

А. Б. Симонов, А. Ф. Рогачёв

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ РЕГИОНА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТ

Введение

Моделирование динамики показателей региона является важным инструментом управления, позволяющим решать комплекс взаимосвязанных задач. С одной стороны, они могут помочь выявлять неявные закономерности динамики, скрытые в условиях высокой турбулентности, характерной для современной экономики. Это позволяет делать более качественные прогнозы, проводить априорную и апостериорную оценку результатов принятых решений.

С другой стороны, посредством моделирования динамики открывается возможность идентификации конкретных экономических механизмов, которые детерминируют характерные черты развития регионов. В этом случае особый интерес представляют результаты декомпозиции временного ряда, описывающего динамику явления, на трендовую и циклическую составляющие. Характер тренда определяется природой системообразующих факторов, формирующих магистральную тенденцию (например, в регионах, привязанных к развитию конкретной технологии, мы часто можем наблюдать S-образный рост). Циклические колебания отражают необходимую для долгосрочного роста смену периодов накопления активов с одной стороны и их замены, обновления на более современные – с другой. Например, краткосрочные циклы периодом 2–4 года (циклы Китчина) [1] традиционно связывают с регулированием объемов производства, а также с накоплением запасов на складах и заменой их на более современные материалы, полуфабрикаты и товары. Моделирование и анализ изменений этих составляющих может служить релевантным индикатором эффективности функционирования экономических механизмов в регионе. Изучению возможности моделирования, анализа и интерпретации отдельных аспектов динамики развития российских регионов и посвящена данная работа.

Методика исследования

Основная гипотеза данного исследования состояла в том, что данные о динамике развития исследуемых регионов можно описать с помощью тренд-циклической модели, качество которой будет достаточно высоко (коэффициент детерминации выше 0,5). При этом ожидается, что большинство (не менее двух) циклических составляющих можно будет отнести исходя из ее периода к одному из классических экономических циклов (циклы Китчина, Жюгляра или Кузнеца), а одна составляющая может считаться шумовой.

В случае, если конкретный тип цикла окажется незначим для отдельного региона, это может говорить о том, что в данном регионе по определенным экономическим причинам происходит систематический выбор в пользу сохранения и выживания имеющихся технологий, а не в пользу их реинжиниринга [2, с. 50]. Результатом будет ускорение развития технологий региона в краткосрочном периоде, однако в долгосрочной перспективе низкая гибкость, присущая такому подходу, не позволит обеспечить эффективный переход к новым технологиям. Как итог, сохранение долгосрочного роста будет возможно только за счет значительных внешних инвестиций.

В работе изучается динамика уровня инновационной активности организаций регионов за 2000–2024 годы на основе данных Росстата [3].

В качестве моделей тренда чаще всего используется линейная (1) или экспоненциальная (2) модели, которые могут описывать как возрастающий, так и убывающий тренд. В случае смены тренда могут использоваться более сложные модели, например, квадратическая (3):

$$Tr(t) = a_0 + a_1 \cdot t; \quad (1)$$

$$Tr(t) = a_0 \cdot \exp(a_1 \cdot t); \quad (2)$$

$$Tr(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2, \quad (3)$$

где a_0, a_1, a_2 — коэффициенты.

Для моделирования циклической компоненты могут использоваться тригонометрические функции (4).

$$S(t) = a_0 \sin(2 \pi (t - a_1) / a_2), \quad (4)$$

где a_0 — амплитуда колебаний; a_1 — начальная фаза; a_2 — период колебаний.

Полученные модели сезонной и циклической компонент, а также описание случайных отклонений объединяются. В работе используется аддитивная (5) функция.

$$y(t) = Tr(t) + S(t) + \varepsilon_t, \quad (5)$$

где ε_t — случайные отклонения.

Результаты

В ходе моделирования были построены модели, состоящие из линейного тренда и трех циклических компонент для ряда регионов Российской Федерации. Параметры модели подбирались с использованием алгоритма Differential Evolution, который является разновидностью генетического алгоритма. Это позволяет найти значения параметров, обеспечивающих глобальный минимум целевой функции (в нашем случае – значения коэффициента детерминации). При этом период колебаний в модели подбирался на интервале 1–25 лет. Колебания с периодом 2–4 года могут рассматриваться как циклы Китчина, с периодом 7–11 лет как циклы Жюгляра. Циклы с периодом 15–25 лет (сравнимым с длиной изучаемого периода) могут рассматриваться как циклы Кузнеца, либо могут оцениваться как проявление неустойчивости тренда.

Рассмотрим результаты моделирования, полученные для города Москвы, как наиболее инновационно развитого региона России, и Волгоградской области, как региона, традиционно находящегося примерно в середине рейтингов регионального развития [4]. Оба региона имеют ряд особенностей динамики, усложняющих анализ, что делает их особенно интересными с точки зрения апробации изучаемого метода.

Вначале рассмотрим моделирование динамики для г. Москва. Основная сложность здесь связана с тем, что динамика уровня инновационной активности (см. рис. 1а) большую часть времени существенно не изменялась, за исключением периода 2015–2019 года, в котором происходило резкое снижение.

В ходе моделирования была построена линейная модель тренда (что соответствует первоначальной гипотезе, но не данным о реальной динамике). Полученная модель тренда выглядит как

$$Tr(t) = 42,851 - 0,927 \cdot t. \quad (6)$$

Значение $R^2 = 0,367$ показывает, что модель тренда имеет умеренную объясняющую способность. То, что резкое изменение динамики было смо-

делировано как постепенное снижение, отражает определенные недостатки предложенного подхода. Однако с точки зрения модели это изменение будет учтено за счет моделирования циклической компоненты.

На следующем шаге была построена модель первого циклического колебания, которая описывается формулой:

$$S_1(t) = 8,85 \cdot \sin(2\pi(t - 9,17) / 20,07). \quad (7)$$

Период для данного цикла составляет 20,07 года, что позволяет идентифицировать его как цикл Кузнеца. Однако также разумно рассматривать это колебание с периодом, который сравним с изучаемым, как способ описать резкое снижение в 2015–2019 годах. Таким образом, модель показала способность обеспечить высокое качество даже для сложной динамики, однако мы также видим, что интерпретация элементов модели не является однозначной.

Вторая модель:

$$S_2(t) = 6,11 \cdot \sin(2\pi(t - 2,35) / 10,73). \quad (8)$$

Она описывает колебания периодом около 10 лет, что соответствует циклу Жюгляра.

Третья модель:

$$S_3(t) = 3,20 \cdot \sin(2\pi(t - 2,65) / 3,05). \quad (9)$$

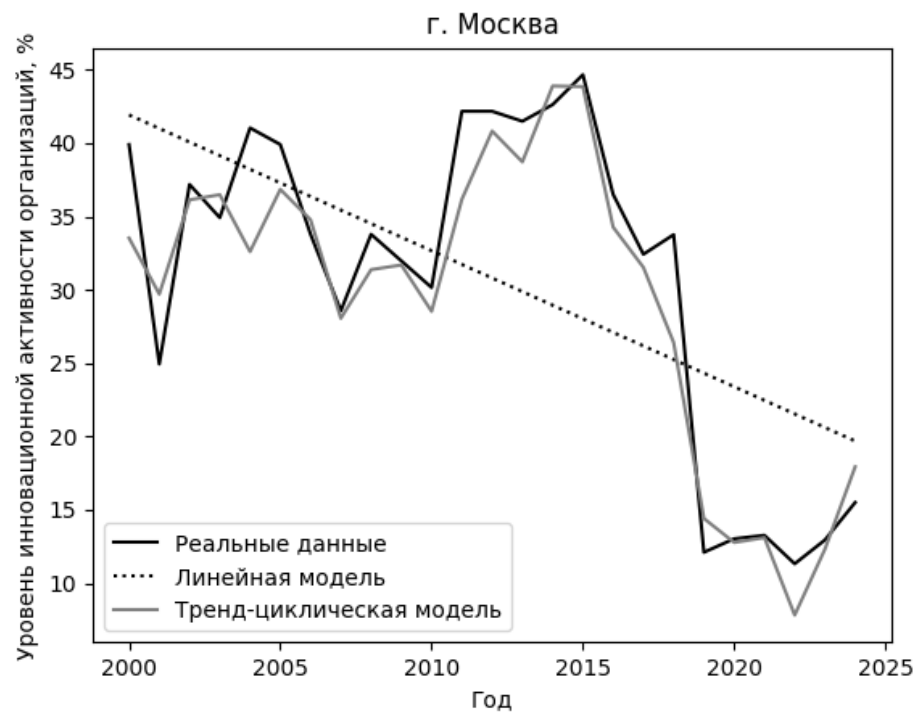
Данная модель описывает колебания, которые можно считать циклом Китчина.

Итоговая модель для динамики инновационной активности для города Москва принимает вид:

$$\tilde{y}(t) = Tr(t) + S_1(t) + S_2(t) + S_3(t). \quad (10)$$

Коэффициент детерминации для данной модели $R^2 = 0,905$ указывает на высокое качество модели, полученное несмотря на указанную выше особенность динамики, усложняющую моделирование. Результаты моделирования проиллюстрированы на графике (см. рис. 1а), который также показывает высокое качество интерполяции на основе созданной модели.

Аналогичные расчеты были проведены для Волгоградской области. Для данного региона характерно резкое снижение инновационной активности предприятий (см. рис. 1б), которое стабилизировалось только в последние годы. Данный тренд было бы более корректно моделировать при помощи экспоненциальной функции, однако использование тренд-циклических моделей, как представляется, может обеспечить высокое качество интерполирования даже при допущении о линейности тренда.



а)



б)

Рис. 1. Результаты моделирования динамики уровня инновационной активности в г. Москва (как лидера инновационного развития) и Волгоградской области (как региона со средним уровнем инновационного развития)

Полученная модель тренда для Волгоградской области выглядит как

$$Tr(t) = 34,973 - 1,283 \cdot t. \quad (11)$$

Модель первого циклического колебания описывается формулой

$$S_1(t) = 2,89 \cdot \sin(2\pi(t - 2,40) / 9,67). \quad (12)$$

Она описывает колебания периодом около 10 лет, что соответствует циклу Жюгляра.

Модель второго циклического колебания описывается формулой

$$S_2(t) = 2,33 \cdot \sin(2\pi(t - 20,43) / 25,00). \quad (13)$$

Так же, как и в случае с моделью для г. Москва, эту циклическую составляющую можно рассматривать как цикл Кузнеца, или как аппроксимацию смены тенденции с падения на стабилизацию в 2020 году.

Третья модель:

$$S_3(t) = 1,50 \cdot \sin(2\pi(t - 0,26) / 3,42). \quad (14)$$

Данная модель описывает колебания, которые можно считать циклом Китчина.

Итоговая модель для Волгоградской области

$$\tilde{y}(t) = Tr(t) + S_1(t) + S_2(t) + S_3(t). \quad (15)$$

Она имеет коэффициент детерминации $R^2 = 0,970$.

Таким образом, предложенный подход позволяет создавать модели, имеющие высокое качество интерполяции, а также возможность экономической интерпретации. При этом метод нуждается в улучшении для обоснованного выбора вида модели тренда, что может повысить качество прогнозирования на основе данной модели.

Выводы

В результате исследования показано, что модель динамики показателей регионального развития, состоящая из трендовой и циклической компоненты, могут быть эффективно использованы для описания изучаемых процессов. Однако, для создания эффективных прогнозов также необходимы инструменты обоснованного выбора оптимальной модели долгосрочной тенденции, а также инструментарий выявления его изменений.

Также в работе поднят вопрос, связанный с возможностью оценить при помощи данных моделей эффективность работы экономических механизмов в регионе. Полученные модели эмпирически подтверждают такую

возможность, однако в силу ограниченности базы для расчетов это предположение требует дальнейшего изучения.

Литература

1. Астраханцева, И. А. Экономические циклы в общественно-экономическом развитии / И. А. Астраханцева, Р. Г. Астраханцев // Сборники конференций НИЦ Социосфера. – 2014. – № 44. – С. 7-11.
2. Нижегородцев, Р. М. Управление технологиями как основа цикло-ориентированного управления изменениями в производственных процессах / Р. М. Нижегородцев, Н. П. Горидько // Инновационное развитие экономики. – 2020. – № 1 (55). – С. 45-53.
3. Сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации. Регионы России. Социально-экономические показатели [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> [дата обращения 07.07.2026].
4. Рейтинг инновационного развития субъектов Российской Федерации. Выпуск 10 [Электронный -ресурс] / В. Л. Абашкин, Г. И. Абдрахманова, С. В. Артёмов [и др.]; под ред. Л. М. Гохберга, Е. С. Куценко; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – Электрон. текст. дан. (21.7 Мб). – М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2025. – ISBN 978-5-7598-3113-6. Режим доступа: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/1068200858.pdf> [дата обращения 07.07.2026].

© Симонов А. Б., Рогачёв А. Ф., 2026