

УДК [004.9+543.42]:332.012.2

**СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ В ИССЛЕДОВАНИЯХ СЛОЖНЫХ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ****Ковальчук Л.Б.***Читинский институт Байкальского государственного университета, Чита,
e-mail: kovalchuklb@mail.ru*

Обосновывается возможность использования метода спектрального анализа в исследованиях социально-экономических систем. Выдвигается предположение о том, что спектральный анализ позволяет получить представление о взаимодействии и взаимозависимости отдельных элементов социально-экономической системы. Аналитическая оценка возможностей спектрального анализа для выявления трансформаций социально-экономической системы и выработки стратегий управлений трансформациями. Исследование социально-экономической системы проводится с позиций процессного подхода, который ориентирован на результат. При этом выделение отдельных процессов и групп основывается на положениях гомеостатики, которая рассматривает развитие системы как результат взаимодействия противоположных по характеру и целям элементов системы. Процессы, которые в настоящем исследовании рассматриваются в качестве структурных компонентов системы, могут, с позиции автора, формировать блага, необходимые для нормальной жизнедеятельности населения, и барьеры, мешающие росту благосостояния населения и развитию социально-экономической системы. Взаимодействие процессов, имеющих противоположный характер, основано на перераспределении ресурсов входа между отдельными процессами. Спектральный анализ, основанный на дискретном преобразовании Фурье, позволяет выявить циклические компоненты во взаимодействии процессов, протекающих в социально-экономической системе, оценить их значимость для устойчивого развития системы в контексте сохранения складывающихся трендов. Возможность использования спектрального анализа в исследованиях социально-экономических систем показана на статистических данных о результативности экономических процессов, протекающих в Забайкальском крае. Применение спектрального анализа позволило выявить в структуре экономической системы Забайкальского края группы взаимосвязанных процессов, формирующих негативные тренды. Частотные характеристики данных процессов позволили сделать вывод о наличии в региональной системе признаков дегенеративных трансформаций.

Ключевые слова: социально-экономические системы, спектр, гармоника, амплитуда, фаза, акquisитивный процесс, диссипативный процесс

SPECTRAL ANALYSIS IN STUDIES OF COMPLEX SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS**Kovalchuk L.B.***Chita Institute of Baikal State University, Chita, e-mail: kovalchuklb@mail.ru*

The article justifies the possibility to use spectral analysis in studies of socio-economic systems. It is suggested that spectral analysis is the method that provides information about interactions and interdependence of structural elements of the socio-economic system. Analytical assessment of the possibilities of spectral analysis to identify the transformations of the socio-economic system and to make up adequate strategies to cope with these transformations. The study of the socio-economic system is carried out on the basis of the process approach that focuses on results. In this case, the selection of individual processes and their groups is based on homeostatics, which considers the development of the system as the result of the interaction of elements of the system that are opposite in their character and objectives. The processes that in this study are considered as structural elements of the system, from the author's point of view can form some benefits necessary for the normal functioning of the population, and at the same time may create certain barriers hurting well-being of the population and the development of the socio-economic system. The interactions of the processes of the opposite character are based on the redistribution of input resources. Spectral analysis based on the discrete Fourier transform allowed us to find out some cyclical components in the interaction of processes occurring in the socio-economic system, to evaluate their significance for the stable development of the system in the context of preserving the existing trends. The possibility of using spectral analysis in studies of socio-economic system is shown on the statistical data of economic processes occurring in Trans-Baikal region. The use of spectral analysis made it possible to identify a group of interrelated processes that form negative trends in the development of the economic system of Trans-Baikal region. The frequency characteristics of these processes led to the conclusion that there were signs of negative transformations in the regional system.

Keywords: socio-economic systems, spectrum, harmonic, amplitude, phase, acquisition process, dissipative process

Множество подходов к исследованию социально-экономических систем, таких как федеральный округ, регион, муниципальное образование, доказывает сложность и нерешенность проблемы оценки их состояния и определения перспектив развития. Ключевым аспектом проблемы исследования социально-экономических систем (СЭС) является выбор адекватного метода. В практической сфере наиболее

распространёнными методами исследования являются методы статистического, сравнительного, корреляционного анализа [1]. При этом, рассматривая СЭС как динамическую систему, оценки, как правило, строятся на исследовании отдельных количественных характеристик динамических рядов, таких как средний уровень развития, темпы роста, прирост и т.п. [2]. Совершенно очевидно, что сложный многоаспектный

организм СЭС не поддаётся аналитической оценке, основанной на формальных подходах, и требует более сложных комплексных процедур [3].

Цель исследования: оценить возможность использования спектрального анализа в исследованиях структуры и динамического состояния социально-экономических структур, обосновать использование результатов, полученных методом спектрального анализа, при разработке стратегий развития социально-экономических систем.

Материалы и методы исследования

Важным моментом, определяющим выбор метода исследования СЭС, является представление исследователя о её внутренней структуре и составе образующих СЭС элементов [4]. Разделяя научную идеологию гомеостатики, представим СЭС как совокупность аквизитивных и диссипативных процессов, общим результатом которых является развитие или деградация СЭС [5]. Возможность выделения в структуре СЭС аквизитивных и диссипативных процессов связана с тем, что в процессе функционирования СЭС происходит, с одной стороны, удовлетворение потребностей населения в форме создания определённых благ, с другой, создание препятствий для удовлетворения потребностей в форме вреда и негативных последствий для системы. Процессы, результатами которых являются блага, названы нами аквизитивными процессами. Процессы, наносящие СЭС вред, названы диссипативными. Оценка состояния СЭС при процессном подходе осуществляется по показателям результативности аквизитивных и диссипативных процессов, образующих совокупную результативность системы. Важно отметить при этом, что аквизитивные и диссипативные процессы связаны общими входами и выходами. Одна часть ресурсов СЭС, поступающая в процессор аквизитивных процессов, трансформируется в блага, а другая часть рассеивается через процессор диссипативных процессов и приносит системе вред или ущерб. Каждому аквизитивному процессу соответствует, как минимум один диссипативный процесс, таким образом, вред можно рассматривать как побочный эффект аквизитивных процессов. Активность процессов, как аквизитивных, так и диссипативных, отражается в динамике их результативности. Активность процессов обуславливает перераспределение ресурсов между аквизитивными диссипативными процессами. Перераспределение ресурсов вызывает усиление одних и ослабление других процессов, обуславливая, таким образом, формирование позитивных или негативных трендов. В этой связи представляется чрезвычайно важным, с точки зрения эффективного управления СЭС, исследовать динамику результативности аквизитивных и диссипативных процессов [6].

В целях оценки динамики процессов, протекающих в СЭС, с нашей точки зрения, весьма эффективно может использоваться спектральный анализ. Спектральный анализ доказал свою эффективность в исследованиях состава и структуры материальных объектов, основанных на изучении спектров электромагнитного излучения, акустических волн и других видов спектров, характеризующих взаимодействие материи с излучением [7]. Преимуществом спек-

трального анализа является его высокая достоверность, информативность, возможность автоматизации. Преимущества и возможности спектрального анализа обуславливают его привлекательность в исследованиях СЭС. В настоящий момент наиболее известные научные разработки по использованию спектрального анализа в экономике относятся к середине прошлого века и являются результатом работы исследовательской группы Принстонского университета в составе К. Гренджера, М. Хатанако, Венцель [8]. В представленных работах была предпринята попытка обосновать возможность применения спектрального анализа к рыночным временным рядам.

Проблема использования спектрального анализа в исследованиях СЭС в данный момент находится в стадии проработки. Существенный вклад в решение данной проблемы внёс Н.Б. Кобелев, специализирующийся на использовании динамических моделей социально-экономических систем с применением спектрального анализа [9]. Исследованием циклов развития СЭС на примере сельского хозяйства успешно занимается группа исследователей: В.С. Важенина, Е.А. Пахомова, Д.А. Писарева [10]. Выявление ими цикличности в развитии сельского хозяйства основано на использовании расширенного алгоритма анализа временных рядов для выделения наиболее значимых гармоник и разработки специального алгоритма в программном пакете Wolfram Mathematica 10.

Практические аспекты использования спектрального анализа, включающие выделение циклических компонент, прогнозирование нестационарных временных рядов, освещаются в работах В.А. Губанова [11].

Следует отметить, что наиболее популярным направлением разработок приложений в области спектрального анализа в настоящий момент является прогнозирование экономических и конъюнктурных циклов [12].

Используя аналогию с быстро изменяемыми процессами в физике или химии, считаем, что методы спектрального анализа можно использовать в исследованиях СЭС для выявления циклических компонент, определения трендов, оценки их устойчивости.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования динамики результативности аквизитивных и диссипативных процессов, протекающих в региональных СЭС Забайкальского края, Иркутской области, Республики Бурятия, проводились на основе принятых статистических показателей, характеризующих различные виды экономической деятельности в период с 2002 по 2017 г., приведённых, в целях достижения сопоставимости разноразмерных данных, к единой балльной шкале оценок от 1 до 10. На выбранном горизонте исследования (16 лет) анализировалась динамика изменения статистических показателей, характеризующих результативность видов деятельности, представленных в указанных СЭС. В частности, изучалась динамика изменения таких показателей, как объёмы добычи полезных ископаемых, производства электроэнергии, продукции обрабатываю-

щих отраслей, объёмы оптовой и розничной торговли и других показателей, характеризующих присутствующие в СЭС экономические процессы. Анализ показывает наличие заметных флуктуаций, формируемых пиками и спадами результативности. При этом анализ динамики временных рядов не позволяет судить о природе флуктуаций и факторах, которые её обуславливают. При этом логично предположить, что результативность процессов, протекающих в СЭС, во многом зависит от факторов внутренней среды, включающих качество и количество ресурсов входа, технологий их переработки, а также разнообразия внешних факторов (социально-экономической, политико-правовой, социально-культурной среды).

Особенностью процессов, протекающих в СЭС, является то, что за каждым из них стоит «владелец», организующий поступление ресурсов в процессор и обеспечивающий использование необходимых технологий их переработки, и «клиент», который, являясь «заказчиком» процесса, определяет его специфику. При этом, как показывают исследования, результативность процессов постоянно изменяется. С течением времени изменения результативности процессов во всех сферах СЭС накапливаются и вызывают прогресс или регресс системы на определённом этапе её развития. Чередуя периоды прогрессивного развития с периодами спада принято считать циклами. В целях определения направлений развития СЭС представляется важным установить причины и факторы проявления цикличности в динамике результативности процессов.

Возможности более глубокого анализа результативности процессов открывает спектральный анализ, основу которого составляет математический инструмент теории Фурье [13]. Преобразование Фурье позволяет представить исходную непериодическую функцию результативности любого регионального процесса произвольной формы в виде совокупности синусоид (или косинусид). При этом каждую синусоиду или синусоидальную волну можно описывать отдельно друг от друга, характеризуя её амплитуду, частоту, фазу. В контексте настоящего исследования результативность процессов, представленная сложной функцией, которую невозможно описать аналитически, в результате преобразования Фурье раскладывается на совокупность более простых функций, называемых гармониками [14]. Таким образом, результативность любого процесса, протекающего в СЭС в определённый временной период, может быть представлена её эквивалентом в частотной области.

Совокупность синусоидальных волн, характеризующих частотные компоненты результативности процессов, будем считать спектром результативности. Вычисление частотного спектра результативности региональных процессов на основе преобразования Фурье можно осуществить на основе уравнения, имеющего следующий вид:

$$X(m) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \left[\cos\left(\frac{2\pi km}{N}\right) + i \sin\left(2\frac{2\pi km}{N}\right) \right],$$

где $X(m)$ – m -й компонент ДПФ;
 $x(k)$ – k -й компонент входной последовательности временного ряда;
 m – индекс ДПФ в частотной области;
 N – длина входной последовательности;
 k – индекс компонента входной последовательности;

i – мнимая единица, равная $\sqrt{-1}$.

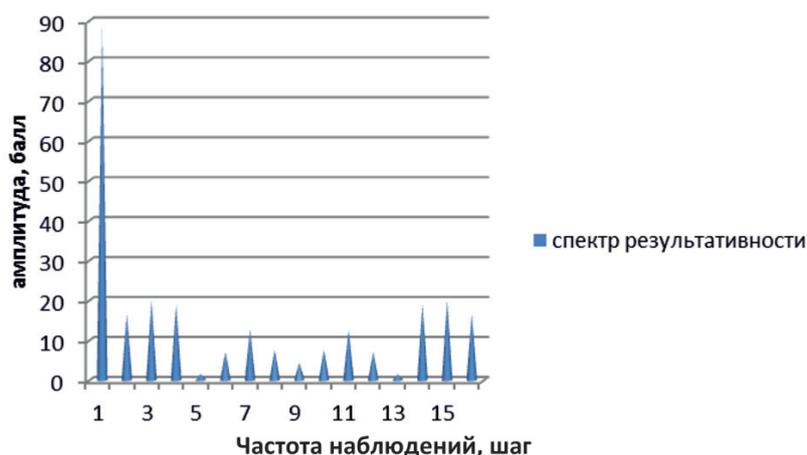
Результатом преобразования Фурье является совокупность комплексных чисел.

Используя представленную формулу, преобразуем временной ряд показателей результативности аквизитивного процесса «Производство товаров обрабатывающих отраслей промышленности в Забайкальском крае» в виде спектра результативности (таблица).

Спектр результативности аквизитивного процесса «Производство товаров обрабатывающей промышленности в Забайкальском крае»

Частота наблюдений, шаг	Результативность, балл	Амплитудно-частотный спектр, балл
1	5,1	88
2	10	16
3	9,7	19
4	8,6	18
5	4,8	1
6	0	7
7	6,2	12
8	5,7	7
9	7,9	4
10	9	7
11	0	12
12	1,1	7
13	2,4	1
14	4	18
15	5,8	19
16	7,8	16

Визуализация спектра результативности представлена на рисунке. На горизонтальной оси представлена частота наблюдений с шагом 1/16. На вертикальной оси отражается амплитуда изменений спектральных волн.



Спектр результативности процесса «Производство товаров обрабатывающих отраслей промышленности Забайкальского края»

Оценка спектра представленного процесса демонстрирует наличие четырёх основных гармоник в его результативности. Продолжительность каждой фазы составляет 4 года. Наибольшей амплитудой отличается первая гармоника. Данная гармоника является существенной с точки зрения начала процесса и может рассматриваться в качестве некоторого «переходного режима», который следует за внешним воздействием и после которого устанавливается свойственное данному процессу функционирование. Из таких соображений полагаем возможным сделать вывод о влиянии внешних факторов, которые следует элиминировать в оценке тенденций изменения результативности исследуемого процесса.

В целом амплитуда составляющих гармоник представленного спектра является относительно плавной, что, на наш взгляд, позволяет сделать вывод об устойчивом характере изменения результативности. Амплитуда составляющих гармоник подтверждает оценку результативности процесса, достигающую среднего уровня, полученную с помощью метода нечеткого логического вывода. Фазовые изменения, по нашему мнению, демонстрируют наличие ограничений, связанных с количеством и качеством входных ресурсов. Таким образом, спектральный анализ результативности процесса «Производство товаров обрабатывающих отраслей промышленности Забайкальского края» позволяет сделать вывод не только о циклическом характере данного процесса, но и об отсутствии признаков трансформации в направлении его развития, об устойчиво сохраняющемся среднем уровне результативности процесса. При этом выявленная устойчивость сви-

детельствует о перманентном влиянии на результативность факторов внутренней среды, к числу которых, по нашему мнению, следует отнести в первую очередь количество и качество входных ресурсов и технологии их переработки, которые обуславливают возможность диссипации ресурсов входа. Оценка изменений результативности процессов может оказаться неполной без анализа его взаимосвязей с другими процессами, обуславливающими диссипацию входных ресурсов. В целях обнаружения таких взаимосвязей необходимо осуществить анализ кросс-спектра двух процессов. При этом вычисление кросс-спектра позволяет установить не только рассеивание ресурсов (через процессор диссипативных процессов), но и их перераспределение между аквизитивными процессами разных отраслей, сфер, регионов. Решение поставленной задачи возможно на основе когерентного анализа, которым может быть дополнен спектральный анализ результативности социально-экономических процессов.

В целом, в целях исследования результативности процессов, протекающих в СЭС, предлагаем использовать следующий алгоритм:

1. Формирование динамических рядов статистических показателей результативности социально-экономических процессов.
2. Приведение статистических данных в сопоставимый вид методом линейного нормирования.
3. Преобразование временного ряда в сумму гармонических функций, представленных комплексными числами.
4. Вычисление амплитудного спектра.
5. Визуализация полученных данных на графике спектрограммы.

Выводы

Применение спектрального анализа в исследованиях процессов сложных социально-экономических систем представляется актуальным методом исследования в связи с развитием системного анализа, методологии исследования сложных систем, появлением современных технических разработок инструментальных средств исследования сложных систем. Использование методов, в основе которых заложен математический базис, позволяет не только значительно повысить достоверность и надёжность результатов исследования, но и, опираясь на предложенный алгоритм, осуществить эксперимент в целях проверки результатов анализа и разработки прогноза циклических изменений результативности. При этом спектральный анализ может быть дополнен анализом когерентности процессов, позволяющим определить характер взаимосвязей и взаимозависимостей между элементами СЭС. Исследования показывают, что такие взаимосвязи могут существенно ослабить или увеличить результативность процессов, притекающих в социально-экономической системе, обеспечив её движение в направлении прогресса или регресса. Представление о характере и направлениях взаимосвязей между процессами, протекающими в социально-экономической системе, полученные на основе методов спектрального анализа, позволяют формировать стратегии её развития и моделировать сценарии трансформации региональных процессов.

Апробация предложенного алгоритма осуществлялась на данных о результативности процессов, протекающих в региональных системах Байкальского региона.

Список литературы

1. Аббакумов В.Л. Бизнес-анализ информации. М.: Экономика, 2009. 374 с.
2. Сизова Т.М. Статистика: учебное пособие. СПб.: СПб НИУ ИТМО, 2013. 176 с.
3. Блауберг И.В., Садовский В.Н., Юдин Э.Г. Проблемы методологии системного анализа. М.: Наука, 1970. 456 с.
4. Зарнадзе А.А. О взаимосвязи ноосферной идеологии и гомеостатических методов управления // Управленческие науки. 2016. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vzaimosvyazi-noosfernoy-ideologii-i-gomeostaticheskikh-metodov-upravleniya> (дата обращения: 16.11.2018).
5. Ковальчук Л.Б. Типологизация региональных процессов // Известия ИГЭА. 2011. № 3 (77). С. 90–92.
6. Ковальчук Л.Б. Процессная модель региональной социально-экономической системы. Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2014. 148 с.
7. Любомудров А.А. Метод спектрального анализа // Вестник РУДН. Серия: Математика, информатика, физика. 2010. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-spektralnogo-analiza> (дата обращения: 16.11.2018).
8. Granger C.W. J. Spectral analysis of economic time series. Princeton: Princeton University Press, 1964. P. 203–219.
9. Таранова И.В. Особенности применения экономико-математических и эконометрических методов в экономических исследованиях // УЭК. 2011. № 36 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-ekonomiko-matematicheskikh-i-ekonomicheskikh-metodov-v-ekonomicheskikh-issledovaniyah-1> (дата обращения: 16.11.2018).
10. Важенина В.С., Пахомова Е.А., Писарева Д.А. Применение гармонического и спектрального анализа для выявления основных циклов развития социально-экономической системы (на примере сельского хозяйства) Национальные интересы: приоритеты и безопасность // Финансы и кредит. 2016. Т. 12. № 11. С. 4–14.
11. Губанов В.А. Оценка и прогноз конъюнктурных циклов в трендах экономических временных рядов // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2006. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-i-prognoz-konyunktturnykh-tsiklov-v-trendah-ekonomicheskikh-vremennyh-ryadov> (дата обращения: 01.10.2018).
12. Ситникова А.Ю. Метод спектрального анализа для выявления циклов экономической конъюнктуры // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2009. № 9 (59). С. 107–112.
13. Кривошеев В.И., Лупов С.Ю. О некоторых возможностях и проблемах современного цифрового спектрального анализа // Вестник ННГУ. 2011. № 5–3 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-nekotorykh-vozmozhnostyakh-i-problemah-sovremennogo-tsifrovogo-spektralnogo-analiza> (дата обращения: 16.11.2018).
14. Лещенко Е.Е. Применение анализа временных рядов в стратегии инвестора и торговой системе трейдера // Финансы и кредит. 2008. № 27 (315) [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-analiza-vremennyh-ryadov-v-strategii-investora-i-torgovoy-sistemy-treydera> (дата обращения: 16.11.2018).