УДК 332.133

Киселева Н.Н.[1]
Киселев В.В.[2]
Бавина К.В.[3]

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ И ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНЫХ СИЛ АГЛОМЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Аннотация. В статье проведен феноменологический анализ взаимодействия центробежных и центростремительных сил агломерационного процесса. Описана возможность применения математических моделей, пригодных для выполнения анализа агломерационного процесса, оценки результирующей взаимодействия основных его сил. Обоснован вывод том, что для нахождения устойчивых предельных циклов не существует общих аналитических методов решения и выявления механизмов, ответственных за возникновение автоколебаний.

Ключевые слова: агломерационный процесс, центробежные силы, центростремительные силы, автоколебания

Kiseleva N.N.
Kiselev V.V.
Bavina K.V.

PHENOMENOLOGICAL ANALYSIS OF INTERACTION OF CENTRIFUGAL AND CENTRIPETAL FORCES OF AGGLOMERATIVE PROCESS

Abstract. The paper deals with the phenomenological analysis of interaction of centrifugal and centripetal forces of agglomeration process. The authors describe the possibility of applying mathematical models suitable for performing the analysis of the agglomeration process, estimating the resultant interaction of its main forces. The conclusion is justified that for finding stable limit cycles there are no general analytical methods for solving it and revealing the mechanisms responsible for the occurrence of auto-oscillations.

Keywords: agglomeration process, centrifugal forces, centripetal forces, auto-oscillations

В настоящее время хрестоматийными признаны три научных направления, в рамках которых строились модельные представления, и достигалось теоретическое понимание природы агломерационного процесса. Эти исследования по объектам, времени и территориям сильно различаются и являются составными частями неоклассической теории (Ricardo, Heckscher, Ohlin, 1933; Balassa, 1964, 1985; Samuelson, 1948, 1964; Jones, 1971), новой теории торговли (Krugman, 1980; Helpman&Krugman, 1985; Grubel&Lloyd, 1975; Brülhart&Torstensson, 1998; Melitz, 2003) и новой экономической географии (Krugman, 1991, 1992, 1993, 1994; Venables, 1996; Krugman&Venables, 1996; Puga, 1999; Head&Mayer, 2004; Fujita&Thisse, 2002; Fujita, 2007; Растворцева, 2013).

[1] *Киселева Наталья Николаевна*, доктор экономических наук, профессор, заместитель директора Северо-кавказского института-филиала РАНХиГС, г. Пятигорск
Natalia Kiseleva, Doctor of Economics, Professor, Deputy Director of the North Caucasus institute-branch of RANEPA, Pyatigorsk
[2] *Киселев Виктор Васильевич*, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры экономики и антимонопольного регулирования, Северо-Кавказский институт-филиал РАНХиГС, г. Пятигорск
Viktor Kiselev, Doctor of Biological Science, Professor, Department of Economics and Antimonopoly Regulation, North Caucasus institute-branch of RANEPA, Pyatigorsk
[3] *Бавина Кристина Викторовна*, аспирант, Северо-Кавказский институт-филиал РАНХиГС, г. Пятигорск
Kristina Bavina, Postgraduate Student, North Caucasus institute-branch of RANEPA, Pyatigorsk

Из неоклассической теории следует, что концентрация экономической активности в регионах коррелирует с факторами производства, запасами соответствующих природных ресурсов и уровнем использования современных технологий. Новая теория торговли зарождение и развитие феномена агломерации объясняет размером рынка, характеристиками немобильных трудовых ресурсов и расстоянием между экономическими агентами. В терминах новой экономической географии городская агломерация является результирующим эффектом центробежных и центростремительных агломерационных сил, которые возникают между производителями.

Центростремительные силы агломерационного процесса проявляются через факторы прямого воздействия, а именно, транспортные издержки, миграцию рабочей силы и возрастающую отдачу от масштаба. Остальные центростремительные силы проявляются через косвенные факторы и влияют на агломерационные процессы лишь через силы прямого воздействия. Центростремительные силы обеспечивают концентрацию экономической активности населения.

К центробежным силам относят значительное повышение стоимости жизни в регионе, стоимости ведения бизнеса и негативные стороны «перенасыщенности» региона: повышенную нагрузку на окружающую среду, высокую плотность автомобильного движения, отставание предложения социальных услуг от быстрорастущего спроса на них и т.д. Центробежные силы приводят к снижению концентрации экономической активности.

Агломерационный процесс – это синергическая составляющая центробежных и центростремительных сил, которые порождаются экономическими отношениями между производителями. Этот теоретический постулат достаточно обоснован (Бозе, 2007; Губанова, Селякова, 2009; Горяченко, Мосиенко, Демчук, 2011; Растворцева, 2013; Папело, Ковтун, Голошевская, 2014), однако, его практическое использование для получения количественных оценок весьма спорно и маловероятно. Эта проблема частично могла бы быть решена с помощью построения хотя бы простейших математических моделей, пригодных для выполнения анализа агломерационного процесса, оценки результирующей взаимодействия основных его сил.

Соотношение центробежных и центростремительных сил определяет характер равновесия на урбанизированной территории. Оно может быть устойчивым или неустойчивым. Если равновесие является неустойчивым, то происходит или концентрация экономической активности до максимально возможных значений в пределах некоторой территории, либо ее катастрофическое снижение. Характер устойчивого равновесия зависит от типа особых (критических) точек. В частности, могут наблюдаться автоколебания, затухающие колебания, монотонное достижение стабильного равновесия сверху или снизу, предельные циклы различной длины.

С математической точки зрения подобные задачи относятся к теории катастроф (Thom, 1972), крайне сложные для решения (Чиллингоурт, 1979). Тем не менее, эта теория нашла широкое применение к исследованию устойчивости структур самой различной природы и самых разнообразных типов (Жаботинский, 1974; Молчанов, 1975; Вольтерра, 1976, Свирежев, 1987, Гаузе, Витт, 1934, Гильдерман, 1976; Популяционная динамика…, 2007).

Обзор научных публикаций, посвященных вопросам формирования агломераций, показал наличие двух стратегий применения математического аппарата в этих целях.

Одна из них в основу полагает анализ факторов производства (трудовых ресурсов, занятого и постоянно проживающего населения, объектов инфраструктуры, объемов конечных товаров и услуг, инвестиций, технологий, инноваций и т.д.), сложившегося административно-территориального деления и административно-управленческой структуры; наличие и значимость причинно-следственных, пространственно-временных, информационно-коммуникационных функциональных и структурных связей различных подсистем городской агломерации; учет целостности рынков (недвижимости, земли, труда) и специализацию региона и т.п. Методологической основой такой стратегии является системный анализ и представление о городской агломерации как сложной, единой социально-эконо-

мической, инвестиционной системе в составе некоторого природно-территориального комплекса с общим инженерным обслуживанием и единой коммуникационной системой. В математическом смысле исследование городской агломерации в рамках первой стратегии заканчивается построением имитационных (и) или эконометрических моделей (Франгуриди, Шапавал, 2011; Фаттахов, 2011; Косинский и др., 2013; Павлов, 2013).

Такие модели позволяют изучить влияние разнообразного спектра компонентов центростремительных и центробежных сил, различных факторов, условий, связей и других причин, обусловливающих агломерационный процесс. На таких математических моделях можно выполнять сценарный анализ формирования агломераций в различных условиях, их оценку с точки зрения робастности и эмерджентности и др.

Например, модельный анализ агломерационного процесса в работах (Pugaand Venables, 1969, 1997) позволил объяснить феномен «летящие гуси» и эффект «разлета» отраслей промышленности от одного региона к другому (Растворцева, 2013). Учет нелинейности в развитии агломерации позволил глубже понять механизм индустриализации и сделать вывод о том, что концентрация промышленного производства происходит в связи с изменением местоположения производственных объединений и фирм. С помощью модели было установлено, что разделение регионов по уровню промышленного развития неизбежно и не зависит от начальных условий.

Изучение городской агломерации в рамках первой стратегии позволяет достаточно скрупулезно учесть воздействие большого числа разнообразных агломерационных сил и включить их в различные сценарии взаимодействия. Недостатком ее является невозможность получения аналитических результатов, характеризующих фундаментальные свойства агломерационного процесса.

Вторая стратегия применения математики при изучении агломерационного процесса основана на использовании метода фазовых портретов. Чисто феноменологическое описание городской агломерации как системы может быть выполнено с помощью фазового пространства (x_i), динамического пространства (x_i, t), пространства параметров (a_k) и некоторой математической модели

$$F(x_1, x_2, ..., x_n; \dot{x}_1, \dot{x}_2, ..., \dot{x}_n; a_1, a_2, ..., a_m) = 0.$$

Важнейшим и наиболее ответственным этапом при такой стратегии является обоснованным выбор основных фазовых переменны, так как эти переменны, в конечном итоге, через модель представляют и характеризуют закономерности агломерационного процесса, именно они лежат в основе выводов.

На языке системного анализа городская агломерация включает в себя многочисленный ряд переменных с разными характерными временами, т.е. с существенно различными масштабами времени. Такие системы при их исследовании обычно неформальным путем разбиваются на подсистемы, содержащие не более трех масштабов времени, с которыми связывают быстрые, основные и резервуарные переменны (в терминах теоремы Корзухина; Жаботинский, 1974). Теорема Корзухина показывает, что системы, содержащие три существенно различных масштаба времени, обладают достаточно сложным поведением, являются автоколебательными и могут синхронизироваться внешними силами (в нашем случае центробежными и центростремительными).

Городская агломерация – это очень сложная эколого-социально-экономическая система, в которой основные процессы генерируются поведением населения, нацеленного на повышения уровня своего благосостояния. Поэтому при исследовании концентрации экономической активности бесспорно в качестве основной существенной переменной выступает численность населения.

Для городской агломерации быстрые переменные, очевидно, связаны с информационными и цифровыми технологиями, банковскими, юридическими, медицинскими, образовательными, туристскими, культурологическими, спортивными услугами, инвестициями. Резервуарные переменные сопряжены со строительством объектов инфраструктуры, административно-территориальным делением, специализацией, природно-климатическими характеристиками, нормативной правовой базой.

Наиболее популярным фазовым пространством, в котором рассматриваются фазовые портреты в случае, когда в качестве основной переменной выступают численность (концентрация) населения, является плоскость «численность населения x – показатель скорости изменения численности населения y».

Имеются яркие работы, демонстрирующие плодотворность применения феноменологического анализа в научных исследованиях в самых различных областях знаний (Исаев, Хлебопрос, 1973, 1977; Жаботинский, 1974, Вольтерра, 1976, Свирежев, 1987; Колмогоров, 1972; Молчанов, 1975).

Математический аппарат качественных исследований динамических систем также подробно описан в соответствующей литературе (Арнольд, 1978; Баутин, Леонтович. 1976; Якобсон, 1976; Колмогоров, 1972).

Элементы феноменологического анализа были использованы при разработке методики оценки напряжения между центробежными и центростремительными силами агломерационного процесса (Растворцева, 2013).

Конечно, отождествление реальных процессов – центробежных и центростремительных сил агломерационного процесса – с переменными и параметрами феноменологической модели, объясняющей пространственно-временную динамику основной фазовой переменной, равновесие системы, появление предельных циклов, стационарных и затухающих автоколебаний даже путем простого моделирования является все-таки сложной задачей.

При фиксированных значениях параметров, т.е. для конкретной точки параметрического пространства поведение системы зависит от начальных условий. Общее качественное поведение системы во всем динамическом пространстве проявляется при $t\to\infty$, когда ее асимптотические характеристики не зависят от начальных условий. Наиболее важными для нас решениями являются стационарные точки и предельные циклы. Вид фазовых портретов зависит от параметров и функциональной зависимости одной фазовой переменной от другой. Различаются грубые системы – устойчивые по отношению к малым изменениям параметров и негрубые, которые являются границами между различными типами грубых систем. Особые точки, являющиеся решениями уравнения $y(x)=1$, могут быть устойчивым узлом, седлом, устойчивым фокусом или еще какой-либо сложной особой точкой.

В ряде случаев фазовые траектории, окружающие особую точку – центр, являются замкнутыми и тогда в системе появляются предельные циклы. Устойчивые предельные циклы являются математическими образами автоколебаний. Нахождение их – одна из основных задач при исследовании поведения систем. Однако следует сказать, что не существует общих аналитических методов для ее решения и выявления механизмов, ответственных за возникновение автоколебаний. Уверенно можно лишь утверждать, что если при $t\to\infty$ основная фазовая переменная $x\to\infty$, то в модель включены не все существенные связи или даже переменные, что модель является неполной и обладает небольшой предсказательной силой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fujita M. and J.-F. Thisse. Economics of Agglomeration: Cities, Industrial Location, and Regional Growth, 1st edition. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2002. pp. 388–432.
2. Krugman P. Scale economies, product differentiation, and the pattern of trade. Am. Econ. Rev. 70. 1980. pp. 950–959.
3. Fujita M. The Development of Regional Integration in East Asia: from the Viewpoint of Spatial Economics // Review of Urban & Regional Development Studies. Volume 19, Issue 1, March 2007. pp. 2–20.
4. Арнольд В.И. Дополнительные главы теории обыкновенных дифференциальных уравнений. Уч. пособие для студентов физико-математических специальностей высших учебных заведений. М.: Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, 1978.
5. Растворцева С.Н. Управление развитием процессов концентрации экономической активности в регионе: подходы новой экономической географии. М.: Экон-информ, 2013. С. 132.

6. Косинский П.Д., Медведев А.В., Победаш П.Н. Математическое моделирование агломерации муниципальных образований // Фундаментальные исследования. Экономические науки. 2013. № 8. С. 1446–1449.
7. Павлов Ю.В. Фракталы как инструмент территориального планирования агломерационных систем // Фундаментальные исследования. Экономические науки. 2013. № 10. С. 2242–2248.
8. Бозе А. Городская агломерация: старое название – новое содержание // Российское экспертное обозрение. 2007. № 4-5 (22). С. 13–16.
9. Губанова Е.С., Селякова С.А. Вопросы развития городской агломерации // Экономические проблемы и перспективы развития. 2009. № 2. С. 30–40.
10. Горяченко Е.Е., Мосиенко Н.Л., Демчук Н.В. Городские агломерации Сибири: предпосылки формирования и барьеры развития // Регион: экономика и социология. 2011. № 3. С. 94–112.
11. Папело В.Н., Ковтун Б.А., Голошевская А.Н. Городская агломерация как фактор опережающего развития региона // Матер. Всерос. научно-практич. конф.: Инновации в государственном и муниципальном управлении: опыт решения социальных и экономических проблем. Томск: Томский государственный университет, 2014. С. 178–185.
12. Thom R. “Stabilité Structurelleet Morphoge’ne’se” Benjamin, London, 1972.
13. Чиллингуорт Д. Структурная устойчивость математических моделей. Значение методов теории катастроф / В кн. Математическое моделирование. М.: Мир, 1979. С. 248–276.
14. Жаботинский А.М. Концентрационные автоколебания. М.: Наука, 1974. 179 с.
15. Молчанов А.М. Критические точки биологических систем. М., 1975. С. 142 -153.
16. Свирежев Ю.М. Нелинейные волны, диссипативнные структуры и катастрофы в экологии. М: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1987. 368 с.
17. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М: Наука, 1976. 228 с.
18. Гаузе Г.Ф., Витт А.А. О периодических колебаниях численности популяции: математическая теория релаксационного взаимодействия между хищниками и жертвами и ее применение к популяциям двух простейших // Изв. АН СССР, Отд. мед., мат. и естеств. наук, 1934. № 10. С. 1555–1559.
19. Гильдерман Ю.И. Дифференциальные уравнения динамики биологических сообществ // Aplikacematematiky. 1976. Т. 21. № 3. С. 185–212.
20. Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г., Недорезов Л.В., Кондаков Ю.П., Киселев В.В., Суховольский В.Г. Популяционная динамика лесных насекомых. М.: Наука, 2001. 374 с.
21. Франгуриди Г.К., Шаповал А.Б. Математическая модель возникновения агломерации в условиях уменьшения транспортных расходов [Электронный ресурс] // Финансовый университет при Правительстве РФ. 2011. URL: http://www.mce.su/archive/doc98036/doc.pdf
22. Фаттахов М.Р. Города в пространственно-организованной экономике и моделирование их устойчивого развития. – М.: Экономика, 2011. С. 159–191.
23. Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г. Принцип стабильности в динамике численности лесных насекомых // Доклады АН СССР, 1973. Т. 208. № 1. С. 225–228.
24. Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г. Эффекты запаздывания в регуляции численности лесных насекомых // Доклады АН СССР, 1977. Т. 232. № 6. С. 1448–1451.
25. Баутин Н.Н., Леонтович Е.А. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости. М.: Наука, 1976. 496 с.
26. Колмогоров А.Н. Качественное изучение математических моделей динамики популяций // Проблемы кибернетики, 1972. Вып. 25. С. 100–106.
27. Селяева Ю.С. Формирование городских агломерации как инструмент динамичного социально-экономического развития территорий // Инженерный вестник Дона, 2012. Т. 21. № 3. С. 765–769.
28. Чугунова Н.В. Белгородская агломерация в региональной системе расселения // Управление городом: теория и практика. 2014. № 1 (12). С. 30–36.
29. Колодин А.В., Никифоров В.М. Проблемы становления рекреационно-туристического потенциала Волжской моноцентрической агломерации // Проблемы экономики, финансов и управления производством. Сб. науч. трудов вузов России. 2010. С. 118–123.