УДК 519.876.5+004.31
ББК 22.182+32.813
А 22

Кумратова А.М.
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия, kumratova.a@edu.kubsau.ru
Василенко И.И.
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия, igor.vasilenko.57@mail.ru
Курносова Н.С.
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия, nata1982@inbox.ru
Григорьев Д.Ю.
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия, grigoriev.d.y@gmail.com
Дюдюк М.В.
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия, dyudyuk99@yandex.ru

Автоматизация комплексного исследования сложных процессов на базе фазового анализа*

(Рецензирована)

Аннотация. *Рассмотрена адаптация математических методов нелинейной динамики и дано описание инструментального средства получения предпрогнозной информации о сложных экономических процессах. В частности, проведена апробация алгоритма фазового анализа при исследовании временного ряда туристского потока в горнолыжный поселок Домбай Карачаево-Черкесской Республики. Отличительной особенностью данной разработки является то, что система в качестве выходного файла дополнительно представляет сводную таблицу результатов фазового анализа для триады: исходного временного ряда, ряда приращений и агрегированных данных. При этом в разрезе полученных результатов важен получаемый синергетический эффект от исследования сложных социально-экономических процессов.*

Ключевые слова: *метод нелинейной динамики, фазовый анализ, агрегирование данных, приращение временного ряда, управление, график дрейфа центров габаритных прямоугольников*

Kumratova A.M.
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia, alfa05@yandex.ru
Vasilenko I.I.
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia, igor.vasilenko.57@mail.ru
Kurnosova N.S.
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia, nata1982@inbox.ru
Grigoryev D.Yu.
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia, grigoriev.d.y@gmail.com
Dyudyuk M.V.
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia, dyudyuk99@yandex.ru

Automation of complex research on complex processes based on phase analysis

Abstract. *The article is devoted to the adaptation of mathematical methods of nonlinear dynamics and the description of a tool for obtaining pre-forecast information about complex economic processes, in particular, testing the algorithm of phase analysis in the study of the time series of tourist flow to the ski village of Dombay in the Karachay-Cherkess Republic. Phase analysis is a method for studying local oscillations of a time series that are asymmetric, irregular, and have an unstable period. A distinctive feature of this development is that the*

* *Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-010-00134 А.*

system as an output file additionally presents a summary table of the results of phase analysis for the triad: the initial time series, a series of increments and aggregated data, while the resulting synergistic effect from the study of complex socio-economic processes in the context of the results obtained is important.

Keywords: *nonlinear dynamics method, phase analysis, data aggregation, time series increment, control, drift graph of the centers of dimensional rectangles*

В настоящее время прогнозная информация стала востребованной не только с точки зрения управления будущими событиями, но и с точки зрения получения новых знаний о возможных границах происходящих изменений [1].

Проектирование сложной системы представляет трудоемкий процесс решения совокупности плохо формализуемых задач. Среди основных параметров проектируемой технической системы следует выделить параметры, изменяемые во времени. Такие параметры определяют динамику, функционирование, жизненный цикл проектируемой технической системы или отдельного ее свойства.

В статье представлена разработка информационной системы предпрогнозного анализа сложных социально-экономических процессов методом исследования локальных колебаний временного ряда (ВР). Для визуализации модели и описания всех действий, выполняемых разработанной программой, используем ряд инструментальных средств, позволяющих моделировать действия в процессах, определять их порядок и необходимые ресурсы. Важную роль здесь играет фазовый анализ – метод исследования локальных колебаний временного ряда, носящих асимметричный, нерегулярный характер, имеющих неустойчивый период.

Для построения функциональной модели проектируемой системы в работе предлагается использовать преимущества инструментального средства BPwin, позволяющего не только моделировать, но и исследовать бизнес-процессы (анализировать, документировать и т.д.). На рисунке 1 представлена родительская диаграмма с названием «Фазовый анализ».

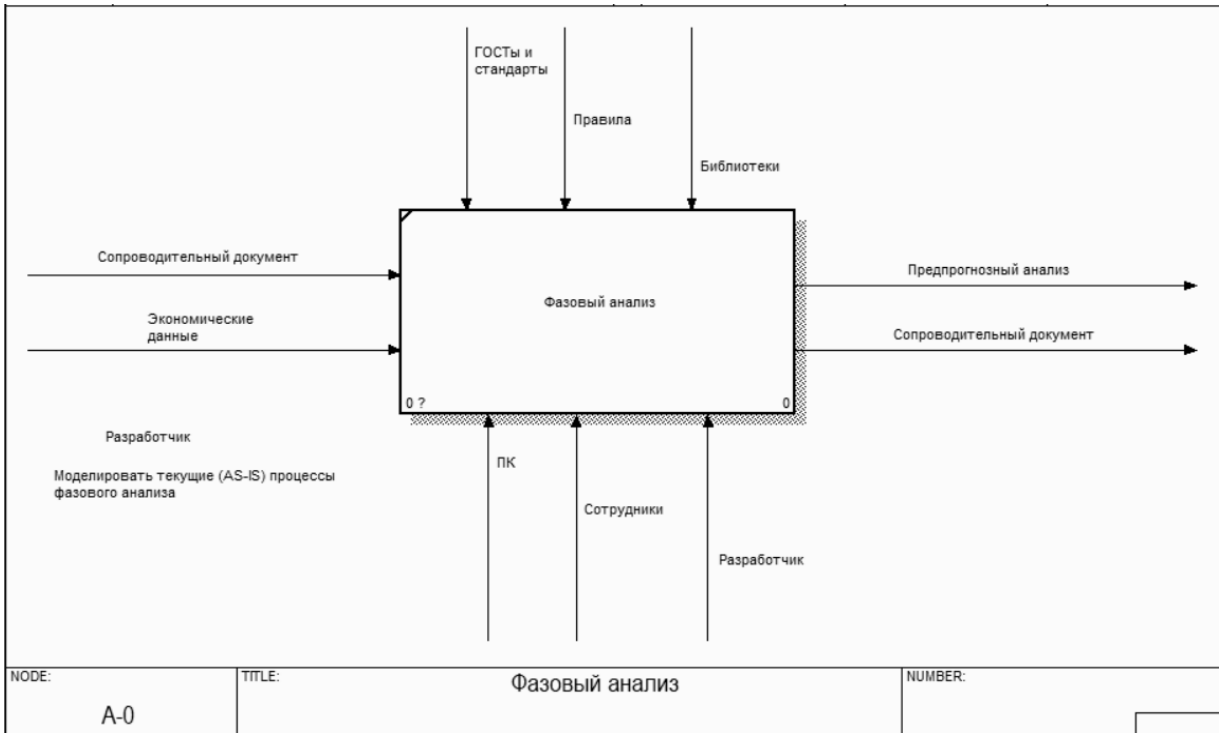

Рис. 1. Контекстная диаграмма IDEF0 «Фазовый анализ»

Процесс описания функционирования системы представлен в виде контекстной диаграммы. Взаимодействие системы с окружающей средой описывается в терминах входа (на рисунке 1 это «Экономические данные» и «Сопроводительный документ»),

выхода (основной результат процесса – «Предпрогнозный анализ» и «Сопроводительный документ»), управления («ГОСТы и стандарты», «Правила» и «Библиотеки») и механизмов («Персональный компьютер (ПК)», «Сотрудники», «Разработчик» – это ресурсы, необходимые для процесса функционирования системы).

«Экономические данные» – импортируемые файлы, которые обрабатываются программой и подвергаются последующему анализу. Пользователь загружает их в систему для выполнения дальнейших действий и получения выходных файлов данных. Получение отчета с анализом – цель системы. Чтобы добиться такой цели система должна реализовать алгоритмы в виде математических расчетов.

«ГОСТы и стандарты», «Правила» и «Библиотеки» – это правила, стратегии, процедуры или стандарты, которыми руководствуется программа. Система руководствуется своими внутренними правилами и формирует готовый выходной файл данных, соответствующий правилам, ГОСТам.

Весь процесс «Фазовый анализ» (в соответствии с рисунком 2) разбивается на:

– «Импорт документа с данными» иллюстрирует деятельность загрузки первичных данных в программу;

– «Анализ временных рядов» представляет собой процесс всех математических вычислений;

– «Получение готового анализа» – это выдача системой готового файла с проанализированными данными.

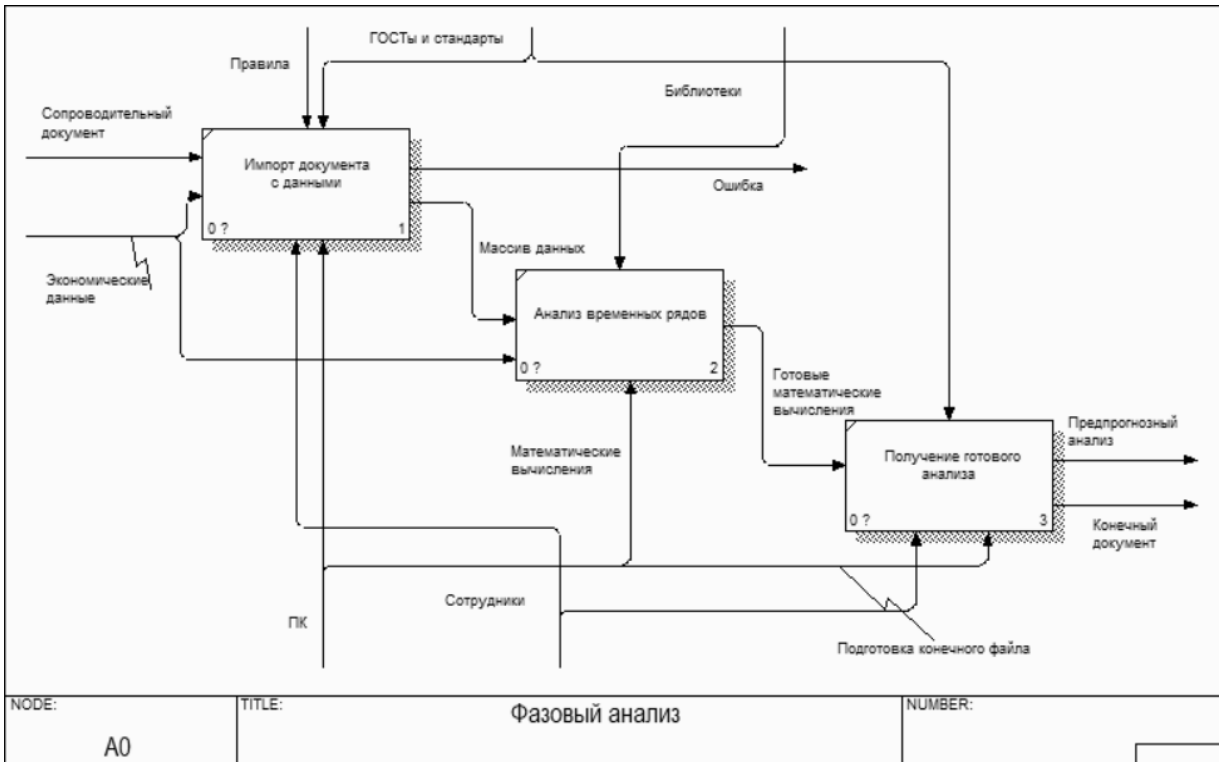

Рис. 2. Диаграмма декомпозиции IDEF0 алгоритма фазового анализа

Основным процессом с точки зрения цели фазового анализа является «Анализ временных рядов» (в соответствии с рисунком 3). Декомпозиция этого процесса содержит: анализ экономических данных, вычисление необходимых переменных и представление результатов расчетов в виде диаграмм. Ответственным за выполнение процесса «Анализ временных рядов» является аналитик – ЛПР (лицо, принимающее решение).

Основная задача системы – произвести математическую обработку временного ряда с помощью процессов: «Создание массива данных», «Поиск квазициклов», «Расчет по математическим алгоритмам» и «Построение графиков».

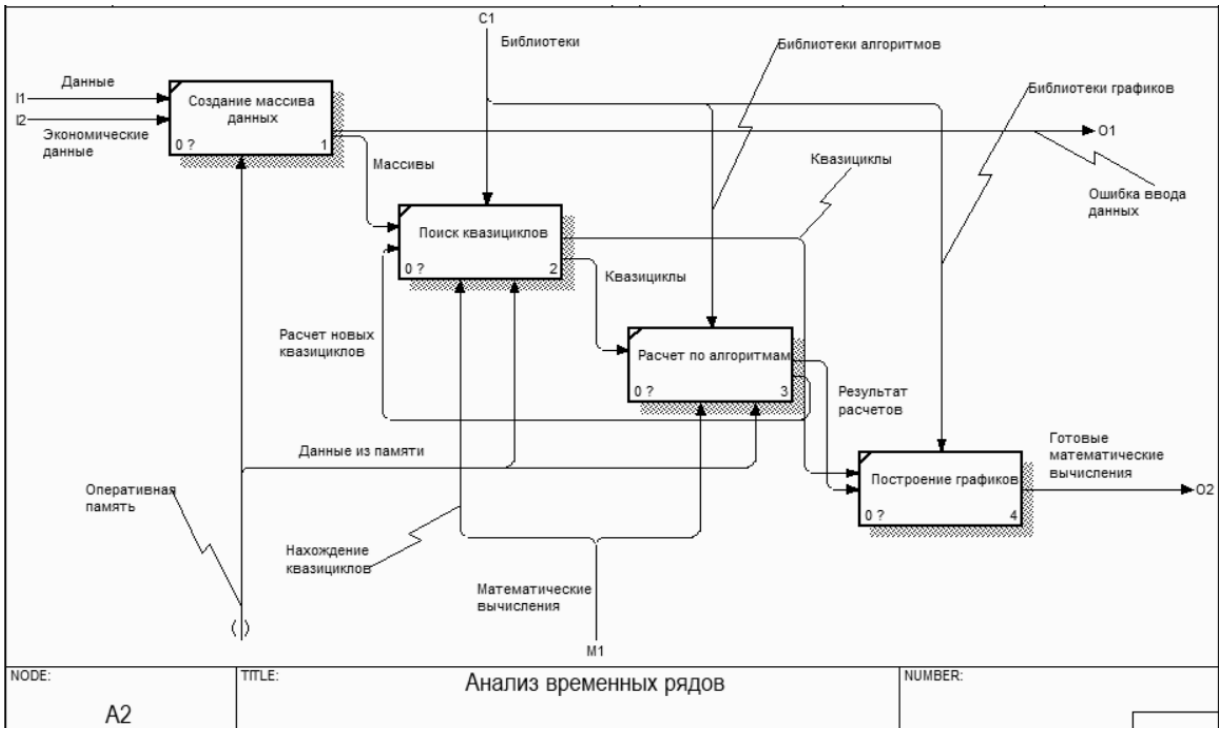

Рис. 3. Диаграмма декомпозиции IDEF0 «Анализ временных рядов»

Для разработки информационной системы «Фазовый анализ агрегированных данных» целесообразно использовать системные встроенные средства Visual Studio 2012 с подключением пакетов MicrosoftOffice.Core и MicrosoftOffice.Interop.Excel для работы с файлами Microsoft Excel.

Более подробное описание алгоритма работы фазового анализа представлено в источниках [2, 3]. Исследование исходного временного ряда «Туристы» представлено в работе [4]. В данной статье представлено исследование агрегированного ВР «Туристы» на базе фазового анализа. В соответствии с рекомендациями на базе ежедневных данных строится еженедельный временной ряд туристических потоков. В качестве периода агрегирования данных выбрана величина периода агрегации – 7 (дней). Результат расчета алгоритма работы фазового анализа для временного ряда ежедневных туристических потоков представлен на рисунке 4.

На главной форме, разработанной авторами информационной системы, представлено 4 окна графиков: «График квазициклов», «График площадей прямоугольника», «График длин памяти квазициклов» и «График дрейфа центров квазициклов». С помощью кнопок «Предыдущий график» и «Следующий график» можно переключаться между построенными графиками квазициклов.

В инструментальном средстве спроектированы следующие выходные файлы:

– «Расчет точек» содержит исходные данные, построенный ряд сдвига, центры по осям Ох и Оу, площади прямоугольников, а также графики квазициклов (в соответствии с рисунком 5а);

– «Длина памяти» содержит длины памяти квазициклов, полученные на первой вкладке и график длин памяти квазициклов (см. рис. 5а);

– «Площадь» содержит все площади прямоугольников, полученные на предыдущей вкладке, а также график площадей (см. рис. 5б);

– «Три периода» содержит исходные данные, центры по осям Ох и Оу, а также график дрейфа центров квазициклов (см. рис. 4). Раскраска по периодам представлена на рисунке 4 (начало ВР – красный цвет, середина ВР – желтый цвет, конец ВР – зеленый цвет).

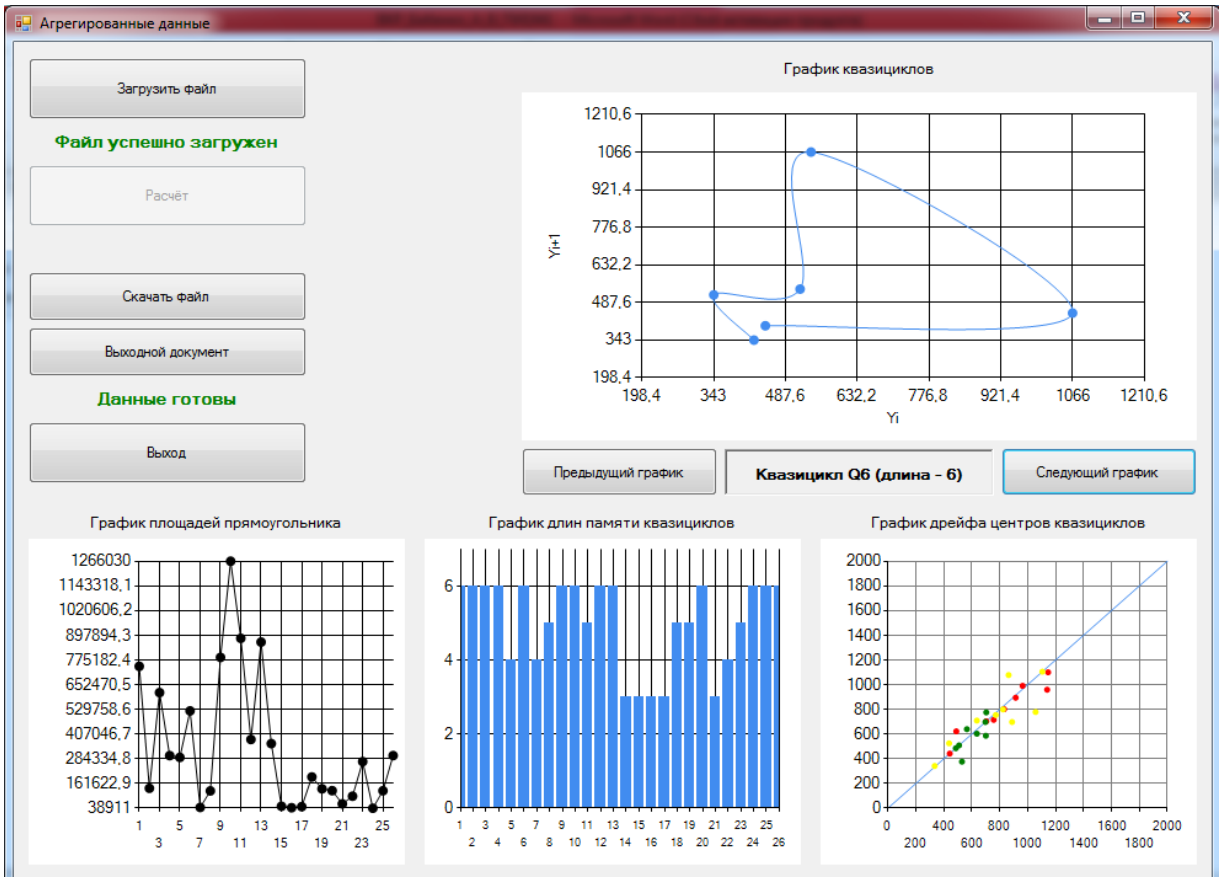

Рис. 4. Результаты расчетов по методу фазового анализа для агрегированного временного ряда туристического потока (период агрегации = 7)

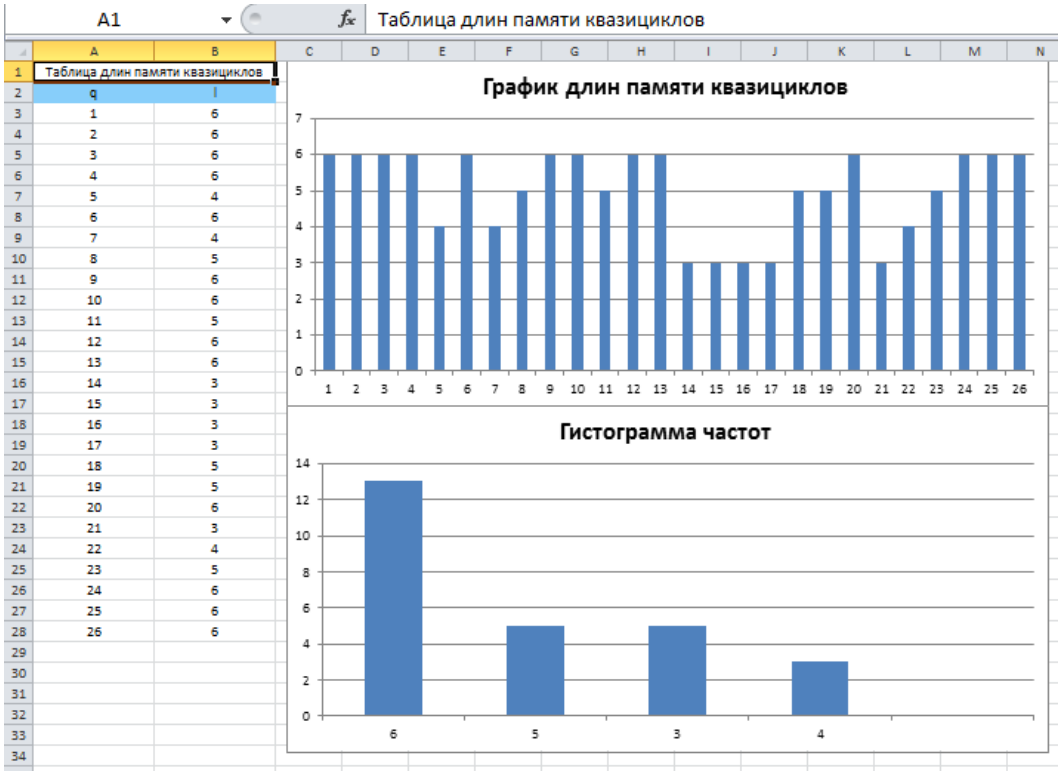

Рис. 5. Примеры выходных файлов инструментального средства «Фазовый анализ агрегированных данных»
а) Вкладка «Длина памяти» агрегированного временного ряда

Рис. 5. Примеры выходных файлов инструментального средства «Фазовый анализ агрегированных данных»
б) Вкладка «График движения площадей габаритных прямоугольников» для агрегированного ВР туристического потока

Аналогичные расчеты можно провести как для исходного ВР, так и для ряда приращений исследуемого процесса.

Отличительной особенностью данной разработки является то, что система в качестве выходного файла дополнительно представляет сводную таблицу результатов фазового анализа для исходного ВР, ряда приращений и агрегированного ВР (в соответствии с таблицей 1).

Таблица 1

Сводная таблица результатов фазового анализа

Исходный ВР			Приращения ВР			Агрегированный ВР по 7		
Наибольшая частота квазициклов	Длина квазицикла с max частотой	Уравнение регрессии	Наибольшая частота квазициклов	Длина квазицикла с max частотой	Уравнение регрессии	Наибольшая частота квазициклов	Длина квазицикла с max частотой	Уравнение регрессии
159	5	$y = 0{,}9\,x + 4{,}7$	83	6	$y = 0{,}2\,x + 1{,}77$	13	6	$y = 0{,}82\,x + 112{,}06$

Заключение

Апробация программного комплекса проведена на основе реальных данных объема туристического потока. Получены количественные значения и качественные характеристики предпрогнозной информации для значений нижнего уровня моделирования туристско-рекреационной деятельности, которые в свою очередь являются входными данными для прогнозных моделей верхнего уровня управления туристско-рекреационной деятельностью (планирование занятости и брони номерного фонда), что становится особо важным фактом в условиях развития отечественного туризма в создавшихся рамках эпидемиологической ситуации. Важен получаемый синергетический эффект от исследования сложных социально-экономических процессов в разрезе результатов триады: исходного временного ряда, ряда его приращений и агрегированных данных.

Список литературы:

1. Общество и наука: сайт. URL: https://hbr-russia.ru/biznes-i-obshchestvo/nauka/854793 (дата обращения: 05.05.2021 г.).
2. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учеб. пособие. Москва: Финансы и статистика, 2003. 416 с.
3. Geometry from a Time Series / N. Packard, J. Crutchfield, D. Farmer, R. Shaw // Physical Review. 1980. Letters 45. P. 712–716.
4. Управление сложным процессом на базе метода фазового анализа / А.М. Кумратова, Е.В. Попова, Н.С. Курносова, К.А. Сивков // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2020. № 2 (261). С. 40–46. URL: http://vestnik.adygnet.ru

References:

1. Society and Science: website. URL: https://hbr-russia.ru/biznes-i-obshchestvo/nauka/854793 (access date: 05.05.2021).
2. Lukashin Yu.P. Adaptive methods of short-term forecasting of time series: a manual. Moscow: Finance and Statistics, 2003. 416 p.
3. Geometry from a Time Series / N. Packard, J. Crutchfield, D. Farmer, R. Shaw // Physical Review. 1980. Letters 45. P. 712–716.
4. Complex process management based on the phase analysis method / A.M. Kumratova, E.V. Popova, N.S. Kurnosova, K.A. Sivkov // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2020. No. 2 (261). P. 40–46. URL: http://vestnik.adygnet.ru