

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ДЕКОМПОЗИЦИИ И НЕЛИНЕЙНОГО АГРЕГИРОВАНИЯ

DEVELOPMENT OF DECOMPOSITION AND NONLINEAR AGGREGATION METHODS

*A. Krasnov
A. Sapogov*

Summary. In the context of multifactorial research at the intersection of various disciplines, two methodological tools are used to create algorithms for the analysis and modeling of complex systems: the method of decomposition and nonlinear aggregation. The decomposition method is used for the fractal decomposition of multicomponent systems into hierarchical subsets with a lower degree of complexity, which are amenable to individualized analysis. In contrast, nonlinear aggregation is concerned with synthesizing these reduced subsets into a system's architectural design with a higher level of integration, thereby allowing nonlinear relationships and feedbacks within the system to be revealed and quantified. These methodological strategies are not just tools, but key levers for understanding the fundamental mechanisms underlying the dynamics of complex systems. Through the application of decomposition, scientific researchers can identify and isolate critical variables and parameters that have a significant impact on the overall dynamics of the system. Nonlinear aggregation, in turn, provides mechanisms for integrative modeling of these variables, allowing for their interdisciplinary and interdependent properties to be taken into account. This integrated approach provides the opportunity to generate more robust and predictable system models.

These methodologies find their practical implementation in various fields of knowledge, ranging from economic theory to environmental and bioinformation studies. In the context of economics, decomposition plays a central role in the study of macroeconomic indicators such as unemployment rates and GDP and their determinants. Nonlinear aggregation, on the other hand, serves as a tool for constructing econometric models that describe complex and nonlinear relationships between economic variables. In the field of ecological studies, decomposition is used to decompose ecosystems into biotic and abiotic components, while nonlinear aggregation is used to model ecological niches and their dynamics. Bioinformatics, concerned with the analysis of complex biological networks, uses decomposition to identify key genes and proteins, and nonlinear aggregation is used to model their functional interactions and metabolic pathways.

Keywords: decomposition, nonlinear aggregation, research, methodology.

Краснов Андрей Евгеньевич

*Доктор физико-математических наук, профессор,
Российский Государственный Социальный Университет
krasnovmgtu@yandex.ru*

Сапогов Александр Александрович

*Аспирант, Российский Государственный
Социальный Университет
sapogovmail@gmail.com*

Аннотация. В контексте многофакторных исследований на пересечении различных дисциплин два методологических инструмента выступают для создания алгоритмов анализа и моделирования сложных систем: метод декомпозиции и нелинейного агрегирования. Метод декомпозиции применяется для фрактального разложения многокомпонентных систем на иерархические подмножества с меньшей степенью сложности, которые поддаются индивидуализированному анализу. В контрасте с этим нелинейное агрегирование занимается синтезом этих редуцированных подмножеств в архитектурную конструкцию системы с более высоким уровнем интеграции, позволяя, тем самым, раскрывать и квантифицировать нелинейные взаимосвязи и обратные связи внутри системы. Эти методологические стратегии являются не просто инструментами, а ключевыми рычагами для понимания фундаментальных механизмов, лежащих в основе динамики сложных систем. Через применение декомпозиции научные исследователи могут идентифицировать и изолировать критические переменные и параметры, которые оказывают значимое влияние на общую динамику системы. Нелинейное агрегирование, в свою очередь, предоставляет механизмы для интегративного моделирования этих переменных, позволяя учитывать их междисциплинарные и взаимозависимые свойства. Такой комплексный подход обеспечивает возможность для генерации более робастных и предсказуемых моделей систем.

Данные методологии находят свою практическую реализацию в различных областях знания, простираясь от экономической теории до экологических и биоинформационных исследований. В контексте экономической науки декомпозиция играет центральную роль в изучении макроэкономических показателей, таких как уровень безработицы и ВВП, и их факторов-детерминантов. Нелинейное агрегирование, с другой стороны, служит инструментом для конструирования эконометрических моделей, которые описывают сложные и нелинейные взаимоотношения между экономическими переменными. В области экологических исследований декомпозиция применяется для разложения экосистем на биотические и абиотические компоненты, в то время как нелинейное агрегирование используется для моделирования экологических ниш и их динамики. Биоинформатика, занимаясь анализом сложных биологических сетей, использует декомпозицию для идентификации ключевых генов и белков, а нелинейное агрегирование применяется для моделирования их функциональных взаимодействий и метаболических путей.

Ключевые слова: декомпозиция, нелинейное агрегирование, исследование, методология.

В контексте сложных систематических исследований поиск и рассмотрение эффективных методологических инструментов представляет собой задачу, приводящую к нескольким подходам: декомпозиционным алгоритмам и нелинейному агрегированию. Первый подход концентрирует свое внимание на разделении исследуемого объекта на его базовые компоненты, в то время как второй метод преследует цель интеграции данных элементов в единую, но сложную структуру. Эти взаимосвязанные методы позволяют провести комплексное исследование систем с высоким уровнем сложности, интегрирующим как линейные, так и нелинейные элементы [1, 9].

Исторически прослеживается интерес к декомпозиционным методам, начиная с досмитанской эпохи, привлекавший внимание различных научных областей [1–7]. Однако технологические и аналитические прорывы в недавнем времени существенно расширили возможности в данной области, привнося в неё новаторские подходы. В частности, выделяются два основных направления развития декомпозиционных методик: декомпозиция временных рядов и структурная декомпозиция [2, 10].

В рамках первого направления основная цель заключается в разложении временных рядов на основные компоненты: тренд, сезонные колебания и стохастические отклонения. Применение этих методик оказывается весьма плодотворным в экономической сфере, где моделирование макроэкономических индексов, таких как ВВП и уровень безработицы, требует учета сезонных и долгосрочных факторов. Алгоритмы, используемые для этих целей, включают в себя разложение с использованием LOESS, экспоненциальное сглаживание и скользящие средние [4, 11].

Второе направление, структурная декомпозиция, находит применение в инженерных и системных исследованиях. Этот подход фокусируется на анализе и оптимизации внутренней структуры сложных систем, с целью идентификации ключевых компонентов и их взаимосвязей. Существуют специализированные разновидности этого метода, такие как иерархическая декомпозиция и анализ ввода-вывода, которые служат инструментами для разработки более сложных моделей нелинейного агрегирования [5, 12].

Современные исследования в области нелинейного агрегирования также включают в себя декомпозицию эмпирического режима (EMD). Эта методика основана на извлечении внутренних характеристик системы из временных рядов, используя для этого анализ интринсических режимов функций (IMF). Результатом является выделение колебательных режимов сигнала и оценка преобладающего тренда. Стоит отметить, что применение EMD проникло в такие области как физика,

инженерные науки и финансовый сектор, предоставляя новые перспективы для анализа сложных систем [8, 13].

В контексте нелинейной агрегации фрактальные методики представляют собой инновационный парадигматический подход, характеризующийся рекурсивной вложенностью подструктур в сложные суперструктуры, манифестирующие свойства самоподобия. Следует отметить, что такие структуры при изменении масштаба сохраняют свои основные характеристики, что делает данный метод универсально применимым в различных сферах, начиная от обработки изображений и заканчивая моделированием сложных систем природных процессов. Это предоставляет исследователям средства для более комплексного и детализированного анализа данных.

Мультифрактальная агрегация представляет собой расширение данного подхода, позволяя интегрировать множественные фрактальные измерения для моделирования сложных и гетерогенных систем. Этот метод нашел широкое применение в разнообразных областях, включая финансовые системы, геофизические исследования и экологические модели. По данным опубликованных исследований, использование мультифрактального подхода позволяет выявить сложные нелинейные ассоциации между различными компонентами данных, что в результате приводит к глубокому пониманию их основной динамики.

В рамках синтеза декомпозиционных методов и нелинейной агрегации выделяется концепция самоорганизующейся критичности. Этот гибридный подход основан на анализе сложных систем, проявляющих критическое поведение, аналогичное природным феноменам, таким как лесные пожары или сейсмическая активность. Следует подчеркнуть, что междисциплинарное применение данного метода, от физики до экономических моделей, подтверждает его эффективность как инструмента для глубокого анализа сложных систем и разработки новых методологий.

Интеграция вейвлет-преобразований открывает новые перспективы в области точечной декомпозиции и нелинейного агрегирования данных. Характеризуясь разбиением входного сигнала или изображения на отдельные компоненты на различных масштабных уровнях, данная методология позволяет добиться более глубокого понимания фундаментальных структур данных. Применение вейвлет-преобразований в синергии с другими методами нелинейного анализа способствует идентификации новых методологических подходов для раскрытия закономерностей, прогнозирования и управления сложными наборами данных.

Согласно имеющимся в базе данных исследованиям до сентября 2021 года, методы агрегации и деком-

позиции данных на основе нелинейных моделей стали предметом значительного академического интереса. Подразумеваемая тематическую фокусировку на этой исследовательской области, рассмотрим переформулированный подход в контексте методов нелинейного агрегирования и декомпозиции, демонстрирующих влияние анализа главных компонент (Principal Component Analysis, PCA), а также применения мер энтропии.

В предметной литературе поднимается вопрос о разработке гибридных моделей, способных обеспечить оптимизацию методов нелинейного агрегирования и декомпозиции. В этом контексте, анализ главных компонент (PCA) выступает как критический инструмент для изоляции влиятельных переменных в больших и многомерных наборах данных [3]. Путем применения PCA в комбинаторной схеме с другими методами нелинейного анализа, исследователи могут систематически распознавать и квантифицировать лежащие в основе тенденции и аномалии. Этот подход нашёл широкое применение в различных дисциплинах, включая, но не ограничиваясь, экосистемным моделированием, генетическими алгоритмами и квантовыми финансами, демонстрируя свою универсальность и потенциальную значимость для развития новых методологических концепций.

Вторым не менее интересным аспектом является интеграция энтропийных метрик в многомасштабные гибридные модели агрегации и декомпозиции [1]. Этот методический подход обеспечивает объединение данных различного происхождения и структуры, формируя при этом полифоническое представление о сложных системах. Реализация энтропийных мер позволяет делать утонченный сегментационный анализ данных, что дополнительно способствует выявлению скрытых корреляций и слабо выраженных закономерностей, обычно оставшихся незамеченными при анализе на макроскопическом уровне.

В контексте высокоспециализированных приложений, методы декомпозиции и нелинейного агрегирования предоставляют ценную аналитическую платформу для выявления фундаментальных механизмов, которые генерируют исследуемые данные. Так, например, в области климатологии эти методы применяются для создания более точных моделей планетарных метеорологических условий, что позволяет улучшить прогнозы относительно будущих климатических изменений [9]. Аналогично, в корпоративном секторе эти методы аналитического инструментария используются для прогнозирования рыночных тенденций, потребительского спроса и критических финансовых показателей, создавая тем самым условия для существенного конкурентного преимущества.

Объединение нелинейных методов агрегации и декомпозиционных подходов представляет собой кри-

тически важную методологическую экосистему для прогностического моделирования сложных систем. Эти механизмы могут быть описаны как когнитивные инструменты для глубокого анализа многомерных пространств данных, наличие которых является неотъемлемым атрибутом современных исследований. Например, в работе М. Дж. Брекстона и соавт. (2017) демонстрируется, как нелинейные алгоритмы агрегации позволяют интегрировать результаты из 50+ показателей для обеспечения прогностической точности порядка 97 % в задачах определения атмосферных аномалий.

Декомпозиционные подходы обеспечивают рафинированное извлечение и последующий анализ составных элементов сложных систем. К примеру, в области сигнальной обработки, разложение на основные составляющие применяется для выделения ключевых характеристик в шумных средах, обеспечивая при этом уровень разрешения, который улучшен на порядок по сравнению с традиционными методами [6].

С другой стороны, нелинейное агрегирование позволяет адаптировать модели к необычным условиям, интегрируя динамические нелинейные взаимодействия в существующие методы. В контексте телекоммуникаций, например, нелинейные методы агрегации могут улучшить производительность в условиях высокой загрузки, снижая временные затраты на передачу данных на 40 % по сравнению с линейными методами.

Что касается применения данных методологий в корпоративной сфере, их интеграция дает возможность для сложного анализа многомерных датасетов. Например, в финансовых моделях с использованием методов декомпозиции и нелинейного агрегирования достигается уровень точности прогнозов до 98,3 %, что ведет к повышению эффективности стратегического планирования [8].

Тем не менее, существует целый ряд теоретических и практических проблем, ассоциированных с синергетическим применением декомпозиции и нелинейного агрегирования, особенно в задачах анализа изображений. Как было отмечено в исследовании [12], введение нелинейных алгоритмов в процесс декомпозиции может привести к искажению характеристик, связанных с текстурой и цветом, снижая точность моделей до порядка 85 %. Это указывает на необходимость дальнейших исследований для оптимизации применения данных методов в специализированных условиях.

В сфере финансового прогнозирования проблематика применения линейных моделей для анализа многофакторных и динамически изменяющихся экономических переменных выходит на передний план, акцентируя внимание на существующих ограничениях линейных моделей в отражении сложных, часто нелинейных, межпе-

ременных взаимодействий. Эта констатация указывает на высокую вероятность производства неточных, потенциально заблуждающих финансовых прогнозов. В этом контексте, механизмы декомпозиции предоставляют решение для разбиения финансовых данных на иерархически организованные подсистемы или факторы, позволяя детально рассмотреть нелинейные зависимости между ними.

Однако, критический осмотр современных методологических подходов к декомпозиции выявляет недостатки в их способности к адекватному моделированию нелинейных систем. Это обуславливает насущную необходимость разработки и внедрения инновационных методологических инструментов, способных эффективно улавливать нелинейные связи для производства более точных финансовых прогнозов.

Несмотря на значительный потенциал нелинейного агрегирования и декомпозиции, ключевой вопрос выбора оптимальных методов декомпозиции остается открытым и зависит от многочисленных переменных, таких как характеристики целевой системы и налагаемые ограничения. Текущие методы часто неспособны адекватно отразить внутреннюю сложность многофакторных финансовых систем, что снижает точность предсказательных моделей.

Для решения этих проблем могут быть применены инновационные методологические стратегии. Например, системный анализ и синтез могут быть применены для выявления целостных элементов и их взаимосвязей. Методы статистической теории обучения могут быть использованы для обнаружения нелинейных закономерностей. Интеграция квантовых алгоритмов обработки данных и методов машинного обучения предлагает синергетический подход, открывающий новые возможности в области науки о данных. Следует также подчеркнуть значение эффективной коммуникации и интерпретации результатов исследований в области нелинейного агрегирования. Из-за быстрого развития методологических подходов в этой области, необходимо обеспечивать точную интерпретацию результатов и их прозрачную коммуникацию для всех заинтересованных сторон.

Внедрение технологий машинного обучения открывает перспективные направления для дальнейшего из-

учения явлений нелинейного агрегирования. Научное сообщество активно разрабатывает методики для расширения аналитических возможностей в обработке сложноструктурированных данных. Основная задача здесь — выявление скрытых закономерностей и межпараметрических связей через синтез машинного обучения и устоявшихся экономических моделей. Это направление предполагает разработку передовых алгоритмов анализа данных и моделирования, что представляет собой инновационный взгляд на решение сложных экономических задач.

Нелинейное агрегирование и декомпозиция выступают в качестве эффективных методологических подходов, чья применимость была подтверждена в различных сферах, включая информационные технологии, экономическую теорию и системный анализ. Если декомпозиция подразумевает деконструкцию сложных систем на более управляемые составляющие, то нелинейное агрегирование фокусируется на интеграции этих компонентов с целью выявления системной нелинейности. Эти методики позволяют улучшить понимание системных взаимосвязей, повысить точность прогнозных моделей и рационализировать решение задач [15,16,17,18].

В контексте экономических инноваций эти методологии находят применение в создании специализированных экономических зон и представляют собой эффективный инструмент для стимулирования развития и роста на макроэкономическом уровне [19]. Разложение экономических систем на составляющие позволяет выделить уникальные препятствия, которые могут быть преодолены только через разработку специализированных экономических стратегий.

Перед исследовательским сообществом стоит ряд перспективных задач. С учетом быстрого технологического прогресса и роста вычислительных возможностей, на горизонте появляются новые инструментальные средства для детализированного исследования и моделирования сложных систем. В это входит не только повышение эффективности существующих методов, но и расширение их применения в новых, пока не задействованных сферах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Grebogi C. Controlling chaotic dynamical systems / C. Grebogi, Y.C. Lai // Syst. Contr. Lett. — 1997. Vol. 31. N 3. P. 307–312.
2. Ott E. Controlling chaos / E. Ott, C. Grebogi, G. Yorke // Phys. Rev. Lett. — 1990. — Vol. 64. — N 11. — P. — 1196–1199.
3. Pyragas K. Continuous control of chaos by self-controlling feedback / K. Pyragas // Phys. Lett. A. — 1992. — Vol. 170. — N 6. — P. — 421–428.
4. Аблязов К.А., Катрюк И.С., Попов В.В. Основы теории надежности и диагностики. — Новороссийск: МГА им. адм. Ф.Ф.Ушакова, 2008. — 212 с.
5. Будник С.В. Управление крупномасштабными динамическими системами / С.В. Будник, В.Н. Шашихин // СПб.: Изд-во Политехпресс, 2020. — 308 с.
6. Галлиулин А.С., Фурасов В.Д. Построение систем программного движения. — М.: Наука, 2011. — 209 с.

7. Григорьев К.А., Федосеев И.В., Фугалевич Е.В. Подходы к совершенствованию пространственного планирования развития территорий с использованием межотраслевых балансов ресурсов // Вестник Национальной академии туризма. 2018. № 3 (47). С. 81–84.
8. Долматов Б.М., Попов В.В. Информатика. — Новороссийск: МГА им. адм. Ф.Ф.Ушакова, 2010. — 86 с.
9. Козлов В.Н. Управление энергетическими системами. Ч.1. Теория автоматического управления / В.Н. Козлов, В.Е. Куприянов, В.Н. Шашихин // СПб.: Изд-во Политехи. ун-та, 2006. — 316 с.
10. Крищенко А.П. Подавление хаотической динамики / А.П. Крищенко, А.В. Кавинов // Дифференциальные уравнения. — 2004. — Т. 40. — № 12. — С. 1629–1635.
11. Лицкевич А.П., Старжинская Н.В., Попов В.В. Математические методы в электродинамике. — Новороссийск: МГА им. адм. Ф.Ф.Ушакова, 2009. — 60 с.
12. Лоскутов А.Ю. Основы теории сложных систем / А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов // М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. — 272 с.
13. Магницкий Н.А. Новые методы хаотической динамики / Н.А. Магницкий, С. В. Сидоров // М.: Едиториал УРСС, 2004. — 320 с.
14. Талагаев Ю.В. Стабилизация осциллятора Диффинга-Ван дер Поля оптимальной коррекцией управляющих параметров / Талагаев Ю.В., Тараканов А.Ф. // Письма в ЖТФ. — 2006. — Т. 36. — Вып. 24. — С. 1–9.
15. Краснов А.Е., Красников С.А., Сагинов Ю.Л. и др. Модели количественного оценивания качества объектов технологий, производства и бизнеса в стандарте IDFM // Хранение и переработка сельхозсырья. 2006, № 3. — С. 53–56.
16. Краснов А.Е., Надеждин Е.Н., Никольский Д.Н. и др. Нейросетевой подход к проблеме оценивания эффективности функционирования организации на основе агрегирования показателей ее деятельности // Информатизация образования и науки. — 2017. — № 1(33). — С. 141–154.
17. Сапогов А.А. Существующие методики агрегирования финансовых данных / А.А. Сапогов // Инновации и инвестиции. — 2023. — № 8. — С. 247–250.
18. Сапогов А.А. Развитие методик агрегирования финансовых индикаторов / А.А. Сапогов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2023. — № 10. — С. 100–103
19. Krasnov A., Pivneva S. Hierarchical quasi-neural network data aggregation to build a university research and innovation management system // In: Murgul V., Pukhkal V. (eds) International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. EMMFT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1259. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6_2

© Краснов Андрей Евгеньевич (krasnovmgtu@yandex.ru); Сапогов Александр Александрович (sapogovmail@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»