовый барьеры препятствуют свободному движению трудовых ресурсов, санкционная политика ограничивает движение инвестиционного капитала и др. В подобных моделях возможно лишь достижение некоторого квазиравновесия между ограниченным числом стран-партнеров, имеющих общие экономические и политические интересы. Поэтому требуется разработка моделей нового типа, в которых основное внимание уделяется развитию внешнеэкономических связей между странами, вопросам устойчивости данных связей, а также их взаимному влиянию на характеристики национальной экономики.

Актуальность данной проблематики в особенности обусловлена развитием торговых войн и связанных с ними процессов, применением санкций со стороны США и ЕС, турбулентностью в мировой торговле, наблюдаемой в настоящее время, которая обуславливает разрушение ранее устойчивых внешнеэкономических связей (например, «брекзит»), деградацию всемирной торговой организации (ВТО) и т.д.

Таким образом, в данной работе объектом исследования является внешнеэкономическое взаимодействие РФ с другими странами с целью изучения возможностей перехода к наиболее перспективной конфигурации, обеспечивающей положительное влияние на про-

гнозную динамику внешнеторгового оборота и национальную экономику в целом.

КОНЦЕПЦИЯ МОДЕЛИ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Концепция предлагаемой системы основана на имитационном моделировании экономического взаимодействия агентов-стран и РФ, результатом которого выступает прогнозная динамика внешнеторгового оборота, являющегося важнейшей характеристикой национальной экономики.

В предлагаемой модели выделено 73 агента, первым из которых является РФ, а остальные – страны, являющиеся торговыми партнерами РФ. При этом рассматриваются следующие группы стран:

- ЕС: Австрия, Бельгия, Болгария, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Ирландия, Испания, Италия, Кипр, Латвия, Литва, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Польша, Португалия, Румыния, Словакия, Словения, Великобритания, Финляндия, Франция, Хорватия, Чехия, Швеция, Эстония;
- АТЭС: Австралия, Бруней-Даруссалам, Вьетнам, Гонконг, Индонезия, Канада, Китай, Тайвань (Китай), Республика Корея, Малайзия, Мексика, Новая Зеландия, Папуа–Новая Гвинея, Перу, Сингапур, США, Таиланд, Филиппины, Чили, Япония;
- ЕАЭС: Армения, Беларусь, Казахстан, Киргизия;
- СНГ, кроме входящих в ЕАЭС: Азербайджан, Молдова, Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан;
- прочие страны: Украина, Аргентина, Бразилия, Виргинские (Британские) острова, Египет, Израиль, Индия, Иран, Куба, Монголия, Норвегия, Турция, Швейцария, ЮАР, Грузия.

Отметим, что данные страны и их соответствующая группировка выбраны согласно с данным ФТС России. В модели предпола-

гается, что данные группы стран имеют единую таможенную и экономическую политику в отношении РФ. При этом для стран ЕАЭС и СНГ подобная политика определяется при непосредственном участии РФ, а страны из остальных групп самостоятельно формируют правила внешней торговли по отношению к РФ (например, экспортные пошлины, квоты и т.д.).

Основными управляющими параметрами модели являются:

- средневзвешенные ставки ввозных пошлин на товары, ввозимые из РФ (импортные пошлины) и дифференцируемые по группам стран ЕС, АТЭС, ЕАЭС и т.д.;
- квоты на импорт совокупности всех товаров (в стоимостном выражении), ввозимых из РФ, дифференцируемые по группам стран ЕС, АТЭС, ЕАЭС и т.д.

Так как разработанная имитационная модель является долгосрочной (горизонт планирования – 10 лет и более), то значения данных управляющих параметров могут пересматриваться (например, ежегодно).

В рамках описываемой укрупненной модели значения параметров фиксированы и представлены в табл. 1.

В целях упрощения задачи предположим, что доля экспорта во внешнеторговом обороте является фиксированной. В действительности в экономике РФ доля экспорта имеет низкую волатильность, обусловленную в основном изменениями во внешней конъюнктуре.

Однако, учитывая преимущественно ресурсную направленность российской экономики, соотношение экспорта и импорта является достаточно устойчивой характеристикой.

Отметим, что для визуализации динамики внешнеторговых связей между РФ и другими странами все агенты-страны размещаются на карте мира (поддерживаемой в системе AnyLogic) с привязкой к географическим координатам столиц. Исходные данные для модели получены с использованием официальных данных ФТС с учетом некоторой предварительной обработки (в частности, очистки и интерполяции), они представлены в табл. 2.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЭД РФ

Внешнеэкономическая деятельность стран – партнеров РФ в основном определяется экономическими и политическими предпочтениями (например, участник ЕС или ЕАЭС), наличием уникальных товаров, услуг и технологий, аналоги которых не производятся в РФ, доходами и численностью домохозяйств – основных потенциальных потребителей конечной продукции и др.

Основное отличие предлагаемой здесь модели от имеющихся аналогов (Ковалева, 2009; Голованова, 2009; Узяков и др. 2004; Кылбаев, 2016) состоит в том, что для исследования характеристик внешнеэкономических связей применяется имитационное моделирование. Такой подход существенно расширяет возможности изучения динамики межстрановых взаимодействий с учетом дифференцированной внешнеторговой стратегии. Прогнозная динамика внешнеторгового оборота и связанные с ней макроэкономические характеристики являются результатом взаимодействия агентов-стран с учетом их индивидуальных предпочтений (реализуемых через экспортно-импортные пошлины, квоты и т.д.) – это наиболее реалистичный подход

Таблица 1
Средневзвешенные ставки ввозных пошлин и квоты на импорт на товары, ввозимые из РФ

Группа стран	Средневзвешенные ставки ввозных пошлин, %	Квоты на импорт, млрд долл. в год
ЕС	20	400
АТЭС	15	600
ЕАЭС	7	100
СНГ, кроме ЕАЭС	10	20
Прочие страны	30	200

Таблица 2

Исходные данные для модели – ключевые показатели ВЭД

Группа стран	Страна	Широта	Долгота	Доля оборота со страной в общем обороте РФ, %	Внешне-торговый оборот за январь–июнь 2018 г.	Ожидаемые ежегодные темпы роста оборота, %	Доля экспорта в обороте РФ
ЕС	Австрия	48.21	16.34	0,9	2444,7	130,00	0,69
ЕС	Бельгия	50.85	4.34	1,9	5214,0	116,16	0,58
ЕС	Болгария	42.71	23.31	0,5	1361,0	101,53	0,80
ЕС	Венгрия	47.51	19.03	1,0	2627,5	113,88	0,85
ЕС	Германия	48.13	11.52	9,0	24348,2	113,79	0,67
ЕС	Греция	37.98	23.70	0,6	1730,2	101,62	0,57
ЕС	Дания	55.68	12.55	0,8	2244,0	125,00	0,94
ЕС	Ирландия	53.35	6.29 з.д.	0,3	751,1	124,99	0,82
ЕС	Испания	41.39	2.17	0,9	2406,1	104,66	0,30
ЕС	Италия	41.90	12.44	3,8	10337,5	101,00	0,44
ЕС	Кипр	35.19	33.37	0,1	182,6	114,56	0,61
ЕС	Латвия	57.14	24.10	0,7	2004,8	73,90	0,98
ЕС	Литва	54.69	25.27	0,7	1953,7	105,00	0,90
ЕС	Люксембург	49.61	6.12	0,0	100,3	136,80	0,89
ЕС	Мальта	35.88	14.45	0,8	2088,3	110,00	0,26
ЕС	Нидерланды	52.38	4.88	7,2	19530,5	99,23	0,99
ЕС	Польша	52.23	21.02	3,1	8361,9	123,01	0,92
ЕС	Португалия	38.73	9.15 з.д.	0,2	652,2	117,86	0,77
ЕС	Румыния	44.45	26.10	0,7	2003,8	118,38	0,66
ЕС	Словакия	48.15	17.10	0,8	2280,7	101,29	0,66
ЕС	Словения	46.06	14.50	0,2	538,4	108,47	0,64
ЕС	Великобритания	51.51	0.15 з.д.	2,2	5848,5	109,60	0,33
ЕС	Финляндия	60.19	24.92	2,3	6237,8	115,78	0,71
ЕС	Франция	48.86	2.32	2,6	7084,3	119,11	0,78
ЕС	Хорватия	45.81	15.99	0,2	498,2	89,59	0,39
ЕС	Чехия	50.07	14.41	1,2	3348,1	109,23	0,85
ЕС	Швеция	59.34	18.05	0,9	2371,0	133,17	0,56
ЕС	Эстония	59.43	24.76	0,4	1111,5	106,88	0,61
АТЭС	Австралия	33.85 ю.ш.	151.20	0,1	347,9	110,00	0,17
АТЭС	Бруней-Даруссалам	4.43	114.55	0,0	0,7	1000,00	1,00
АТЭС	Вьетнам	15.00	101.97	0,7	1937,3	117,46	0,32
АТЭС	Гонконг	22.32	114.19	0,2	576	154,48	0,73
АТЭС	Индонезия	6.20	106.83	0,3	949,5	98,31	0,29
АТЭС	Канада	45.40	75.70 з.д.	0,2	502,9	75,25	0,37
АТЭС	Китай	39.81	116.34	15	40831,3	130,00	0,52
АТЭС	Республика Корея	37.55	126.96	3,2	8622,8	100,09	0,69
АТЭС	Малайзия	3.13	101.70	0,4	1071,4	134,84	0,42

Окончание табл. 2

Группа стран	Страна	Широта	Долгота	Доля оборота со страной в общем обороте РФ, %	Внешне-торговый оборот за январь–июнь 2018 г.	Ожидаемые ежегодные темпы роста оборота, %	Доля экспорта в обороте РФ
АТЭС	Мексика	19.50	99.10 з.д.	0,4	1157,5	119,37	0,71
АТЭС	Новая Зеландия	36.83 ю.ш.	174.76	0,0	56,7	40,41	0,05
АТЭС	Папуа–Новая Гвинея	6.39 ю.ш.	142.57	0,0	1,5	180,83	0,25
АТЭС	Перу	12.05 ю.ш.	77.07 з.д.	0,1	178,2	97,84	0,64
АТЭС	Сингапур	1.30	103.83	0,5	1334,5	76,06	0,83
АТЭС	США	38.90	77.00 з.д.	3,4	9288,8	106,35	0,44
АТЭС	Таиланд	13.82	100.66	0,3	926,1	113,61	0,25
АТЭС	Тайвань (Китай)	22.30	120.88	1,0	2678,5	122,98	0,70
АТЭС	Филиппины	14.60	121.00	0,1	335,5	115,00	0,59
АТЭС	Чили	33.45 ю.ш.	70.61 з.д.	0,2	489,1	104,00	0,08
АТЭС	Япония	35.68	139.75	3,1	8426,8	106,40	0,58
СНГ, кроме ЕАЭС	Азербайджан	40.35	49.85	0,4	957,1	79,88	0,68
ЕАЭС	Армения	40.17	44.50	0,3	782,7	117,73	0,70
ЕАЭС	Беларусь	54.00	27.60	5,1	13 835,7	109,22	0,64
ЕАЭС	Казахстан	51.13	71.43	2,7	7453,2	100,61	0,70
ЕАЭС	Киргизия	42.86	74.60	0,2	653,5	106,34	0,85
СНГ, кроме ЕАЭС	Молдова	47.01	28.83	0,2	606,9	124,24	0,77
СНГ, кроме ЕАЭС	Таджикистан	38.54	68.77	0,1	402,2	115,66	0,96
СНГ, кроме ЕАЭС	Туркменистан	38.95	58.28	0,0	124,4	81,48	0,61
СНГ, кроме ЕАЭС	Узбекистан	39.65	66.93	0,6	1619,6	110,00	0,74
Прочие	Украина	50.40	30.50	2,2	5837,9	98,00	0,62
Прочие	Аргентина	34.82 ю.ш.	58.33 з.д.	0,2	445,4	117,08	0,32
Прочие	Бразилия	22.90 ю.ш.	43.21 з.д.	0,7	1930,9	97,38	0,51
Прочие	Виргинские острова	18.43	64.62 з.д.	0,0	8,1	96,63	0,99
Прочие	Египет	30.05	31.25	1,0	2775,1	128,30	0,87
Прочие	Израиль	32.06	34.77	0,4	1197,7	111,48	0,72
Прочие	Индия	28.63	77.22	1,6	4268,9	121,49	0,72
Прочие	Иран	35.71	51.44	0,3	816,9	139,72	0,66
Прочие	Куба	21.43	78.14 з.д.	0,0	102,4	98,79	0,96
Прочие	Монголия	47.91	106.88	0,2	587,3	113,44	0,97
Прочие	Норвегия	59.90	10.75	0,2	620,3	125,55	0,67
Прочие	Турция	41.02	28.95	4,2	11387,2	115,65	0,85
Прочие	Швейцария	46.19	6.14	0,9	2406,5	122,00	0,61
Прочие	ЮАР	26.19	28.04	0,1	370,0	117,34	0,25
Прочие	Грузия	41.71	44.84	0,2	608,1	105,00	0,74

к моделированию ВЭД. Таким образом, группы стран (например, ЕС, АТЭС и т.д.), могут самостоятельно формировать свою внешнеэкономическую стратегию по отношению к РФ. При этом в ответ на изменение импортных пошлин со стороны стран-агентов, являющихся внешнеэкономическими партнерами, РФ может менять экспортные пошлины на товары, ввозимые из соответствующих стран, устанавливать новые квоты (например, «контрсанкции в ответ на санкции») и переориентировать экспортные потоки, обеспечивая, таким образом, механизм перехода к новому равновесному состоянию системы.

Далее рассмотрим формальное описание предлагаемой укрупненной модели.

Введем следующие обозначения:

$\tilde{T} = \{t_1, t_2, \dots, t_T\}$ – набор шагов модельного времени t (по месяцам); T – горизонт стратегического планирования (10 лет);

$\tilde{G} = \{g_1, g_2, \dots, g_G\}$ – набор индексов групп стран (ЕС, АТЭС, ЕАЭС и др.), осуществляющих с РФ внешнеэкономические взаимодействия;

$\tilde{C}_g = \{c_{1g}, c_{2g}, \dots, c_{C_g}\}$ – набор индексов стран, входящих в группу g ($g \in \tilde{G}$), осуществляющих с РФ внешнеэкономические взаимодействия;

$r_{c_g}(t_1)$ — темп роста внешнеторгового оборота РФ со страной c_g в начальный момент времени t_1 (экзогенная величина, $0 < r_{c_g}(t_1)$);

$p_g(t)$ – средневзвешенные импортные пошлины для товаров, ввозимых из РФ, устанавливаемые группой стран g (предопределенная величина, $p_g(t) \geq 0$);

$\bar{p}_g$ – максимально допустимые импортные пошлины (экзогенная величина);

λ_{c_g} – коэффициент, отражающий степень реакции спроса на изменение импортных пошлин (и конечных цен соответственно) со стороны стран-агентов c_g (экзогенная величина, $0 \leq \lambda_{c_g} \leq 1$);

$\alpha_{c_g}(t)$ – коэффициент изменения темпа роста внешнеторгового оборота со страной c_g , отражающий реакцию РФ на изменение средних ставок импортных пошлин;

$o_{c_g}(t)$ – внешнеторговый оборот РФ (сумма экспорта и импорта) со страной c_g в начальный момент времени t (экзогенная величина);

$s_{c_g}(t)$ – доля экспорта (товаров из РФ) во внешнеторговом обороте РФ со страной c_g (экзогенная величина);

$q_g(t)$ – средневзвешенная квота на импорт (в стоимостном выражении) товаров из РФ, устанавливаемая группой стран g (предопределенная величина, $q_g(t) \geq 0$);

$\bar{q}_g$ – максимально возможные квоты на импорт (экзогенная величина).

Совокупный экспорт товаров РФ в страны группы g в момент времени $t \in \tilde{T}$

$$e_g(t) = \sum_{c_g=1}^{C_g} o_{c_g}(t) s_{c_g}(t). \quad (1)$$

Внешнеторговый оборот РФ со страной c_g вычисляется как

$$o_{c_g}(t) = o_{c_g}(t-1) + o_{c_g}(t-1)(r_{c_g}(t) - 1). \quad (2)$$

Темп роста внешнеторгового оборота РФ со страной c_g

$$r_{c_g}(t) = \begin{cases} \alpha_{c_g}(t) r_{c_g}(t-1), \\ \text{если } e_g(t-1) \leq q_g(t); \\ 1, \text{ если } e_g(t-1) > q_g(t); \end{cases} \quad (3)$$

$$\alpha_{c_g}(t) = \frac{1}{(1 + p_g(t) - p_g(t-1))^{\lambda_{c_g}}}; \quad (4)$$

$$c \in \tilde{C}_g, g \in \tilde{G}, t \in \tilde{T}.$$

Совокупный объем внешнеторгового оборота РФ со всеми странами-партнерами за период времени T

$$O = \sum_{t=1}^T \sum_{g=1}^G \sum_{c_g=1}^{C_g} o_{c_g}(t). \quad (5)$$

Соотношения (4), (5) показывают, что РФ заинтересована в снижении импортных пошлин ($p_g(t)$) на свою продукцию, ввозимую в страны-партнеры.

Доходы (таможенные поступления) в странах-агентах c_g от импорта товаров из РФ определяются соотношением

$$d_{\tilde{g}}(t) = s_{c_g}(t) o_{c_g}(t) (1 + p_g(t) - p_g(t-1)), \quad (6)$$

$$c \in \tilde{C}_g, \quad g \in \tilde{G}, \quad t \in \tilde{T}.$$

Совокупный доход от импорта для всех стран-партнеров за период времени T

$$D = \sum_{t=1}^T \sum_{g=1}^G \sum_{c_g=1}^{C_g} d_{c_g}(t). \quad (7)$$

Таким образом, страны – партнеры РФ преимущественно заинтересованы в увеличении импортных пошлин, так как последние являются мгновенным (т.е. получаемым в момент ввоза товаров) источником дохода от ВЭД.

В условиях растущих ограничений на объемы импорта и увеличения импортных пошлин со стороны стран – партнеров РФ (прежде всего стран ЕС) наиболее эффективным драйвером внешнеторгового оборота РФ является рациональное управление импортными пошлинами и квотами, устанавливаемыми в странах ЕАЭС и СНГ.

Теперь можно сформулировать бикритериальную оптимизационную задачу рационального управления ВЭД с учетом разнонаправленных интересов РФ и стран-агентов, являющихся внешнеторговыми партнерами РФ.

Задача 1. Требуется максимизировать совокупный объем внешнеторгового оборота РФ и совокупный доход от импорта для всех стран-агентов, являющихся внешнеторговыми партнерами, за счет выбора наилучших значений импортных пошлин и квот:

$$\max_{p_g(t), q_g(t)} O, \quad (8)$$

$$\max_{p_g(t), q_g(t)} D, \quad (9)$$

при условиях

$$0 \leq p_g(t) \leq \bar{p}_g, \quad 0 \leq q_g(t) \leq \bar{q}_g,$$

$$c \in \tilde{C}_g, \quad g \in \tilde{G}, \quad t \in \tilde{T}.$$

Решением задачи 1 является множество компромиссных (Парето-оптимальных) сценариев (импортных пошлин и квот), отражающих интересы РФ и стран-агентов, с которыми осуществляется внешнеэкономическая деятельность.

Вероятность реализации определенного сценария зависит от множества факторов, в том числе политического характера (например, продолжение или окончание санкционной политики стран ЕС и США, укрупнение блока ЕАЭС за счет новых участников и т.д.).

Для компьютерной реализации разработанной имитационной модели (1)–(9) была использована система AnyLogic, поддерживающая различные методы имитационного моделирования и сценарного анализа, в том числе генетические оптимизационные алгоритмы, позволяющие решать малоразмерные оптимизационные задачи типа задачи 1.

Численное решение бикритериальной оптимизационной задачи 1 было выполнено с использованием адаптивного многоагентного генетического алгоритма (ГА), предложенного в работе (Акопов и др., 2018), агрегированного с созданной имитационной моделью ВЭД (AnyLogic) по целевым функционалам. Применение ГА обусловлено высокой размерностью решаемой оптимизационной задачи и трудностями использования более точных ньютоновских и квазиньютоновских методов оптимизации в условиях, когда целевые функционалы являются результатом имитационного моделирования.

Особенностью данного ГА является реализация методов поисковой адаптации на индивидуальном уровне агентов-процессов, взаимодействующих посредством периодического обмена наилучшими потенциальными решениями через глобальный архив недоминируемых решений. Для решения многокритериальных, в том числе подобных бикритериальных, оптимизационных задач в качестве базового подхода применяется специальный

алгоритм эвристического поиска типа SPEA (Strength Pareto Algorithm) (Zitzler et al., 1999), основанный на отборе наилучших потенциальных решений с использованием метода Парето-силы, т.е. посредством оценки степени близости потенциальных решений к фронту Парето.

Применяемый параллельный ГА может быть представлен в виде следующей процедуры.

Шаг 1. Параллельный запуск агентов-процессов (автономными ГА) с индивидуальными характеристиками (вероятностью оператора-кроссовера, мутации и т.д.).

Шаг 2. Формирование начальной популяции потенциальных решений для искомым переменных (в данном случае пары $\{p_g(t), q_g(t)\}$, $g \in G$, $t \in \tilde{T}$) и пустого локального архива недоминируемых по Парето решений для каждого агента-процесса.

Шаг 3. Выполнение операторов селекции, кроссовера и мутации для формирования новых значений потенциальных решений внутри каждого агента-процесса. Запуск AnyLogic с новыми значения переменных-решений с целью вычисления значений целевых функционалов $\{O, D\}$. Оценка Парето-силы для полученных решений и обновление локального архива недоминируемых решений при условии выполнения соответствующих критериев.

Шаг 4. Периодический обмен наилучшими значениями потенциальных решений между агентами-процессами посредством глобального архива недоминируемых по Парето решений. Улучшение параметров ГА на уровне агентов-процессов на основе анализа их производительности. Останов ГА в случае выполнения критерия сходимости глобальной популяции.

Отметим, что детальное описание применяемого параллельного ГА представлено в работе (Акопов и др., 2018). Важным элементом рассматриваемой системы поддержки принятия решений является интегрируемость параллельного ГА с имитационной моделью (AnyLogic) по целевым функционалам и переменным-решениям.

Фрагмент разработанной модели внешнеэкономического взаимодействия РФ с другими странами, реализованной в AnyLogic, представлен на рис. 1 (реализация модели) и рис. 2 (панель управления моделью).

При разработке данной укрупненной имитационной модели использовались методы системной динамики, объектно-ориентированного и процедурного программирования (Java), технологии баз данных и визуализации результатов моделирования на карте мира. Для формирования прогнозной динамики внешнеторгового оборота РФ со странами мира используются уравнения (1)–(7). Для определения наилучших значений управляющих параметров модели (значения импортных пошлин и квот) с использованием предложенного параллельного ГА решается оптимизационная задача (8), (9).

На рис. 2 точками обозначены страны-партнеры, с которыми РФ осуществляет внешнеторговое взаимодействие на десятом горизонте стратегического планирования. Толщина связей отражает уровень внешнеэкономического взаимодействия. Чем шире связь, тем большую долю во внешнеторговом обороте занимает торговля с данной страной-партнером. На этом же рисунке видно, что наиболее объемная («широкая») связь наблюдается между РФ и Китаем, а наиболее слабые связи – со странами, существенно географически удаленными от РФ (например, странами Южной Америки, Австралией, некоторыми европейскими странами). Подобное состояние (на 2028 г.) согласуется с базовым сценарием, соответствующим текущей санкционной политике ЕС и США в отношении РФ, характеризующейся высокими импортными пошлинами на продукцию из РФ и наличием жестких квот.

Разработанная имитационная модель позволяет:

- загружать исходные статистические данные по странам-партнерам из предметно-ориентированной базы данных;
- осуществлять множественные сценарные расчеты при различных значениях



Рис. 1. Фрагмент разработанной имитационной модели внешнеэкономического взаимодействия РФ с другими странами, реализованной в системе AnyLogic

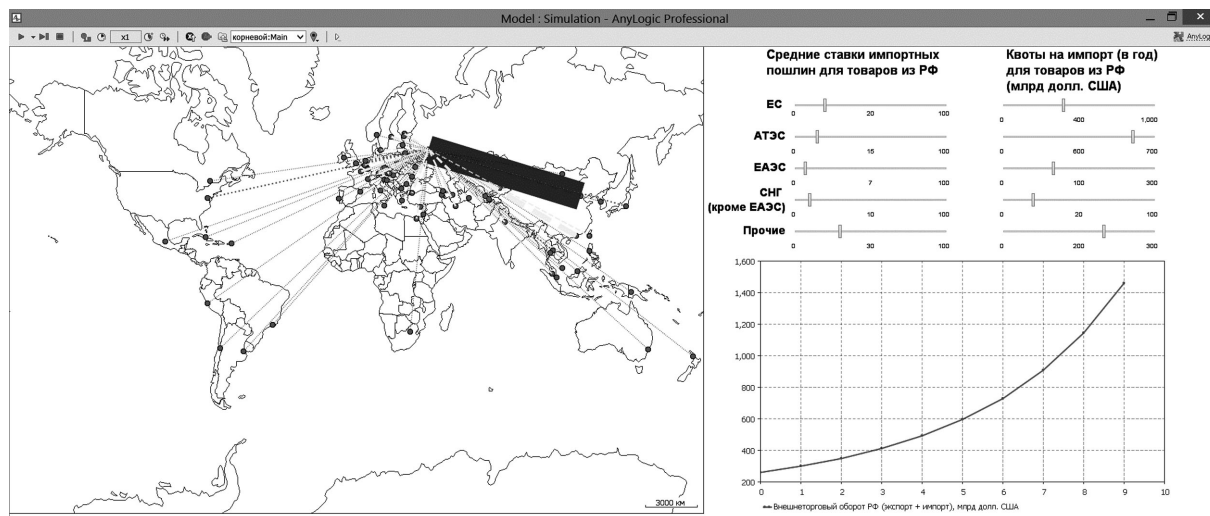


Рис. 2. Панель управления имитационной моделью внешнеэкономического взаимодействия РФ с другими странами

средних ставок импортных пошлин и квот на импорт для товаров, ввозимых из РФ.

- рассчитывать прогнозную динамику внешнеторгового оборота РФ и дохода от импорта стран, являющихся торговыми пар-

тнерами РФ, в зависимости от выбранного сценария;

- осуществлять поиск субоптимальных решений (ставок импортных пошлин и квот) в рамках сформулированной бикритериаль-

ной оптимизационной задачи рационального управления ВЭД;

- визуализировать связи между РФ и странами-партнерами на карте мира, классифицируя их в зависимости от доли этих стран в общем внешнеторговом обороте РФ (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ

Для верификации разработанной имитационной модели проводилась серия численных экспериментов (более 100) с использованием исторических данных по динамике внешнеторгового оборота, соответствующих интервалу 2000–2018 гг. При этом оценивалась интегральная (усредненная по странам и времени) ошибка прогнозирования важнейшего показателя модели – внешнеторгового оборота РФ со странами мира:

$$\chi = \frac{1}{T} \sqrt{\sum_{t=1}^T \left(\frac{\tilde{O}(t) - \hat{O}(t)}{\hat{O}(t)} \right)^2}, \quad (10)$$

где $\tilde{O}(t) = \sum_{g=1}^G \sum_{c_g=1}^{C_g} o_{c_g}(t)$ – прогнозные значения совокупного объема внешнеторгового оборота РФ со странами мира, оцениваемые на историческом периоде времени (10 лет); $\hat{O}(t)$ – известные фактические значения совокупного объема внешнеторгового оборота РФ со странами мира.

В результате проведенных численных экспериментов интегральная ошибка прогнозирования динамики внешнеторгового оборота РФ составила $\chi \leq 10\%$, что свидетельствует о достаточной адекватности данной модели. При этом различия в экспериментах состояли в выборе различных интервалов прогнозирования и разных начальных моментов модельного времени для обеспечения валидности получаемых оценок.

Для проведения численных экспериментов по прогнозированию динамики внешнеторгового оборота РФ на период перспективного планирования (2019–2028 гг.) из множества возможных сценариев развития внешнеэкономической деятельности РФ, были отобраны следующие.

Сценарий 1. Сохранение существующих значений управляющих параметров ВЭД (ставок ввозных пошлин, квот на импорт), соответствующих уровню 2018 г. Данный пессимистичный сценарий основан на прогнозировании дальнейшего сохранения санкционной политики ЕС и США по отношению к РФ.

Сценарий 2. Уменьшение импортных пошлин и увеличение квот со стороны ЕС и стран АТЭС. Данный оптимистичный сценарий основан на отмене санкций и отказе от политики торговых войн. Подобный сценарий максимально соответствует интересам РФ.

Сценарий 3. Увеличение импортных пошлин и уменьшение квот со стороны стран АТЭС. Данный негативный сценарий основан на предположении о возможном развитии глобальных торговых войн против РФ, в том числе со стороны стран АТЭС (США, Китая и др.).

Значения управляющих параметров для трех рассматриваемых сценариев представлены в табл. 3.

Прогнозная динамика внешнеторгового оборота РФ, вычисленная с помощью разра-

Таблица 3
Сценарные значения управляющих параметров имитационной модели

Группа стран	Сценарий 1, реалистичный		Сценарий 2, оптимистичный		Сценарий 3, пессимистичный	
	p_g	$\bar{q}_g$	p_g	$\bar{q}_g$	p_g	$\bar{q}_g$
ЕС	20	400	10	600	20	400
АТЭС	15	600	10	600	30	400
ЕАЭС	7	100	5	200	10	100
СНГ, кроме ЕАЭС	10	20	7	40	15	20
Прочие	30	200	20	300	40	200

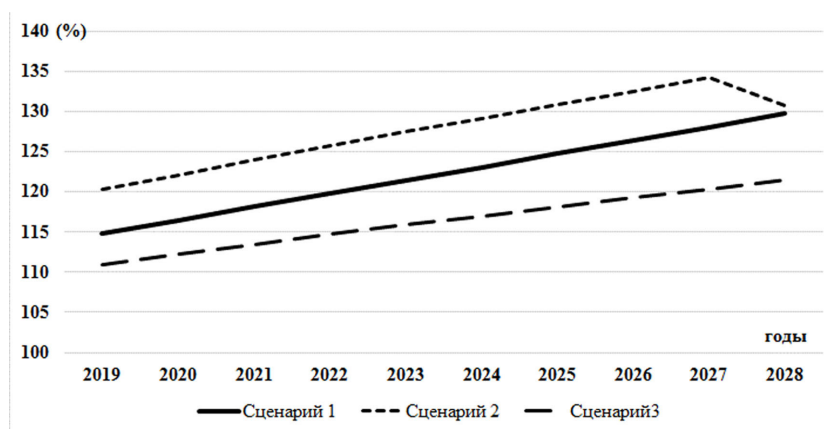


Рис. 3. Прогноз темпов роста внешнеторгового оборота РФ, полученный с помощью разработанной имитационной модели, %

ботанной имитационной модели, представлена на рис. 3.

На рис. 3 видно, что в случае отказа от жесткой санкционной политики со стороны ЕС и США (сценарий 2) к 2028 г. будет обеспечен существенный темп роста внешнеторгового оборота РФ (130% в год). В случае развития негативного сценария, т.е. увеличения импортных пошлин и уменьшения квот со стороны стран АТЭС (сценарий 3), возможно существенное падение темпов роста внешнеторгового оборота РФ (рис. 3). Отметим, что реализация данного сценария представляется маловероятной в силу наличия разнонаправленных интересов внутри группы стран АТЭС (куда входя такие страны, как США, Китай, Республика Корея и др.) по отношению к торговле с РФ. Наиболее вероятен сценарий 1, т.е. сохранение текущей санкционной политики со стороны стран ЕС.

Целесообразно рассмотреть также сценарий одностороннего отказа стран ЕС от высоких таможенных пошлин (и значительного увеличения квот) на продукцию, ввозимую из РФ, при одновременном увеличении пошлин со стороны стран АТЭС. В результате реализации такого сценария наблюдается интересный эффект – переориентация к 2028 г. экспортно-импортных потоков РФ в пользу европейских стран (рис. 4).

Рисунок 4 иллюстрирует также ожидаемый дисбаланс внешнеэкономических связей РФ, характерный для базового сценария сохранения текущей санкционной политики ЕС и США, в частности способствующий доминированию доли Китая во внешнеторговом обороте РФ, что также может представлять существенные риски для устойчивости экономики РФ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложена укрупненная имитационная модель внешнеэкономического взаимодействия РФ со странами-партнерами, между которыми имеются устойчивые внешнеэкономические связи, реализуемые посредством экспортно-импортных операций. Данные страны дифференцируются по группам (страны ЕС, АТЭС, ЕАЭС и т.д.) и проводят собственную внешнеэкономическую политику по отношению к РФ посредством импортных пошлин и квот. Разработанная имитационная модель (рис. 1, 2) позволяет формировать прогнозную динамику внешнеторгового оборота РФ при различных сценариях, определяемых внешнеэкономической

Базовый сценарий сохранения текущей санкционной политики ЕС и США



Сценарий одностороннего отказа стран ЕС от санкционной политики

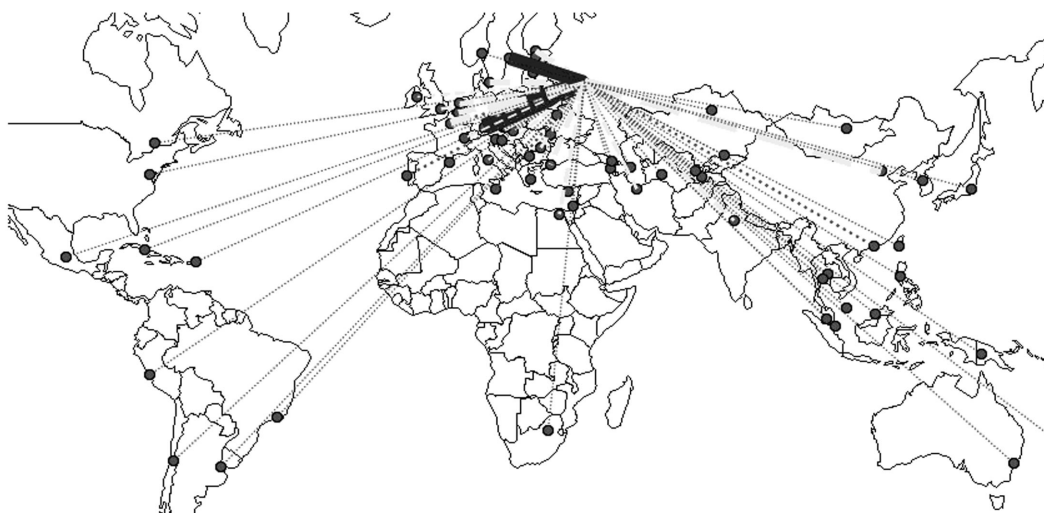


Рис. 4. Эффект переориентации экспортно-импортных потоков РФ в пользу стран ЕС в случае одностороннего отказа от санкционной политики

политикой стран-партнеров (рис. 3), а также оценивать сбалансированность формируемых внеэкономических связей (рис. 4). Данный подход основан на решении сформулированной бикритериальной оптимизационной задачи, целевыми функционалами

которой являются внешнеторговый оборот РФ и доход от импорта для стран-партнеров, а управляющими параметрами – средневзвешенные импортные пошлины и квоты на импорт (различающиеся по группам стран).

Дальнейшие исследования предполагают следующие направления:

- переход к товарной дифференциации экспортно-импортных потоков с целью анализа наилучших стратегий импортозамещения для РФ;

- моделирование межстрановых связей различного класса (инвестиционных, финансовых, миграционных, внешнеэкономических и др.) с целью построения комплексной системы стратегического управления межстрановыми взаимодействиями;

- дезагрегация модели посредством выделения корпоративных агентов со своими производственным и инвестиционными характеристиками, влияющими на поведение страны и ее стратегию;

- моделирование гравитационных эффектов во внешней торговле, обуславливающих переход агентов-стран между различными кластерами;

- моделирование производственных возможностей РФ с учетом внешнеэкономической деятельности и потенциального спроса на продукцию несырьевых отраслей экономики.

В результате будет разработана крупномасштабная система поддержки принятия решений в области рационального управления множественными характеристиками многомерной (объемной) модели межстранового взаимодействия (внешнеэкономического, инвестиционного, геополитического и др.) с использованием методов имитационного моделирования и многоцелевой (эвристической) оптимизации.

щью региональной модели CGE поведения естественных монополий (на примере электроэнергетики) // Экономическая наука современной России. 2005. № 4. С. 123–29.

Акопов А.С., Бекларян Л.А. Агентная модель поведения толпы при чрезвычайных ситуациях // Автоматика и телемеханика. 2015. № 10. С. 131–143.

Акопов А.С., Бекларян А.Л., Хачатрян Н.К., Фомин А.В. Разработка адаптивного генетического оптимизационного алгоритма с использованием методов агентного моделирования // Информационные технологии. 2018. Т. 24. № 5. С. 321–329.

Акопов А.С., Хачатрян Н.К. Агентное моделирование. Учебно-методическое пособие. М.: ЦЭМИ РАН, 2016.

Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. М.: Экономика, 2008.

Голованова С.В. Международная торговля – фактор изменения концентрации производства в российской промышленности (1998–2004 гг.) // Экономическая наука современной России. 2009. № 1. С. 129–137.

Ковалева О.А. Моделирование стратегии принятия решений по таможенно-тарифному регулированию внешнеэкономической деятельности // Экономика промышленности. 2009. Т. 44. № 1. С. 86–94.

Кылбаев Е.С. Использование гравитационных моделей для прогнозирования внешней торговли между странами // Вопросы новой экономики. 2016. № 1 (37). С. 29–34.

Макаров В.Л. Вычислимая модель российской экономики (RUSEC). Препринт # WP/99/069. М.: ЦЭМИ РАН, 1999.

Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бахтизина Н.В. Вычислимая модель экономики знаний // Экономика и математические методы. 2009. Т. 45. № 1. С. 70–82.

Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сулакишин С.С. Применение вычислимых моделей в государственном управлении. М.: Научный эксперт, 2007.

Узяков М.Н., Ткаченко А.В., Сапова Н.Н., Херсонский А.А., Широков А.А., Шошкин С.П., Янговский А.А. Проблемы создания многоуровневой системы моделей прогнозирования внешней

Список литературы

Акопов А.С. Имитационное моделирование. Учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2014.

Акопов А.С., Бекларян Г.Л. Анализ эффективности регулирующей политики государства с помо-

торговли в условиях переходной экономики: научные труды. М.: Ин-т народнохозяйственного прогнозирования РАН, 2004. Т. 2. С. 10–23.

Forrester J.W. Industrial dynamics. MIT Press, 1961.

Zitzler E., Thiele L. Multiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength Pareto approach. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 1999. № 3 (4). P. 257–271.

Рукопись поступила в редакцию 12.09.2018 г.

AGGREGATED SIMULATION MODEL OF FOREIGN ECONOMIC ACTIVITY OF THE RUSSIAN FEDERATION

G.L. Beklaryan

Gayané L. Beklaryan, Central Economics and Mathematics Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, glbeklaryan@gmail.com

This work was completed with the partial support from the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 18-51-45001).

This article presents the developed aggregated simulation model of foreign economic interaction of the Russian Federation with partner countries. The bi-criterion optimization problem of the rational control of foreign trade activities is formulated and solved with consideration of the differently directed interests of the Russian Federation and partner countries. The possibilities of such links to be balanced are being studied depending on different scenarios reflecting the foreign trade strategy characteristic for the respective groups of countries (EU, APEC, EEC, etc.). The proposed simulation model implemented in AnyLogic allowed investigating the influence of the key control parameters of foreign economic activity on the characteristics of the interrelationships of the Russian Federation with other countries. Suboptimal (scenario) values of import duties and quotas that provide the best influence on the forecast dynamics

of the foreign trade turnover of the Russian Federation are calculated.

Keywords: agent-based modeling foreign economic activity, FEA, AnyLogic, import duties, import quotas, export economy, foreign economic activity.

JEL: C02, C63.

References

- Akopov A.S. (2014). Simulation modeling. A textbook and a workshop for academic baccalaureate. Moscow, URAIT, 389 p. (in Russian).
- Akopov A.S., Beklaryan G.L. (2005). Analysis of efficiency of adjusting policy of the state by means of regional model CGE of behavior of natural monopolies (on the example of electric power industry). *Economics of Contemporary Russia*, no. 4, pp. 123–129 (in Russian).
- Akopov A.S., Beklaryan L. (2015). An agent model of crowd behavior in emergencies. *Automation and Remote Control*, no. 10, pp. 1817–1827.
- Akopov A.S., Beklaryan A.L., Khachatryan N.K., Fomin A.V. (2018). Development of an adaptive genetic optimization algorithm using agent modeling methods. *Information Technology*, vol. 24, no. 5, pp. 321–329 (in Russian).
- Akopov A.S., Khachatryan N.K. (2016). Agent-based modelling. A teaching guide. Moscow, CEMI RAS, 76 p. (in Russian).
- Bakhtizin A.R. (2008). Agent-oriented models of economics. Moscow, Ekonomika, 279 p. (in Russian).
- Golovanova S.V. (2009). International trade – the factor of the change in the concentration of production in the Russian industry (1998–2004). *Economics of Contemporary Russia*, vol. 1, no. 1, pp. 129–137 (in Russian).
- Kovaleva O.A. (2009). Modeling the strategy of decision-making on customs and tariff regulation of foreign economic activity. *Ekonomika Promyslenosti [Economics of Industry]*, vol. 44, no. 1, pp. 86–94 (in Russian).
- Kylbaev E.S. (2016). Using gravity models to predict the foreign trade between countries. *Voprosy Novoi Ekonomiki [Issues of the New Economy]*, no. 1 (37), pp. 29–34 (in Russian).

- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Bakhtizina A.R. (2009). Computable model of the knowledge economy. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 45, no. 1, pp. 70–82 (in Russian).
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sulakshin S.S. (2007). Using computable models in public administration. Moscow, Scientific expert, 306 p. (in Russian).
- Makarov V.L. (1999). Computable model of the Russian economy (RUSEC). Working paper # WP/99/069. Moscow, CEMI RAS, 93 (in Russian).
- Uziakov M.N., Tkathenko A.V., Sapova N.N., Kheronsky A.A., Shirov A.A., Shoshkin S.P., Yantovsky A.A. (2004). Multilevel system of foreign trade forecasting models construction problems in transition economy. *Scientific Articles: Institute of Economic Forecasting (RAS)*, no. 2, pp. 10–23 (in Russian).
- Forrester J.W. (1961). *Industrial dynamics*. MIT Press.
- Zitzler E., Thiele L. (1999). Multiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength Pareto approach. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, no. 3 (4), pp. 257–271.

Manuscript received 12.09.2018

СОВМЕСТНОЕ КОГНИТИВНОЕ КАРТИРОВАНИЕ – МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ МЕГАНАУКИ¹

*А.Е. Карлик, В.В. Платонов,
С.А. Кречко*

Целью данной статьи является расширение процедуры когнитивного картирования для ее трансформации из метода научного исследования в инструмент поддержки принятия управленческих решений, способствующий реализации потенциала меганауки (крупномасштабных специализированных исследовательских установок коллективного использования мегакласса) в организации междисциплинарных проектов. Важный эффект меганауки состоит в возможности организации междисциплинарных исследований и внедрения их результатов в хозяйственную практику. В перспективе бизнес-аналитики могут характеризовать меганауку как распределенную сеть нематериальных активов при концентрации материального капитала. Большое когнитивное разнообразие, информационная перегрузка и неявные знания,

© Карлик А.Е., Платонов В.В., Кречко С.А.,
2018 г.

Карлик Александр Евсеевич, д.э.н., профессор, заведующий кафедрой, Санкт-Петербургский государственный экономический университет. Санкт-Петербург, Россия, karlik1@mail.ru

Платонов Владимир Владимирович, д.э.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный экономический университет. Санкт-Петербург, Россия, vplatonov@inbox.ru

Кречко Светлана Андреевна, старший преподаватель, Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Гродно, Республика Беларусь, kre4kosa@gmail.com

¹ Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-02-00103).