

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК: 330.34:330.43+519.86

JEL: O31, O33

Сигнатурный подход к оценке и прогнозированию инновационного развития России и стран ШОС

К.Х. Зоидов, к.ф.-м.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-8474-0895>; SPIN-код (ПИИЦ): 2293-9802

Scopus author ID: 57190430349

e-mail: kobiljonz@mail.ru

Для цитирования

Зоидов К.Х. Сигнатурный подход к оценке и прогнозированию инновационного развития России и стран ШОС // Проблемы рыночной экономики. - 2026. - № 2. - С. 264-276.

DOI: 10.33051/2500-2325-2026-2-264-276

Аннотация

В статье предложен сигнатурно-сплайновый подход к оценке и прогнозированию инновационного развития России и стран ШОС. **Цель работы.** В качестве базовых координат инновационной траектории используются расходы на НИОКР, патентная активность, высокотехнологичный экспорт и численность исследователей. **Методология.** Методика включает логарифмирование асимметричных рядов, панельное z-нормирование, восстановление непрерывных траекторий кубическими сглаживающими сплайнами и последующее вычисление лог-сигнатур второго и третьего порядка. В отличие от традиционных авторегрессионных моделей предложенная конструкция позволяет учитывать не только инерцию показателей, но и форму траектории, последовательность изменений, лаговую структуру и нелинейность связей между фазами инновационного цикла. **Результаты.** Эмпирические расчеты показывают, что страны ШОС существенно различаются как по направлению движения патентно-экспортного контура, так и по степени его кривизны. Китай и Индия формируют ядро с устойчивым положительным сдвигом по патентам и высокотехнологичному экспорту, тогда как Россия, Иран и Таджикистан демонстрируют отрицательные конфигурации, а Узбекистан и Киргизия - выраженную асимметрию экспортного профиля. На основе полученных сигнатурных признаков и индекса институционально-инфраструктурной готовности дана сравнительная оценка устойчивости кооперационных контуров России со странами ШОС. Наиболее перспективными внешними контурами выступают пары Россия - Индия и Россия - Китай, тогда как контуры Россия - Киргизия и Россия - Таджикистан характеризуются низкой воспроизводимостью совместного инновационного эффекта. **Выводы.** Сделан вывод о том, что сигнатурный аппарат целесообразно использовать как инструмент не только ретроспективной типологизации, но и прогноза динамики инновационного пространства ШОС.

Ключевые слова: сигнатурно-сплайновый подход, инновационное развитие, ШОС, Россия, сигнатурный анализ, лог-сигнатура, кубический сплайн, прогнозирование, патентная активность, высокотехнологичный экспорт.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 25-28-03190).

A signature approach to assessing and forecasting the innovative development of Russia and the SCO countries

Kobiljon Kh. Zoidov, Cand. of Sci. (Phys.&Math.), Associate Professor
<https://orcid.org/0000-0002-8474-0895>; SPIN-code (RSCI): 2293-9802
Scopus author ID: 57190430349
e-mail: kobiljonz@mail.ru

For citation

Zoidov K.Kh. Modeling of system-integrated substantiation of fundamental research of innovative development of national economies of Russia and the SCO countries // Market economy problems. - 2026. - No. 2. - Pp. 264-276 (In Russian).

DOI: 10.33051/2500-2325-2026-2-264-276

Abstract

The article proposes a signature-spline approach to assessing and predicting the innovative development of Russia and the SCO countries. **The purpose of the work.** R&D expenditures, patent activity, high-tech exports, and the number of researchers is used as the basic coordinates of the innovation trajectory. **Methodology.** The technique includes logarithmization of asymmetric series, panel z-normalization, restoration of continuous trajectories by cubic smoothing splines, and subsequent calculation of second- and third-order log signatures. Unlike traditional autoregressive models, the proposed design allows taking into account not only the inertia of indicators, but also the shape of the trajectory, the sequence of changes, the lag structure and the nonlinearity of the relationships between the phases of the innovation cycle. **Results.** Empirical calculations show that the SCO countries differ significantly both in the direction of the patent-export contour and in the degree of its curvature. China and India form the core with a steady positive shift in patents and high-tech exports, while Russia, Iran and Tajikistan show negative configurations, and Uzbekistan and Kyrgyzstan have a pronounced asymmetry of the export profile. Based on the obtained signature features and the index of institutional and infrastructural readiness, a comparative assessment of the stability of Russia's cooperative contours with the SCO countries is given. The most promising external contours are the pairs Russia - India and Russia - China, while the contours Russia - Kyrgyzstan and Russia - Tajikistan are characterized by low reproducibility of the joint innovation effect. **Conclusions.** It is concluded that it is advisable to use the signature device as a tool not only for retrospective typologization, but also for forecasting the dynamics of the SCO innovation space.

Keywords: *signature-spline approach, innovative development, SCO, Russia, signature analysis, log signature, cubic spline, forecasting, patent activity, high-tech exports.*

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (project No. 25-28-03190).

Введение

Инновационное развитие стран ШОС характеризуется не только различием уровней ресурсного обеспечения и технологической отдачи, но и выраженной асинхронностью прохождения фаз инновационного цикла [1-4]. Для части стран рост НИОКР трансформируется в патентный выход и экспортные эффекты сравнительно быстро, тогда как для других наблюдаются значительные лаги, разрывы или инверсии последовательности «ресурсы - знания - коммерциализация» [11]. В этой ситуации анализ только годовых уровней показателей оказывается недостаточным: одинаковые значения в моменте могут быть результатом принципиально разных траекторий движения [11].

Методы сигнатурного анализа позволяют представить многомерный временной ряд как геометрический путь и формализовать не только масштабы, но и порядок изменений, кривизну

траектории, взаимное опережение координат и наличие нелинейных петель [8]. В экономических исследованиях это особенно важно для систем, где динамика носит асинхронный и неоднородный характер. Поэтому цель статьи состоит в разработке сигнатурного подхода к оценке и прогнозированию инновационного развития России и стран ШОС и в демонстрации его аналитической применимости на материале авторских расчетов по патентно-экспортным и кооперационным контурам.

В исследовании инновационного развития России и стран ШОС исходной теоретической основой выступает представление об инновации как о системном экономическом процессе, включающем не только создание новой технологии, но и ее внедрение, распространение и коммерциализацию. В этом контексте инновационное развитие рассматривается как результат взаимодействия научно-технических, производственных и институциональных факторов. Такой подход позволяет анализировать инновационную динамику не как набор изолированных показателей, а как целостный процесс структурных изменений в экономике [10].

Существенное значение для анализа инновационного развития имеет концепция национальных инновационных систем, в рамках которой инновации трактуются как результат интерактивного обучения, кооперации и обмена знаниями между государством, бизнесом, наукой и образовательными институтами. Для стран ШОС данная логика особенно важна, поскольку различия в уровне институциональной зрелости, структуре экономики и научно-технологическом потенциале формируют неодинаковые траектории инновационного движения, что требует сопоставления не только уровней, но и характера развития [11].

Методология и обзор литературы

Методологической основой сигнатурного подхода служит теория шероховатых траекторий, в рамках которой многомерный путь рассматривается как носитель информации о последовательности, интенсивности и взаимосвязи изменений. Это особенно важно для анализа инновационного развития, поскольку временные ряды по НИОКР, патентам, исследователям и высокотехнологичному экспорту содержат не только тренд, но и сложную внутреннюю геометрию, отражающую фазовые сдвиги и асинхронность процессов [12].

С точки зрения прикладного анализа сигнатуры представляют собой компактный способ кодирования формы временного ряда, позволяющий извлекать информативные признаки из многомерных динамических данных. Для задач исследования инновационного развития это означает возможность учитывать не только абсолютные значения индикаторов, но и порядок их изменения, взаимное запаздывание и направленность взаимодействия между компонентами инновационной системы. Тем самым сигнатурный метод дает более глубокое представление о структуре инновационной траектории страны [8].

Современные исследования подтверждают, что сигнатурные признаки являются эффективным инструментом в задачах статистического обучения, когда необходимо работать со сложными динамическими объектами. Их применение позволяет встраивать траекторную информацию в модели прогнозирования и классификации без потери ключевых свойств временной структуры. Для анализа России и стран ШОС это открывает возможность перейти от обычного сравнения показателей к моделированию скрытой конфигурации инновационного развития и ее прогностического потенциала [9].

Практическая ценность сигнатурного подхода подтверждается его использованием в задачах валидации сценариев и моделирования сложных динамических процессов. Это показывает, что сигнатуры пригодны не только для описания исторических траекторий, но и для проверки реалистичности будущих сценариев. В контексте инновационного развития стран ШОС такой подход позволяет оценивать не просто ожидаемый рост показателей, а согласованность и устойчивость прогнозируемого инновационного контура [7].

Дальнейшее развитие сигнатурных методов в прикладных моделях демонстрирует их пригодность для высокоразмерных и стохастических систем, где значимым становится не только уровень показателя, но и форма его движения. В исследованиях управления портфелями показано, что сигнатурные представления позволяют эффективно работать с нестабильными и нелинейными процессами. Для инновационной тематики это особенно актуально, поскольку

инновационное развитие стран ШОС также характеризуется высокой неоднородностью, нелинейностью и разной скоростью структурных сдвигов [6].

Информационной базой оценки инновационного развития служат международные статистические базы, в том числе показатели затрат на исследования и разработки, высокотехнологичного экспорта и численности исследователей. Использование данных World Development Indicators обеспечивает межстрановую сопоставимость и позволяет сформировать единую панель наблюдений для России и стран ШОС. Это особенно важно при построении многомерных инновационных траекторий, где сопоставимость входных данных определяет корректность последующего сигнатурного анализа [16].

Для характеристики результативности инновационной активности существенное значение имеют данные о патентных заявках, поскольку именно они отражают формализованный выход научно-технологической деятельности. Патентная статистика WIPO позволяет проследить различия в интенсивности генерации новых знаний между странами ШОС и использовать эти сведения как один из ключевых компонентов инновационного контура. В сочетании с другими индикаторами патентные данные позволяют выявлять не только уровень, но и структуру инновационного развития [15].

Значимым источником для анализа кадрового и научного потенциала выступает база данных Института статистики ЮНЕСКО, содержащая сведения о численности исследователей и параметрах научно-технологического развития. Данный показатель особенно важен в рамках сигнатурного подхода, поскольку он отражает не просто текущий ресурс инновационной системы, а одну из базовых координат долгосрочной траектории ее развития. Для стран ШОС различия по этому параметру позволяют зафиксировать степень кадровой обеспеченности инновационного роста [14].

Методы исследования и полученные результаты:

При исследовании кооперационных контуров России в пространстве ШОС необходимо учитывать, что инновационное взаимодействие внутри объединения имеет сетевой характер и определяется не только двусторонними отношениями, но и общей архитектурой межгосударственных связей. Анализ инновационной кооперации в рамках ШОС показывает, что внутри объединения формируются устойчивые и периферийные узлы взаимодействия, а интенсивность обмена знаниями и технологиями зависит от масштаба экономик, институциональной совместимости и уровня технологической зрелости участников [17].

При построении интегральных и сравнительных показателей инновационного развития важное методическое значение имеет корректное конструирование составных индексов. Использование принципов нормирования, агрегирования и проверки чувствительности позволяет избежать искажений при сравнении стран с различными масштабами экономики и неодинаковой структурой исходных данных. Это особенно важно при формировании индексных характеристик институционально-инфраструктурной готовности и сопоставлении кооперационных контуров России со странами ШОС [13].

Информационной базой выступают годовые ряды по странам ШОС за 2015-2025 гг., сформированные по четырем индикаторам:

R - расходы на НИОКР; P - патентная активность; E - высокотехнологичный экспорт; H - численность исследователей.

Для обеспечения сопоставимости разноразмерных рядов используется многошаговая процедура предобработки. Сначала асимметричные ряды переводятся в логарифмический масштаб:

$$\tilde{x}_{c,k,t} = \ln(1 + x_{c,k,t}) \quad (1)$$

где $\tilde{x}_{c,k,t}$ – значение k -го инновационного индикатора для страны c в момент времени t после логарифмического преобразования;

$x_{c,k,t}$ – исходное фактическое значение k -го инновационного индикатора для страны c в момент времени t ;

$\ln(\cdot)$ – натуральный логарифм;

c – индекс страны;

k – индекс инновационного индикатора;

t – индекс времени.

Далее выполняется панельное нормирование по каждой координате, что позволяет исключить эффект различий масштаба между странами и сохранить информацию о сравнительном положении наблюдений:

$$z_{c,k,t} = \frac{\tilde{x}_{c,k,t} - \mu_k}{\sigma_k} \quad (2)$$

где $z_{c,k,t}$ – стандартизированное значение k -го инновационного индикатора для страны c в момент времени t ;

$\tilde{x}_{c,k,t}$ – логарифмированное значение k -го инновационного индикатора для страны c в момент времени t ;

μ_k – среднее значение k -го индикатора по совокупности стран и временных наблюдений;

σ_k – среднее квадратическое отклонение k -го индикатора по совокупности стран и временных наблюдений;

c – индекс страны;

k – индекс инновационного индикатора;

t – индекс времени.

Для восстановления непрерывной траектории инновационного развития по каждому индикатору оценивается кубический сглаживающий сплайн. Его оптимизация задается как компромисс между точностью аппроксимации и штрафом за избыточную кривизну:

$$s_{c,k}(t) = \operatorname{argmin}_f \sum_{\tau=1}^T (z_{c,k,\tau} - f(\tau))^2 + \lambda \int (f''(u))^2 du \quad (3)$$

где $s_{c,k}(t)$ – сглаженная непрерывная траектория k -го инновационного индикатора для страны c в момент времени t ;

argmin_f – оператор выбора такой функции f , при которой целевая функция принимает минимальное значение;

$f(\tau)$ – аппроксимирующая функция, описывающая динамику показателя во времени;

$z_{c,k,\tau}$ – нормированное значение k -го инновационного индикатора для страны c в дискретный момент τ ;

T – число временных наблюдений в исследуемом периоде;

$\sum_{\tau=1}^T (z_{c,k,\tau} - f(\tau))^2$ – сумма квадратов отклонений фактических значений от сглаживающей функции, характеризующая точность аппроксимации;

λ – параметр сглаживания, определяющий баланс между точностью подгонки и гладкостью траектории;

$\int (f''(u))^2 du$ – интегральный штраф за избыточную кривизну функции;

$f''(u)$ – вторая производная функции f по аргументу u , отражающая степень изгиба траектории;

u – переменная интегрирования на временном интервале наблюдения.

После этого для каждой страны формируется четырехмерный путь инновационного развития:

$$X_c(t) = (s_{c,R}(t), s_{c,P}(t), s_{c,E}(t), s_{c,H}(t))^T \quad (4)$$

где $X_c(t)$ – четырехмерный вектор инновационного развития страны c в момент времени t ;

$s_{c,R}(t)$ – сглаженная траектория расходов на исследования и разработки;

$s_{c,P}(t)$ – сглаженная траектория патентной активности;

$s_{c,E}(t)$ – сглаженная траектория высокотехнологичного экспорта;

$s_{c,H}(t)$ – сглаженная траектория численности исследователей;

T – знак транспонирования, показывающий, что компоненты образуют вектор-столбец;

R – индикатор затрат на НИОКР;

P – индикатор патентной активности;

E – индикатор высокотехнологичного экспорта; H – индикатор обеспеченности исследовательскими кадрами.

На скользящем временном окне длиной w вычисляется усеченная лог-сигнатура порядка m . В базовой спецификации используется $m = 2$, в расширенной - $m = 3$:

$$LS_{c,t}^{(m)} = \log \text{Sig}(X_c | [t - w, t]), \quad m \in \{2, 3\} \quad (5)$$

где $LS_{c,t}^{(m)}$ – усеченная лог-сигнатура порядка m , вычисленная для инновационной траектории страны c на момент времени t ;

$\log \text{Sig}(\cdot)$ – оператор логарифма сигнатуры пути;

$X_c | [t-w, t]$ – участок траектории инновационного развития страны c , ограниченный временным окном от $t - w$ до t ; w – длина скользящего временного окна;

m – порядок усечения лог-сигнатуры;

$m \in \{2, 3\}$ – множество рассматриваемых порядков сигнатурного разложения, где $m = 2$ соответствует базовой спецификации модели, а $m = 3$ – расширенной спецификации; t – текущий момент времени, для которого формируется набор сигнатурных признаков.

Параллельно в модель вводится вектор локальных сплайн-характеристик, отражающий текущую скорость и ускорение по каждой координате:

$$g_{c,t} = (\dot{X}_c(t), \ddot{X}_c(t)) \quad (6)$$

где $g_{c,t}$ – вектор локальных сплайн-характеристик страны c на момент времени t ;

$\dot{X}_c(t)$ – вектор первых производных траектории $X_c(t)$, отражающий текущую скорость изменения инновационных показателей;

$\ddot{X}_c(t)$ – вектор вторых производных траектории $X_c(t)$, характеризующий ускорение или замедление динамики инновационных показателей;

c – индекс страны;

t – момент времени, в котором оцениваются локальные характеристики траектории.

Базовая одномерная модель прогноза следующего значения инновационного индикатора имеет вид:

$$\hat{y}_{c,k,t+1} = \alpha_k + \rho_k y_{c,k,t} + \beta_k^T LS_{c,t}^{(m)} + \gamma_k^T g_{c,t} + \varepsilon_{c,k,t+1} \quad (7)$$

где $\hat{y}_{c,k,t+1}$ – прогнозируемое значение k -го инновационного индикатора для страны c на следующий момент времени $t + 1$;

α_k – свободный член модели для k -го индикатора;

ρ_k – коэффициент авторегрессионного влияния текущего значения показателя;

$y_{c,k,t}$ – фактическое значение k -го инновационного индикатора страны c на момент времени t ;

β_k^T – вектор коэффициентов при сигнатурных признаках;

$LS_{c,t}^{(m)}$ – вектор сигнатурных признаков порядка m , рассчитанных по инновационной траектории страны c ;

γ_k^T – вектор коэффициентов при локальных сплайн-характеристиках;

$g_{c,t}$ – вектор скоростей и ускорений инновационной траектории страны c на момент времени t ;

$\varepsilon_{c,k,t+1}$ – случайная ошибка прогноза;

c – индекс страны;

k – индекс инновационного индикатора;

t – текущий момент времени.

Для анализа кооперационных эффектов России с отдельными странами ШОС строится парная модель по направлению j , в которой прирост российского показателя объясняется формой совместной траектории и дополнительными характеристиками инфраструктурной готовности:

$$\Delta y_{RU,j,t+1} = a_j + b_j \Delta y_{RU,j,t} + \theta_j^T LS_{RU-j,t} + \delta_j^T Z_{j,t} + u_{j,t+1} \quad (8)$$

где $\Delta y_{RU,j,t+1}$ – прогнозируемый прирост российского инновационного показателя по направлению взаимодействия со страной j на момент времени $t + 1$;

a_j – свободный член парной модели по направлению j ;

b_j – коэффициент инерционного влияния предыдущего прироста показателя;

$\Delta y_{RU,j,t}$ – текущий прирост российского показателя по направлению взаимодействия с государством j в момент времени t ;

θ_j^T – вектор коэффициентов при сигнатурных признаках совместной траектории России и страны j ;

$LS_{RU-j,t}$ – лог-сигнатура совместной траектории России и страны j , характеризующая форму их кооперационного контура на момент времени t ;

δ_j^T – вектор коэффициентов при дополнительных объясняющих переменных;

$Z_{j,t}$ – вектор дополнительных характеристик страны j в момент времени t , включающий институционально-инфраструктурные и внешнеэкономические параметры;

$u_{j,t+1}$ – случайная ошибка парной модели;

RU – Россия; j – страна-партнер по ШОС;

t – текущий момент времени.

Здесь $Z_{j,t}$ включает индекс институционально-инфраструктурной готовности, показатели контурной близости и внешнеэкономической пропускной способности. Параметры оцениваются с ridge-регуляризацией, поскольку при коротких годовых рядах и высокоразмерных сигнатурных признаках возникает риск переобучения [7].

Для того чтобы сигнатурный аппарат не оставался чисто декларативным, важно показать его параметрическую нагрузку. При $d = 4$ координатах размерность сигнатурного блока равна $\Sigma(d^l)$, $l = 1..m$, то есть 20 признаков при $m = 2$ и 84 признака при $m = 3$. Вектор локальных производных содержит 8 компонентов. Это означает, что уже в одном уравнении для отдельного индикатора при $m = 2$ оценивается 30 параметров с учетом константы, а при $m = 3$ – 94 параметра. Соответственно, для системы из четырех индикаторов параметрическая нагрузка возрастает до 120 и 376 коэффициентов. Именно поэтому в эмпирическом контуре статьи базовой принимается спецификация второго порядка.

Таблица 1

Параметрическая структура сигнатурно-сплайновой модели

Параметр модели	$m = 2$	$m = 3$	Интерпретация
Размерность сигнатурного блока, p_{sig}	20	84	$p_{sig} = \sum_{l=1}^m d^l$, при $d = 4$
Размерность вектора $g_{c,t}$	8	8	первые и вторые производные по 4 координатам
Параметры одного уравнения	30	94	лаг, сигнатуры, производные, константа
Параметры системы из 4 уравнений	120	376	минимум без учета межстрановых взаимодействий

Обсуждение полученных результатов исследования

Эмпирическая проверка методики целесообразно начинается с двухмерного патентно-экспортного контура, поскольку именно он наиболее наглядно показывает, как сигнатурные признаки фиксируют не только направление изменения, но и форму траектории.

В таблице 2 приведены авторские расчеты первого и второго уровней сигнатуры для пары координат Р-Е. Компоненты $\Delta \ln P$ и $\Delta \ln E$ отражают интегральный сдвиг патентов и высокотехнологичного экспорта, а A_{levu} характеризует ориентированную площадь между координатами, то есть лаговую асинхронность и нелинейность траектории.

Таблица 2

Расчетные параметры первого и второго уровней сигнатуры траекторий патентной активности и высокотехнологичного экспорта стран ШОС

Страна	$\Delta \ln P$	$\Delta \ln E$	$ \Delta $	A_levy	$ A $	Интерпретация
Китай	0,582	0,436	0,727	-0,044	0,044	рост Р и Е, низкая нелинейность
Индия	1,402	1,233	1,867	-0,048	0,048	сильный рост Р и Е, низкая нелинейность
Россия	-0,407	-0,455	0,610	-0,007	0,007	синхронный спад Р и Е, почти линейная траектория
Казахстан	-0,593	0,319	0,673	-0,008	0,008	экспортный перекося, низкая нелинейность
Беларусь	-0,517	0,785	0,940	-0,062	0,062	экспортный перекося, средняя нелинейность
Пакистан	0,887	0,387	0,967	0,002	0,002	рост Р и Е, почти без лага
Иран	-0,818	-1,000	1,292	-0,137	0,137	спад Р и Е, средняя нелинейность
Киргизия	-0,375	1,752	1,792	-0,407	0,407	резкий экспортный перекося, высокая нелинейность
Узбекистан	0,594	2,753	2,816	-0,094	0,094	сильный рост с доминированием экспорта
Таджикистан	-1,099	-5,853	5,955	1,178	1,178	экстремальный спад, очень высокая нелинейность

Данные таблицы 2 подтверждают, что ядро инновационного пространства ШОС формируют Китай и Индия. Обе страны имеют положительные значения как по патентной активности, так и по высокотехнологичному экспорту, причем совокупный вектор изменения у Индии почти в 2,6 раза больше, чем у Китая. Это означает, что Индия выступает наиболее быстро восходящей траекторией, тогда как Китай сохраняет статус наиболее масштабного и структурно устойчивого ядра.

Россия, напротив, демонстрирует отрицательные сдвиги одновременно по обеим координатам при почти нулевой ориентированной площади. Такое сочетание указывает не на волнообразную перестройку, а именно на сжатие патентно-экспортного контура. Узбекистан и Киргизия демонстрируют иную конфигурацию: здесь наблюдается не столько сбалансированное

инновационное усиление, сколько экспортно-доминируемая асимметрия. Наиболее неблагоприятная траектория фиксируется для Таджикистана, где модуль общего сдвига и площадь петли максимальны, что свидетельствует об экстремальном спаде и высокой неустойчивости пути.

Вторая прикладная задача состоит в сравнении кооперационных контуров России с партнерами по ШОС. В таблице 3 сведены результаты сопоставления по индексу институционально-инфраструктурной готовности и динамике высокотехнологичного экспорта к 2019 г. Эти показатели не заменяют сигнатурный анализ, а выступают его внешними якорями: они показывают, насколько геометрия совместной траектории подкреплена организационными и внешнеэкономическими условиями.

Таблица 3

Сравнительная оценка кооперационных контуров России со странами ШОС

Партнер России	Тип Р-Е	Index ready	Уровень ВТЭ 2025 к 2019, %	Характер контура с Россией	Итоговая устойчивость
Китай	ядро	0,827	41,04	масштабный, асимметрично-комплементарный	высокая
Индия	ядро	0,804	113,33	растущий, комплементарный, наименее деформированный	высокая
Беларусь	ядро	0,630	58,24	функционально близкий, прикладной	средне-высокая
Казахстан	экспортно-ориентированный	0,650	76,51	экспортно-комплементарный	средняя
Иран	научно-ориентированный	0,624	-42,02	сходный по типу, но сжимающийся	низко-средняя
Узбекистан	догоняющий	0,681	498,44	формирующийся, перспективный, но низкобазовый	средняя с повышенным риском
Пакистан	догоняющий	0,710	-0,93	рыночно-расширительный, но технологически слабый	низко-средняя
Киргизия	экспортно-ориентированный	0,592	747,87	периферийный, низкобазовый, сильно нелинейный	низкая
Таджикистан	догоняющий	0,501	-97,84	депрессивный, разорванный	очень низкая

Результаты сравнительной оценки кооперационных контуров России со странами ШОС показывают, что наибольшей устойчивостью обладают направления взаимодействия с Китаем и Индией. Оба партнера относятся к ядру патентно-экспортного контура, характеризуются высокими значениями индекса институционально-инфраструктурной готовности и демонстрируют качественно более зрелую конфигурацию взаимодействия с Россией. При этом

китайский контур определяется как масштабный и асимметрично-комплементарный, что отражает его системную емкость и способность поддерживать устойчивый инновационный обмен даже при различии национальных моделей развития. Индийский контур, напротив, отличается наиболее выраженной динамикой роста и меньшей деформированностью, вследствие чего его можно рассматривать как одно из наиболее перспективных направлений углубления технологического сотрудничества России в пространстве ШОС.

Вторую группу образуют Беларусь, Казахстан и Узбекистан, для которых характерен средний или средне-высокий уровень устойчивости. Беларусь сохраняет статус одного из наиболее функционально близких партнеров России, поскольку взаимодействие с ней носит прикладной характер и опирается на сравнительно высокую структурную совместимость инновационных и производственных процессов. Казахстан демонстрирует экспортно-комплементарную модель кооперации, в которой положительную роль играют геоэкономическая близость и логистическая связанность, однако устойчивость такого контура ограничивается его более узкой специализацией. Особое место занимает Узбекистан, который при крайне высоком приросте показателя высокотехнологичного экспорта сохраняет статус формирующегося партнера. Это означает, что наблюдаемая динамика указывает на значительный потенциал сближения с Россией, однако низкая базовая основа и повышенная чувствительность к структурным ограничениям не позволяют пока отнести данный контур к числу устойчивых без существенных оговорок.

Наименее устойчивые кооперационные контуры фиксируются у Ирана, Пакистана, Киргизии и Таджикистана. В случае Ирана ограничителем выступает сжимающийся характер взаимодействия при сходстве научно-ориентированных моделей, что указывает на недостаточную трансформацию научного потенциала в расширяющийся инновационно-экспортный обмен. Пакистан также сохраняет невысокую устойчивость, поскольку при наличии рыночно-расширительного вектора его технологическая база остается слабой. Киргизия и Таджикистан занимают периферийные позиции: для первой страны характерны сильная нелинейность и низкая базовая база роста, а для второй — фактически депрессивный и разорванный контур взаимодействия. В совокупности это позволяет сделать вывод, что стратегическое ядро кооперации России в ШОС формируется вокруг Китая, Индии и частично Беларуси, тогда как взаимодействие с остальными государствами требует либо точечной институциональной поддержки, либо осторожной оценки реального потенциала интеграции.

Полученные результаты подтверждают, что наиболее сильные внешние контуры России связаны не просто с крупнейшими партнерами, а с теми странами, где сигнатурная форма траектории сочетается с высокой институциональной готовностью. Пара Россия - Индия выглядит наиболее сбалансированной: при высоком значении Index ready (0,804) она демонстрирует положительную экспортную динамику и наименее деформированную кооперационную траекторию. Контур Россия - Китай также остается высокоустойчивым, однако его асимметрия выше, что отражает более выраженную зависимость российского сегмента от внешнего технологического ядра.

Беларусь и Казахстан образуют второй эшелон устойчивости. Для Узбекистана сигнал скорее переходный: очень высокий рост экспортного профиля сочетается с более низкой базой и повышенным риском воспроизводимости эффекта. Иран, Пакистан, Киргизия и Таджикистан тяготеют к низкоустойчивым контурам. Особенно показателен случай Киргизии: экстремальный рост высокотехнологичного экспорта сам по себе не означает устойчивого инновационного эффекта, поскольку сигнатурная траектория остается сильно нелинейной и периферийной.

Можно сделать вывод, что сигнатурный подход дает аргументированное основание для ранжирования стран ШОС не только по уровню показателей, но и по качеству траекторий. Если традиционный анализ отвечает на вопрос, «кто выше или ниже» по конкретному индикатору, то сигнатурный аппарат позволяет ответить на более сложный вопрос: «каким путем страна пришла к текущему состоянию и что это означает для прогноза». В прикладном отношении это делает возможным переход от статической типологии к прогнозу кооперационных эффектов России с учетом формы совместной траектории.

Заключение

В данной статье разработан сигнатурно-сплайновый подход к оценке и прогнозированию инновационного развития России и стран ШОС. Его ключевое отличие состоит в том, что в модель вводятся не только уровни инновационных показателей и их инерция, но и геометрия траектории, выраженная через лог-сигнатуры и локальные сплайн-характеристики. Проведенные расчеты показали, что Китай и Индия формируют ядро инновационного пространства ШОС, причем Индия выступает наиболее быстро растущим контуром, а Китай - системообразующим центром. Россия характеризуется сжатием патентно-экспортной траектории, что указывает на незамкнутость инновационного цикла между генерацией знаний и внешней коммерциализацией. Наиболее перспективные кооперационные контуры России связаны с Индией и Китаем; среднеустойчивые - с Беларусью, Казахстаном и, при определенных институциональных условиях, с Узбекистаном.

В переносе сигнатурного аппарата из области анализа последовательностей и финансовой математики в сферу межстранового исследования инновационного пространства ШОС состоит методологическая основа исследования. Практическая значимость заключается в возможности использовать предложенную модель для сценарного прогнозирования и отбора приоритетных направлений технологической кооперации России. Дальнейшее развитие исследования целесообразно связать с кросс-валидацией на расширяющемся окне, сопоставлением с ARIMA, Prophet и LSTM-моделями, и проверкой устойчивости результатов для сигнатур третьего порядка.

Литература

1. Зоидов К.Х. Математическая сигнатура как инструмент анализа устойчивости инновационных стратегий взаимодействия национальных экономик России и стран ШОС / Под ред. академика РАН В.Л. Макарова; чл.-корр. РАН А.Р. Бахтизина – М.: ЦЭМИ РАН, 2026. – 193 с.
2. Зоидов К.Х. Математическая сигнатура как метод анализа и прогнозирования устойчивости инновационных стратегий взаимодействия национальных экономик России и стран ШОС / Под ред. академика РАН В.Л. Макарова; чл.-корр. РАН А.Р. Бахтизина – М.: ЦЭМИ РАН, 2026. – 500 с.
3. Зоидов К.Х. Математическая сигнатура как метод прогнозирования и моделирования международных взаимодействий в инновационном пространстве ШОС / Под ред. академика РАН В.Л. Макарова; чл.-корр. РАН А.Р. Бахтизина – М.: ЦЭМИ РАН, 2026. – 237 с.
4. Зоидов К.Х. Моделирование системно-комплексного обоснования фундаментальных исследований инновационного развития национальных экономик России и стран ШОС // Проблемы рыночной экономики. - 2026. - № 1. - С. 238-281.
5. Машенко, К.А. Сигнатурные методы анализа временных рядов. – Текст: электронный // Электронные библиотеки. – 2025. – Т. 28, № 3. – С. 681–700. – URL: <https://rdl-journal.ru/article/view/905> (дата обращения: 28.02.2026). – DOI: 10.26907/1562-5419-2025-28-3-681-700.
6. Akyildirim E., Gambara M., Teichmann J., Zhou S. Randomized signature methods for portfolio management // Quantitative Finance. - 2025. - Vol. 25. - No. 3. - P. 1-20.
7. Andr  s H., Boumezoued A., Jourdain B. Signature-based validation of market scenarios // European Journal of Operational Research. - 2024. - Vol. 313. - No. 1. - P. 258-273.
8. Chevyrev I., Kormilitzin A. A Primer on the Signature Method in Machine Learning // arXiv preprint arXiv:1603.03788. - 2016.
9. Fermanian A. Embedding and learning with signatures // Computational Statistics and Data Analysis. - 2021. - Vol. 157.
10. Freeman C. The Economics of Industrial Innovation. - London: Routledge, 1997. - 470 p.
11. Lundvall B.-A. National Systems of Innovation: Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning. - London: Anthem Press, 2010. - 404 p.

12. Lyons T., Caruana M., Lévy T. Differential Equations Driven by Rough Paths. - Berlin: Springer, 2007. - 109 p.
13. OECD. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. - Paris: OECD Publishing, 2008. - 162 p.
14. UNESCO Institute for Statistics. Science, technology and innovation database. - Montreal, 2025.
15. WIPO. IP Statistics Data Center: patent applications by origin and office. - Geneva, 2025.
16. World Bank. World Development Indicators: Research and development expenditure, high-technology exports, researchers in R&D. - Washington, D.C., 2025.
17. Zhang C., Wang J., Xu L. Innovation cooperation network within the Shanghai Cooperation Organization // Sustainability. - 2023. - Vol. 15. - No. 18.

References

1. Zoidov K.Kh. Mathematical signature as a tool for analyzing the sustainability of innovative strategies for interaction between the national economies of Russia and the SCO countries / Edited by Academician of the RAS V.L. Makarov; Corresponding Member of the RAS A.R. Bakhtizin – M.: CEMI RAS, 2026. – 193 p.
2. Zoidov K.Kh. Mathematical signature as a method for analyzing and predicting the sustainability of innovative strategies for interaction between the national economies of Russia and the SCO countries / Edited by Academician of the RAS V.L. Makarov; Corresponding Member of the RAS A.R. Bakhtizin – M.: CEMI RAS, 2026. – 500 p.
3. Zoidov K.Kh. Mathematical signature as a method of forecasting and modeling international interactions in the SCO innovation space / Edited by Academician of the RAS V.L. Makarov; Corresponding Member of the RAS A.R. Bakhtizin – M.: CEMI RAS, 2026. – 237 p.
4. Zoidov K.Kh. Modeling of system-integrated substantiation of fundamental research of innovative development of national economies of Russia and the SCO countries // Market economy problems. - 2026. - No. 1. - Pp. 238-281.
5. Mashchenko, K.A. Signature methods of time series analysis. – Text: electronic // Electronic libraries. – 2025. – Vol. 28, No. 3. – pp. 681-700. – URL: <https://rdl-journal.ru/article/view/905> (date of request: 02/28/2026). – DOI: 10.26907/1562-5419-2025-28-3-681-700.
6. Akyildirim E., Gambarara M., Teichmann J., Zhou S. Randomized signature methods for portfolio management // Quantitative Finance. - 2025. - Vol. 25. - No. 3. - P. 1-20.
7. Andrès H., Boumezoued A., Jourdain B. Signature-based validation of market scenarios // European Journal of Operational Research. - 2024. - Vol. 313. - No. 1. - P. 258-273.
8. Chevyrev I., Kormilitzin A. A Primer on the Signature Method in Machine Learning // arXiv preprint arXiv:1603.03788. - 2016.
9. Fermanian A. Embedding and learning with signatures // Computational Statistics and Data Analysis. - 2021. - Vol. 157.
10. Freeman C. The Economics of Industrial Innovation. - London: Routledge, 1997. - 470 p.
11. Lundvall B.-A. National Systems of Innovation: Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning. - London: Anthem Press, 2010. - 404 p.
12. Lyons T., Caruana M., Lévy T. Differential Equations Driven by Rough Paths. - Berlin: Springer, 2007. - 109 p.
13. OECD. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. - Paris: OECD Publishing, 2008. - 162 p.
14. UNESCO Institute for Statistics. Science, technology and innovation database. - Montreal, 2025.
15. WIPO. IP Statistics Data Center: patent applications by origin and office. - Geneva, 2025.
16. World Bank. World Development Indicators: Research and development expenditure, high-technology exports, researchers in R&D. - Washington, D.C., 2025.
17. Zhang C., Wang J., Xu L. Innovation cooperation network within the Shanghai Cooperation Organization // Sustainability. - 2023. - Vol. 15. - No. 18.

Об авторе

Зойдов Кобилжон Ходжиевич, кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, руководитель Лаборатории моделирования евразийской интеграции и мирохозяйственных процессов, руководитель Международного отдела, Центральный экономико-математический институт РАН, Россия, Москва.

About author

Kobiljon Kh. Zoidov, Candidate of Sci. (Phys.&Math.), Associate Professor, Leading Researcher, Head of the Laboratory for Modeling Eurasian Integration and Global Economic Processes, Head of the International Department, Central Economics and Mathematics Institute of RAS, Russia, Moscow.