

DOI: 10.12731/2070-7568-2019-3-98-108

УДК 332.122

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0

Сиротин Д.В.

Актуальным трендом развития отечественной экономики является реализация концепции Индустрия 4.0. На сегодняшний день нет чётких представлений относительно реализации данной концепции, в связи с чем оценить параметры развития промышленности в этих условиях проблематично. В качестве одной из ключевых задач реализации вектора Индустрии 4.0 выделено развитие высокотехнологичного сектора экономики.

Прогнозирование развития экономики в современных условиях возможно на базе математических методов моделирования. При этом разноукладность развития отечественной экономики определяет целесообразность регионального подхода в решении поставленной задачи. В качестве приоритетного представляется целесообразным применение экономико-математического подхода на базе агент-ориентированного моделирования. Данный подход позволяет моделировать деятельность агентов в условиях имитируемой среды, определяющей условия их функционирования. В целях учёта одного из параметров, характеризующих среду функционирования системы, предложена гравитационная модель, позволяющая оценить взаимосвязи между регионами на базе высокотехнологичного товарооборота. Апробация предложенного подхода реализована в условиях Свердловской области.

Цель – построение модели оценки пространственного развития высокотехнологичной среды в рамках агент-ориентированной модели развития экономики территорий в условиях Индустрии 4.0.

Метод или методология проведения работы: методология исследования учитывает методы системного, структурно-логического, анализа, инструментарий гравитационного моделирования.

Результаты: построенная гравитационная модель позволила оценить межрегиональные взаимосвязи Свердловской области на базе высокотехнологичного товарооборота.

Область применения результатов: полученные результаты позволили сформировать базу, которая может быть использована при оценке параметров, характеризующих среду функционирования экономической системы в условиях развития Индустрии 4.0 в рамках агент-ориентированного подхода.

Ключевые слова: агент-ориентированное моделирование; гравитационная модель; высокотехнологичная среда; Индустрия 4.0; пространственное моделирование; промышленный комплекс региона; межрегиональный товарооборот.

DEVELOPMENT MODELING OF THE REGIONAL ECONOMY IN THE INDUSTRY 4.0 CONDITIONS

Sirotin D.V.

The development of the Russian economy should take into account the implementation of the Industry 4.0 concept. This concept does not have clear assessment parameters. Estimating such parameters is problematic. The development of high-tech industries is one of the main objectives of the implementation of Industry 4.0. Prediction of economic development in modern conditions is possible on the basis of mathematical modeling methods. The difference in technological stage of the domestic economy determines the feasibility of a regional approach. Agent-based modeling is the optimal approach to solving this problem. This approach allows simulating the activities of agents. The simulated environment sets the conditions for the agents to function. A gravitational model proposed to assess the economic system functioning environment. The proposed gravitational model allows us to assess the relationship between regions on the basis of high-tech trade. The approbation carried in the Sverdlovsk region conditions. As a result of the study established, the development of the Sverdlovsk region high-tech environment, covering

the main industrial regions of The Urals, Volga and Siberian federal districts, and the Central Region.

Purpose: *Construction of the spatial development an assessing model of high-tech environment in the agent-oriented model of territories economic development in the Industry 4.0 conditions.*

Methodology: *methods of system, structural and logical analysis, tools of gravitational modeling.*

Results: *The proposed gravitational model allowed us to assess the interregional interrelations of Sverdlovsk region on the basis of high-tech trade.*

Practical implications: *The results can be useful for assessing the environment of the economic system in the context of Industry 4.0 in the agent-oriented approach.*

Keywords: *agent-oriented modeling; gravity model; hi-tech environment; Industry 4.0; high-tech production; industrial complex of the region; interregional trade.*

Введение

В последние годы широко обсуждается вопрос формирования новой экономической модели развития, учитывающей реализацию принципов четвёртой промышленной революции. Переход к такой модели затрудняют вопросы, связанные с ресурсным обеспечением реализации вектора Индустрии 4.0, а также сложность экономической оценки реализации её элементов. Тем не менее, можно полагать, что основной эффект должен формироваться в высокотехнологичных и наукоёмких секторах экономики.

В силу незавершённости концепции Индустрии 4.0 оценить влияние новых технологий на развитие экономки и спрогнозировать её развитие на сегодняшний день проблематично. Тем не менее, опыт некоторых развитых и развивающихся стран, успешно реализующих сегодня данную концепцию, позволяет выделить ключевые точки в достижении высоких результатов промышленного развития. При этом, учитывая разноукладность развития отечественной экономики [Батов, 2014, www], целесообразно учитывать особенности экономи-

ческой специализации территорий размещения производств, а также уровень их технологического развития. К традиционно индустриальным регионам России можно отнести Свердловскую область, отличающуюся наличием сырьевых ресурсов, высоким кадровым потенциалом, мощной производственной базой.

Основные теоретико-методологические положения моделирования развития экономики территорий

На сегодняшний день существует достаточно широкий инструментарий прогнозирования экономических систем. Широкое применение, в частности, органами государственного управления, в последние годы находят методы экспертных оценок, эконометрического моделирования, экстраполяции, программно-целевой метод, используемые для построения прогнозов социально-экономического развития территорий [Широв, Гусев, Янтовский, 2012, 70]. Использование большинства из этих методов на региональном уровне может быть затруднительно в силу необходимости применения в качестве информационной базы данные экспертных опросов. Для эконометрического моделирования частой проблемой является необходимость получения информации по субъектам, находящейся в закрытом доступе.

Методический инструментарий моделирования развития экономики территорий в условиях Индустрии 4.0 должен обладать элементами гибкости, учитывать индивидуальные особенности отдельных производств, предугадывать изменения в поведении субъектов. В связи с этим представляется целесообразным применение экономико-математического подхода на базе агент-ориентированного моделирования [Маковеев, 2016, 275]. Данный подход предполагает построение вычислительного инструмента моделирования искусственного общества, состоящего из взаимодействующих друг с другом агентов [Швецов, Дианов, 2019, 50]. Агент-ориентированные модели позволяют создавать компьютерные симуляции, учитывающие индивидуальные особенности поведения агентов в системе.

Основополагающий вклад в развитие агент-ориентированного моделирования внесли Р. Аксельрод, Л. Тасфатсон, Р. Экстел,

Дж. Эпштейн. В числе российских экономистов, развивающих данное направление, следует выделить В.Л. Макарова, А.Р. Бахтизина, М.С. Бурцева, Ю.Н. Гаврильца, С.И. Парина, Г.Б. Клейнера, Д.Б. Берга. Растущий интерес к агентному моделированию связан со свойствами экономических агентов, потенциал которых шире чем представляется на первый взгляд. Академик РАН В.Л. Макаров определяет совокупность агентов, действующих в агент-ориентированных моделях (АОМ) как «искусственное общество» [Макаров, Бахтизин, Сушко, 2015, 313].

Разработка методических основ оценки пространственных взаимодействий между территориями в условиях Индустрии 4.0

Для оценки развития экономики региона в условиях Индустрии 4.0 возможна разработка АОМ, имитирующей функционирование экономической системы региона. Такая модель должна учитывать правила взаимодействия агентов в условиях платформенной экономики, их деятельность и реакции на внешние воздействия (меры регулирования). Экономический смысл такой модели заключается в проведении оценки эффектов от реализации государственных мер регулирования экономики региона, подверженной влиянию развития элементов Индустрии 4.0. При этом система управления должна учитывать элементы оценки пространственного развития высокотехнологичной среды. В качестве одного из таких элементов в рамках агент-ориентированной модели развития экономики территорий в условиях Индустрии 4.0 может быть использована гравитационная модель. Такие модели часто используются для решения задач оценки пространственных социально-экономических взаимодействий между территориями [Шумилов, 2017, 225].

Так, в целях оценки взаимодействий между территориями построена гравитационная модель пространственного развития высокотехнологичной среды. Такая модель основана на предположении, что сила взаимодействия между территориями пропорциональна произведению показателей товарооборота высокотехнологичных

производств (между регионами) и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$M_{ij} = k \frac{p_i p_j}{d_{ij}^2} \quad (1)$$

где M_{ij} – показатель взаимодействия между регионами, отражающий развитие высокотехнологичной среды (в пространстве) между ними; k – коэффициент соответствия; p_i, p_j – межрегиональный высокотехнологичный товарооборот; d_{ij} – расстояние между регионами i и j .

Экономический смысл предложенной гравитационной модели заключается в возможности оценить ёмкость территорий прибытия и отправления высокотехнологичной продукции. В логарифмическом линейном виде модель примет следующий вид:

$$\ln(M_{ij}) = \ln(k) + \ln(p_i) + \ln(p_j) + \ln(d_{ij}) \cdot (-2) \quad (2)$$

Данная модель апробирована в условиях Свердловской области. При этом показатель высокотехнологичного товарооборота соответствовал объёмам ввозимой (p_i) в Свердловскую область и вывозимой из неё (p_j) продукции высокотехнологичных и среднетехнологичных (высокого уровня) видов деятельности, соответствующих перечню, утверждённому Федеральной службой государственной статистики [Методика РП, ПР № 21, [www](http://www.fedstat.ru)].

При проведении расчётов принято допущение, согласно которому при движении высокотехнологичного товара только в одном направлении, значение обратного товарного потока принято равным 1. При этом рассматривались территории, с которыми предприятия Свердловской области осуществляют товарооборот хотя бы в одном направлении (ввоз/вывоз). В качестве коэффициента соответствия (k) рассматривалось значение доли добавленной стоимости высокотехнологичных и наукоемких отраслей в ВРП взаимодействующих со Свердловской областью субъектов Российской Федерации по данным за 2017 год. При уточнении расстояний между территориями их значения определялись от центров регионов, а в качестве информационной базы использован достоверный Интернет-ресурс [Автомобильный портал грузоперевозок, [www](http://www.garant.ru)].

К числу вывозимой из Свердловской области высокотехнологичной продукции относятся электронные компоненты, аппаратура для радио, телевидения и связи, фармацевтическая продукция, медицинские инструменты и оборудование. В структуре вывозимой среднетехнологичной продукции высокого уровня присутствуют транспортные средства, мототехника, удобрения минеральные или химические, кабели силовые, а также машины и оборудование, в том числе экскаваторы, электровозы и др. Результаты расчётов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

**Результаты оценки развития высокотехнологичной среды
Свердловской области на базе гравитационной модели**

Субъект РФ	p_i	p_j	d_{ij}	k	$\ln(M_{ij})$
Брянская область	765460	20702	2178	0,203	6,5193
Калужская область	3355922,1	14266,9	1977	0,357	8,3832
Московская область	11262357,3	500114,1	1787	0,232	12,9220
Вологодская область	196753,1	228605,2	1681	0,178	7,9492
Республика Башкортостан	2873090,3	50349,9	543	0,244	11,6928
Республика Татарстан	5072109	40186	942	0,195	10,7098
Удмуртская Республика	36338,3	95618,2	630	0,201	7,4729
Пермский край	3279560,3	218160,8	361	0,279	14,2419
Нижегородская область	2533243,8	65985,7	1328	0,308	10,2817
Оренбургская область	90065,6	16557,6	899	0,111	5,3221
Самарская область	3021374,7	777,3	993	0,248	6,3813
Саратовская область	144047,5	90062,5	1420	0,248	7,3750
Курганская область	19303	4186182	366	0,26	11,9630
Челябинская область	1471182,6	32360,4	206	0,216	12,3980
Красноярский край	1982533,5	427546	2388	0,136	9,9142
Иркутская область	952228,5	140565,4	3434	0,161	7,5107
Кемеровская область	495080,6	2300196,4	1859	0,148	10,7948
Омская область	106451	4930351,4	952	0,196	11,6396

Источник: составлено и рассчитано автором с использованием источника [Статистический бюллетень, 2018, 3-93].

Наиболее сильные связи, основанные на высокотехнологичном товарообороте, для Среднего Урала установлены с Пермским краем, Московской, Челябинской, Курганской, Омской, Кемеровской

и Нижегородской областями, республиками Башкортостан и Татарстан, Красноярским краем. Совокупность данных территорий формирует площадь высокотехнологичного товарооборота Свердловской области и определяет его среду. Таким образом, можно говорить о развитии вокруг Свердловской области высокотехнологичной среды, охватывающей основные промышленные регионы Урала, а также Приволжского и Сибирского федеральных округов, Центральный регион.

Заключение

Моделирование на базе агентного подхода позволяет имитировать внутреннюю структуру региона, учитывающую деятельность отдельных экономических субъектов, взаимодействующих между собой в условиях влияния внешней конъюнктуры. При этом имитируемая система должна учитывать параметр, характеризующий среду функционирования системы.

Развитие высокотехнологичной среды определяет площадь, охватывающая взаимосвязи высокотехнологичного товарооборота. С этой целью предложена гравитационная модель, позволяющая оценить взаимосвязи между Свердловской областью и другими регионами РФ на базе высокотехнологичного товарооборота. Данная модель основана на предположении о том, что уровень развития высокотехнологичной среды (в пространстве) по отношению к Свердловской области тем сильнее, чем больше объёмы ввозимой и вывозимой из неё высокотехнологичной продукции. При сравнительно равных объёмах товарооборота приоритетность усиления связей отдаётся регионам, расположенным в территориальной близости от Свердловской области и в экономике которых доля высокотехнологичных и наукоемких видов деятельности достаточно велика. Дальнейшие исследования в данной области будут направлены на решение задач, связанных с разработкой теоретико-методологических основ построения АОМ развития экономики региона в условиях Индустрии 4.0 и изучением связей между агентами в условиях внешней среды.

Благодарность

Статья подготовлена в соответствии с Планом НИР Лаборатории моделирования пространственного развития территорий ФГБУН Института экономики УрО РАН на 2019 год.

Список литературы

1. Автомобильный портал грузоперевозок. URL: www.avtodispatcher.ru (дата обращения: 24.09.2019).
2. Батов Г.Х. Экономическое пространство: проблемы становления в регионе // Региональная экономика: теория и практика. 2014. №42. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskoe-prostranstvo-problemy-standovleniya-v-regione> (дата обращения: 08.10.2019).
3. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Имитация особенностей репродуктивного поведения населения в агент-ориентированной модели региона // Экономика региона. 2015. № 3 (43). С. 312–322.
4. Маковеев В.Н. Применение агент-ориентированных моделей в анализе и прогнозировании социально-экономического развития территорий // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2016. № 5 (47). С. 272–289.
5. Межрегиональная торговля отдельными видами продукции организациями Свердловской области за 2017 год: статистический бюллетень. / Управление Федеральной службы государственной статистики по Свердловской области и Курганской области. Екатеринбург, 2018. 93 с.
6. Методика расчета показателей «Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом внутреннем продукте» и «Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом региональном продукте субъекта Российской Федерации»: утв. приказом Росстата от 14 января 2014 года № 21. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499076991> (дата обращения: 19.09.2019).
7. Швецов А.Н., Дианов С.В. Методика разработки агент-ориентированных моделей сложных систем // Вестник Череповецкого государственного университета. 2019. №1. С. 48–58.
8. Широв А.А., Гусев М.С., Янтовский А.А. Обоснование возможных сценариев долгосрочного развития российской экономики // ЭКО. 2012. № 6. С. 60–80.

9. Шумилов А.В. Оценивание гравитационных моделей международной торговли: обзор основных подходов // Экономический журнал ВШЭ. 2017. Т. 21. № 2. С. 224–250.

References

1. *Avtomobil'nyj portal gruzoperevozok* [Automobile portal of cargo transportation]. Available at: www.avtodispatcher.ru [Accessed 24/09/19].
2. Batov G.H. Ekonomicheskoe prostranstvo: problemy stanovleniya v regione [Economic space: problems of formation in the region]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika* [Regional Economics: theory and practice], 2014, no. 42. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskoe-prostranstvo-problemy-stanovleniya-v-regione> [Accessed 08/10/19].
3. Makarov V.L., Bahtizin A.R., Sushko E.D. Imitaciya osobennostej re-produktivnogo povedeniya naseleniya v agent-orientirovannoj modeli regiona [The population reproductive behavior Imitation features in an agent-oriented model of the region]. *Ekonomika regiona* [Regional Economy], 2015, no. 3 (43), pp. 312–322.
4. Makoveev V.N. Primenenie agent-orientirovannyh modelej v analize i prognozirovanii social'no-ekonomicheskogo razvitiya territorij [The use of agent-based models in the analysis and forecasting of the socio-economic development of territories]. *Ekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz* [Economic and social changes: facts, trends, forecast], 2016, no. 5 (47), pp. 272–289.
5. Mezhtregional'naya trgovlya ot del'nymi vidami produkcii organizacijami Sverdlovskoj oblasti za 2017 god: statisticheskij byulleten' [Interregional trade in certain types of products by organizations of the Sverdlovsk region for 2017: statistical bulletin]. *Upravlenie Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Sverdlovskoj oblasti i Kurganskoj oblasti* [Office of the Federal State Statistics Service for the Sverdlovsk Region and Kurgan Region]. Yekaterinburg, 2018, 93 p.
6. *Metodika rascheta pokazatelej "Dolya produkcii vysokotekhnologichnyh i naukoemkih otraslej v valovom vnutrennem produkte" i "Dolya produkcii vysokotekhnologichnyh i naukoemkih otraslej v valovom regional'nom produkte sub"ekta Rossijskoj Federacii"*: utv. prikazom Rosstat'a ot 14 yanvarya 2014 goda № 21. [The methodology for the indicators calculat-

- ing “The share of high-tech and high-tech industries in the gross domestic product” and “The share of high-tech and high-tech industries in the gross regional product of the Russian Federation subject”: approved by order of the Federal State Statistics Service dated January 14, 2014 No. 21.]. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/499076991> [Accessed 19/09/19].
7. Shvecov A.N., Dianov S.V. Metodika razrabotki agent-orientirovannykh modelej slozhnykh system [Methodology for the development of agent-based models of complex systems]. *Vestnik Cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Cherepovets State University], 2019, no. 1, pp. 48–58.
 8. Shirov A.A., Gusev M.S., Yantovskij A.A. Obosnovanie vozmozhnykh scenariyev dolgosrochnogo razvitiya rossijskoj ekonomiki [Justification of possible scenarios for the Russian economy long-term development]. *EKO* [ECO], 2012, no. 6, pp. 60–80.
 9. Shumilov A.V. Ocenivanie gravitacionnykh modelej mezhdunarodnoj torgovli: obzor osnovnykh podhodov [The gravity models evaluation of international trade: a review of the main approaches]. *Ekonomicheskij zhurnal VShE* [Economic Journal of the HSE], 2017, Vol. 21, no. 2, pp. 224–250.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Сиротин Дмитрий Владимирович, кандидат экономических наук, научный сотрудник Лаборатории моделирования пространственного развития территорий
Институт Экономики УрО РАН
ул. Московская, 29, г. Екатеринбург, 620014, Российская Федерация
sirovind.umk@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Sirotin Dmitriy Vladimirovich, PhD in Economy, Research Associate
Institute of Economics of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences
29, Moskovskaya St., Ekaterinburg, 620014, Russian Federation
sirovind.umk@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3794-3956