

СПЛАЙН-АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИИ ПОТОКОВ

Руслан Хизраилевич ИЛЬЯСОВ

кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой математических методов в экономике,
Чеченский государственный университет (ЧГУ), Грозный, Российская Федерация
ilyasov_95@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7040-798X>
SPIN-код: 7803-2120

История статьи:

Рег. № 737/2019
Получена 25.11.2019
Получена в доработанном
виде 11.12.2019
Одобрена 25.12.2019
Доступна онлайн
30.01.2020

УДК 330.4

JEL: C01, C02

Аннотация

Предмет. Взаимосвязи в современной экономике становятся столь быстрыми, турбулентными, сложными, скрытными, что для исследования их конъюнктур приходится обращаться к некоей «тонкой» парадигме. Ключом в одном из этих подходов оказывается сравнение не самих показателей, а их изменений – абсолютных или относительных приростов. Если оперировать понятиями экономических «количеств» – запасами и потоками, то при поиске взаимосвязей между ними необходимо привести показатели к одному типу. Предметом исследования является поиск корреляций между потоками в моделях с непрерывным временем.

Цели. Анализ эффективности сплайн-аппроксимации дискретной динамики запасов, их преобразования в непрерывные потоки с поиском «латентных» корреляций между экономическими показателями.

Методология. Если в моделях с дискретным временем переход к потокам возможен расчетом цепных приростов, то в моделях с непрерывным временем предлагается метод преобразования запасов в потоки дифференцированием функции динамики запасов.

Результаты. Первые производные переменных, то есть потоки, позволили найти корреляцию в замедлениях и ускорениях процессов – между потоками экспорта нефти и денежной массы в экономике России, чего не наблюдалось в динамике абсолютных показателей экономического движения.

Выводы. Сплайновым моделированием динамики запасов денежной массы удастся выполнить ее преобразование в поток с последующим сравнением с потоком экспорта нефти. Между потоками денежной массы и экспорта нефти «скрытая» корреляция теперь выявляется явно, чего не удавалось достичь методами классической эконометрики. На практике предлагаемый метод поиска корреляций может быть полезен при исследовании взаимосвязей между потоками как в масштабах международной экономики, так и экономики отдельных стран, отраслей и предприятий. Аналитическое представление взаимосвязи между показателями типа запаса и потока может быть полезным и для управления логистическими процессами.

Ключевые слова: запасы, поток, сплайн, производная, корреляция

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2019

Для цитирования: Ильясов Р.Х. Сплайн-анализ корреляции потоков // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2020. – Т. 19, № 1. – С. 173 – 187.
<https://doi.org/10.24891/ea.19.1.173>

Ускорение и усложнение экономического движения, спонтанность и турбулентность развития при моделировании его динамики и исследовании взаимосвязей требует учитывать более «тонкие» особенности протекания исследуемых процессов. «Тонкими»

характеристиками договоримся называть не прямые характеристики сигнала, например, это могут быть четыре первых статистических момента, спектральный состав сигнала, его аналитические свойства, несколько первых производных и пр. Аналогично происходит

со взаимным воздействием разных сигналов, скорость одних процессов может замедлять или ускорять другие.

Обращение к более «чувствительным» (в динамическом смысле слова) методам исследования взаимосвязей требует в первую очередь большей строгости к сохранению свойств реального эмпирического сигнала в модельных построениях. Классическая эконометрика всегда усредняет эмпирические данные, объясняя свой подход их вероятностной природой. В соответствии дискретному набору данных ставится усредненная линия предполагаемой регрессии. Однако усреднение всегда ухудшает исходные эмпирические данные, утрачивая в получаемых моделях полезную информацию о локальных особенностях процесса и его связях, об ускорениях и замедлениях развития процессов, о темпоральных особенностях последовательной эволюции. Выбор моделей регрессии таит в себе большой произвол, вызванный субъективными ограничениями представлений исследователя о форме связи. Становятся актуальными проблемы принципиально нового представления, описания и моделирования экономического сигнала. Новые методы проводят траектории своих модельных линий в точности через все узловые точки эмпирического процесса, делая аппроксимацию (интерполяцию) абсолютной и качественной. Необходимым требованием к предлагаемым методам исследования является непрерывность, аналитичность и вычисляемая дифференцируемость аппроксимирующих функций, что позволит перейти от сравнения в динамике абсолютных дискретных состояний к сравнению «тонких» частей непрерывной модели экономического сигнала – производных, непрерывных колебаний скорости и ускорения [1].

В экономике мы оперируем понятиями «переменные», «запасы» и «потоки» – различными видами экономических «количеств». Представленное различие экономических переменных, запасов (stocks) и потоков (flows) широко известно в экономике [2, 3]. Если говорить о показателях типа

«запас» и «поток», то первые представляют собой состояние некоторого экономического показателя на конкретный момент времени, а вторые – изменения этих состояний за некоторый интервал времени. В качестве примера показателя типа «поток» можно привести объемы экспорта нефти, объемы ВВП, поток платежей и др. Также к показателям типа «поток» будут относиться и все изменения (приросты, скорость изменения) запасов [4–6]. Так, если объем денежной массы на начало года есть показатель типа «запас», то последовательные во времени приросты денежной массы становятся показателем типа «поток».

Классическим примером для иллюстрации понятий запаса и потока служит обычная ванна. Количество воды в ванне – это запас. Вода, поступающая через кран – поток. Известно, что потоки и запасы тесно взаимосвязаны: поток – это изменение запаса (сальдо притока и оттока) за определенный промежуток времени. Последнее утверждение позволяет уточнить определение потока именно как изменение экономического показателя в единицу времени. В словаре современной экономической науки дается такое определение: «Поток (flow) – экономическая величина, которая измеряется в движении, с учетом того периода времени, для которого делается расчет»¹.

Если в моделях с дискретным временем переход от показателей типа «запас» к потоку F выполняется расчетом абсолютных цепных приростов, то для подобного преобразования в моделях с непрерывным временем необходимо дифференцирование функции запасов S :

$$F = dS / dt.$$

При исследовании взаимосвязей в экономике часто возникает задача приведения показателей к сопоставимому виду. Например, если необходимо исследовать зависимость динамики запасов денежной массы от динамики объемов экспорта нефти, мы должны учитывать различия между

¹ Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь. Словарь современной экономической науки. М.: Дело, 2003. 520 с.

моментными и интервальными показателями – запасами и потоком. Это характерный пример несопоставимости данных – сочетание в одной модели данных о состояниях в дискретные моменты времени и данных об изменениях показателя за некоторый интервал времени. Исследование взаимосвязи между экономическими показателями становится корректным и эффективным при приведении эмпирических данных к одному типу – преобразованию запасов в поток дифференцированием или переходу от функции потока к запасам ее интегрированием [7].

В экономической практике часты случаи, когда ускорение развития одного процесса приводит к замедлению другого, не отражаясь при этом в корреляции абсолютных изменений. Например, между абсолютными значениями потока экспорта нефти и запасов денежной массы взаимное воздействие практически отсутствует – коэффициент корреляции между данными за 2005–2017 гг. равен $-0,003$. Для поиска возможной «скрытой» корреляции между процессами необходимо привести эмпирические данные к одному типу – к показателю типа «поток». Использование потоков в экономике требует обращения к новым инструментам, в частности, необходимо дифференцирование экономического сигнала, аналитическое, графическое и численное представление его первой производной. Здесь важно учитывать способность аппроксимирующей функции сохранять в строящихся моделях информацию об изменениях скорости роста исследуемых показателей. Методы классической эконометрики сравнивают данные о дискретных состояниях процессов в отдельных точках. Преобразование дискретных наборов значений исследуемых процессов в непрерывные модельные траектории выполняется «приблизительно в среднем» методом наименьших квадратов, траектория проходит мимо узловых точек, но «наилучшим образом», сглаживая и при этом теряя локальные особенности их взаимодействия. Раз модель строится исследователем интуитивно, модельный и

природный процессы оказываются не идемпотентными [8, 9].

При сравнении поведения потоков возникает необходимость сохранения эмпирического сигнала во всех «узловых» точках процесса с учетом при этом и интерполяционного поведения модельной функции. Модельная функция должна быть непрерывной, чтобы был возможен переход от функции запасов к функции их потока дифференцированием.

Необходимость совпадения модельной функции со всеми узловыми точками эмпирического процесса требует поиска такой аналитической формы аппроксимирующего полинома, структура которой адаптировалась бы к исследуемой динамике даже при наличии в ней «выбросов», «событийных составляющих» и других заметных отклонений от общей тенденции. Таким модельным конструктом в математике, отвечающим приведенным требованиям, является сплайн-функция третьей степени. Аппроксимация кубическим сплайном характеризуется точным совпадением всех узловых точек и модельной траектории, коэффициент детерминации становится равным единице автоматически [10].

Для предлагаемого нового эконометрического сплайн-подхода к поиску взаимосвязей характерны аналитические, графические и численные оценки, изучение систем с переменной структурой, а экономические потоки становятся естественным, «тонким» и эффективным способом исследования. На *рис. 1* выполнено сравнение полиномиальной и сплайновой аппроксимации динамики показателя типа «запас». Видна внешняя репрезентативность сплайновой модели экономическому смыслу. Напротив, полиномиальная кривая не всегда совпадает с реальными значениями процесса в узловых точках – свойственные классической эконометрике сглаживания и усреднения приводят к потере важной информации о локальных особенностях поведения процесса. При последующем преобразовании динамики запасов в их потоки, классический подход не позволяет наблюдать последовательные

колебания скорости роста денежной массы – их потока.

При исследовании динамики потоков важное требование о совпадении модельной функции с эмпирическим сигналом во всех узловых точках предполагает, что стохастика экономики уже учтена в структуре разброса значений показателя в таблице или «узловых» точек по «решетчатой функции». Известны многие замечательные свойства кубических сплайнов, такие как непрерывность, гладкость, свойство минимальной кривизны, трижды дифференцируемость [11–14]. На *рис. 2* представлены результаты дифференцирования полиномиальной и сплайновой моделей динамики запасов денежной массы. Дифференцирование полиномиального тренда отображает сглаженные данные о локальных ускорениях и замедлениях процесса – поток представляет собой усредненную траекторию роста. Производная моделирующей сплайн-функции, напротив, более рельефно представляет динамику потока денежной массы, выявляя особенности «событийных составляющих» динамики в 2008–2009 гг. и 2014–2015 гг. – замедления роста денежной массы в экономике России в условиях кризисов.

Сплайн-аппроксимация позволяет от сравнения дискретных значений экономического показателя, например, показателя типа «запас», перейти к исследованию динамического поведения непрерывных экономических потоков. Аналитичность сплайнов, как это видно на *рис. 3*, позволяет отобразить аналитически, количественно и графически известную взаимосвязь между запасами и потоками с помощью своих производных. Так, первая производная функции динамики запасов денежной массы представляет собой мгновенную скорость изменения запасов, то есть поток. Вторая производная, следуя экономической интерпретации физического движения, становится скоростью потока, а третья – ускорением потока.

Преобразование динамики запасов денежной массы в потоки позволяет перейти к поиску их

корреляции с другим важным для российской макроэкономики показателем типа потока – объемами экспорта нефти. Известно, что с методологической точки зрения было бы некорректным сравнение показателей разного типа, например, запасов денежной массы и потока экспорта нефти. Аппроксимация сплайнами и дифференцирование полученной модели динамики запасов денежной массы позволило привести данные к одному типу. Теперь сравнение происходит между значениями интервальных временных рядов – потока экспорта нефти в миллионах долларов в год и потока (мгновенной скоростью изменений) денежной массы в миллиардах рублей в год. Для некоторых случаев приведение исследуемых показателей к одному типу (запасам или потокам) может быть достаточным для выявления корреляции.

Несмотря на приведение показателей к одному типу, с математической точки зрения все еще различаются их динамические характеристики – сравнение происходит между абсолютными значениями потока экспорта нефти и мгновенной скорости изменения запасов денежной массы. Усиливая требования к сопоставимости данных, логичным было бы преобразование абсолютных значений потока экспорта нефти в мгновенную скорость потока. Для этого сплайн-функцию потока экспорта нефти также продифференцируем. При этом единица измерения преобразованного показателя у нас сохраняется – миллионы долларов в год, но будет представлять собой мгновенную скорость изменения объемов экспорта нефти. Следует отметить, что дифференцирование математической функции потока экспорта нефти не изменяет здесь тип показателя – он остается показателем типа «поток», так как единицы его измерения продолжают относиться к интервалу времени – году.

Некоторые исследователи полагают, что первая производная функции потока (мгновенная скорость потока) становится показателем типа «запас», так как показывает его значение в некоторый момент времени [15]. Однако мгновенная скорость движения (физического, экономического или какого-

либо другого) есть относительный показатель, базой которого является не момент времени, а некоторый интервал – секунда, час, день, год и т.д. Мгновенная скорость не предполагает, что перемещение (или изменение) происходит мгновенно с указанной мгновенной скоростью – оно лишь указывает величину изменения значения исследуемой функции за определенный интервал времени при движении со скоростью, равной скорости в данный момент времени. Таким образом, первая производная функции потока продолжает оставаться показателем типа «поток». Если необходимым условием сравнения экономических показателей было их приведение к одному типу, то достаточным условием становится сравнение их относительных изменений – скорости изменения запасов денежной массы (теперь уже потока) и скорости изменения потока экспорта нефти.

Колебания скорости изменения исследуемых показателей обнаруживают между собой заметную положительную корреляцию – снижение скорости потока экспорта нефти приводит к существенному замедлению потока денежной массы. Особенно заметно это проявляется в кризисные для мировой экономики 2008–2009 гг., а также в период ухудшения конъюнктуры российской экономики в 2014–2015 гг. (рис. 4). Несмотря на сохранение положительного знака первой производной сплайн-модели динамики запасов денежной массы, скорость их изменения приближается к нулю в указанные годы. Это говорит о замедлении роста, хотя в абсолютном измерении снижения запасов денежной массы и не происходило. Это пример выявления «скрытых» реакций результативного признака на колебания значений фактора. Дифференцирование позволяет более рельефно отобразить взаимосвязи между показателями, преобразуя их динамику в показатели скорости изменения. Теперь уже визуально можно по траекториям кривых скорости судить о наличии или отсутствии взаимных реакций в поведении процессов, о синхронности или асинхронности их колебаний.

Моделирование процессов сплайн-функциями становится полезным также для исследования систем с переменной структурой, для проведения модельных траекторий точно через все исходные точки, для аналитичности описания сигнала, для автоматического получения аналитических же производных, для получения траекторий с оптимальным свойством минимальности кривизны, для сохранения спектрального состава исследуемого экономического сигнала и по многим другим важным причинам [16].

Раз полученные модели динамики будут точно проходить через все узловые точки процесса, то лучше сохранятся локальные особенности динамики, а коэффициент детерминации как показатель качества автоматически и всегда становится равным единице. Абсолютная точность аппроксимации состоит в том, что в узловых точках, единственных источниках информации о реальном процессе, исходные дискретные и модельные непрерывные эквиваленты совпадают [17, 18]. Гипотеза о вероятностной природе эмпирических данных в предлагаемом подходе не находит основания, так как утверждается, что стохастика экономики проявляется в структуре разброса узловых точек в таблице или по «решетчатой функции» экономического показателя на плоскости? или в многомерном пространстве. Раз экономическая переменная и время одномоментно измерены и помещены в таблицу или на график, то «новая» модель становится детерминированной.

Эффективность исследования взаимосвязей обеспечивается преобразованием «решетчатого» образа макроэкономической временной зависимости в непрерывную и последовательную кусочно-гладкую функцию, описываемую аналитически со всеми аналитическими же производными [19, 20]. Хорошо просматривается динамика показателей, появляется представление о временном поведении и локальной взаимосвязи процессов. Известные свойства кубических сплайнов, такие как непрерывность, гладкость, свойство минимальной кривизны, дифференцируемость,

позволяют эффективно моделировать экономически потоки.

Одним из эффективных способов увидеть именно «эволюцию» связи с течением времени становится преобразование исходных дискретных данных в непрерывные модели экономической динамики. Теперь взаимосвязь может обнаруживаться сравнением не дискретных наборов абсолютных значений, а траекторий непрерывной и последовательной эволюции относительных изменений.

Сплайн-аппроксимационный подход становится инструментом расширения и упрочения «тонкости» стратегии экономического анализа новыми методами эконометрики. Анализ экономической эволюции, в частности, требует обязательного аналитического представления показателей и решений, аналитического задания первой производной. Методы преобразования экономических «количеств» удачно ложатся на сплайновую аналитику, потому что там наряду с показателем всегда содержатся все его производные. Кривые скорости изменения исследуемых показателей демонстрируют темпоральные особенности эволюции связи, ее переходы из одного состояния в другое, время начала и продолжительность структурных изменений связи.

Взаимное воздействие процессов современной усложняющейся, ускоряющейся и глобализующейся экономики не всегда приводит к явным изменениям трендов или переключению регрессий. Воздействие может оставаться «скрытым» в динамике абсолютных изменений, обнаруживаясь лишь в более «глубоких» откликах процессов – в замедлениях или ускорениях развития. Становится очевидным, что выводы о тесноте и направлении связи, полученные сравнением только самих показателей без учета

корреляции их тенденций (интенсивности потоков, производных), могут быть иногда ложными, провоцирующими принятие ошибочных решений.

Для количественного описания тесноты связи становится полезной возможность сплайнов генерировать дополнительные точки в промежутках между узловыми точками процесса. Это позволяет преодолеть ограниченность регрессии, возникающую из-за небольшого количества узловых точек. Новые эконометрические методы оказываются более точными, более богатыми с точки зрения аналитических возможностей своих моделей, а также более убедительными с точки зрения наглядности и экономической интерпретируемости результатов анализа по сравнению со сглаживающими построениями классической эконометрики. Теперь стало возможным визуально, прямо по поведению траекторий экономических потоков определять точки начала и интервалы структурных изменений связи, наблюдать особенности перехода процессов из одного состояния в другое.

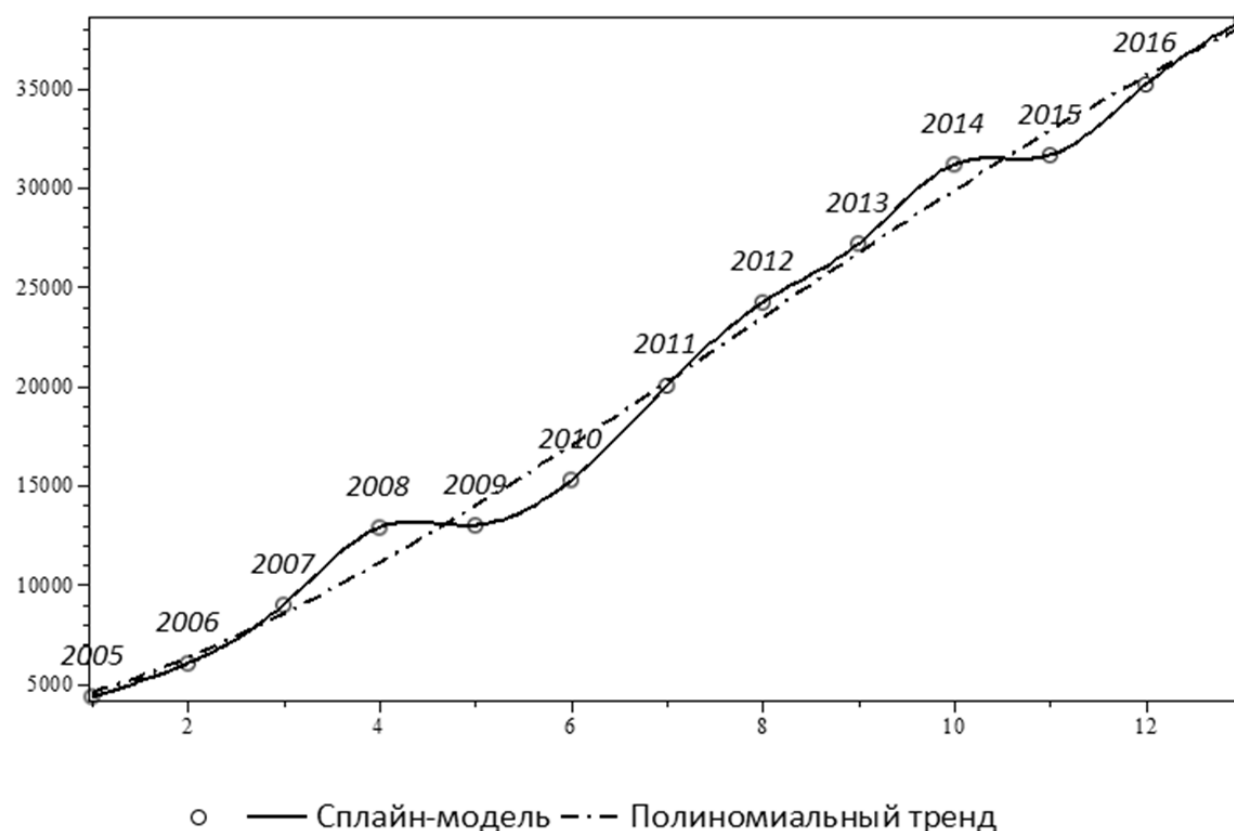
О практической значимости предлагаемого метода может говорить то, что поиск взаимосвязей в различных областях часто требует сравнения непрерывных относительных изменений. В физике – для сравнения фазовых траекторий потоков жидкости. В экономике – для исследования денежных потоков при непрерывном наращении процентов, анализе эффективности потоков инвестиций, динамической конкуренции потоков и др. В таких случаях для исследования взаимосвязей важно использовать новые методы эконометрики, которые будут точно сохранять исходную информацию и последовательность в эволюции эмпирических процессов.

Рисунок 1

Сравнение полиномиальной и кубической сплайновой аппроксимациями временного ряда денежной массы – показателя типа «запас», млрд руб.

Figure 1

Comparison of polynomial and cubic spline approximations of time series of money supply – *Stock*-type indicator, billion RUB



Источник: авторская разработка

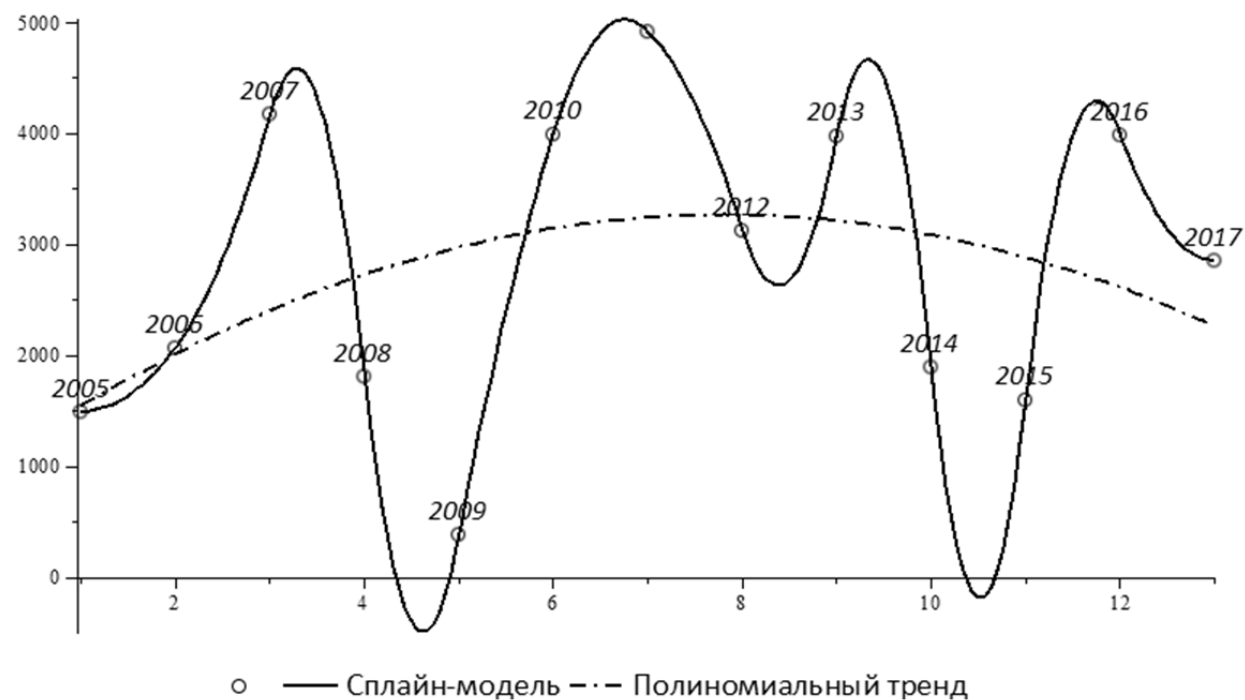
Source: Authoring

Рисунок 2

Преобразование сплайн-аппроксимационной и построенной методом наименьших квадратов моделей динамики запасов денежной массы в потоки, млрд руб.

Figure 2

Transformation of models of spline approximation and models of dynamics of money supply built under the least square method, into flows, billion RUB



Источник: авторская разработка

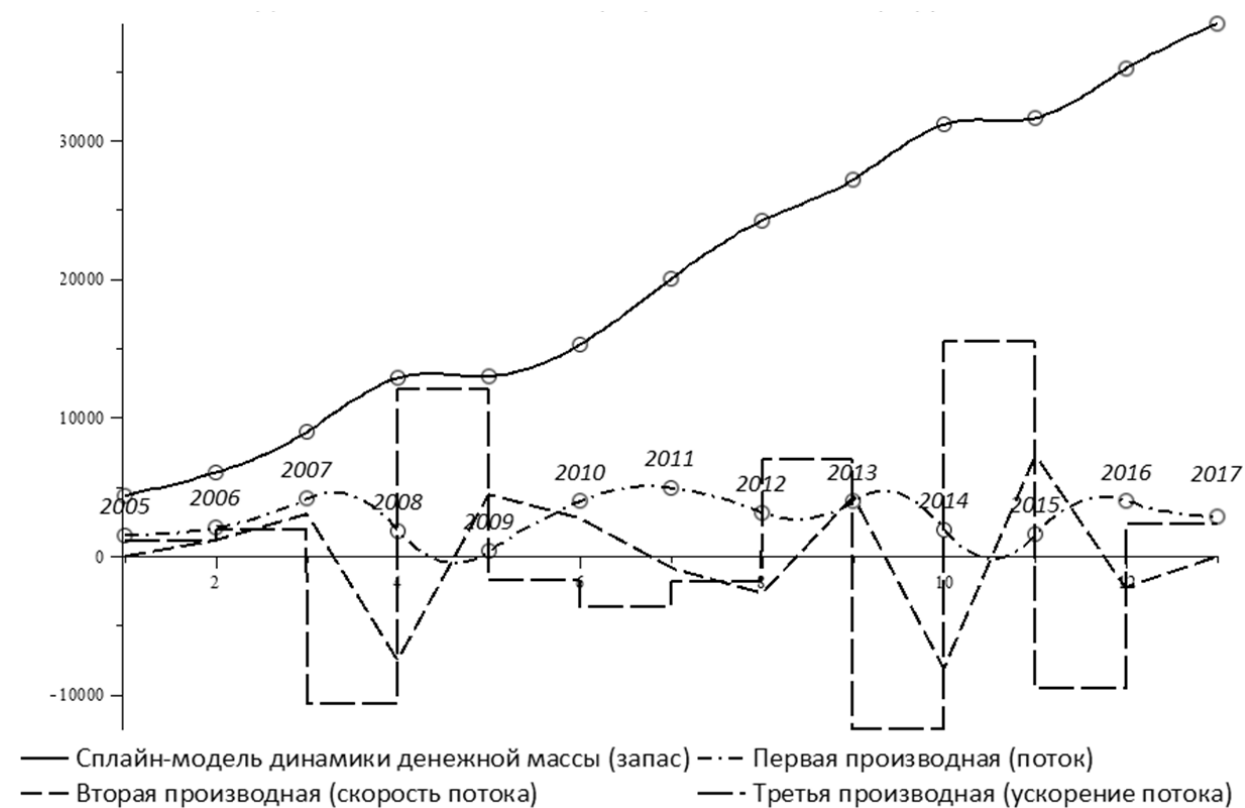
Source: Authoring

Рисунок 3

Кубическая сплайновая темпоральная модель с тремя производными динамики денежной массы в 2005–2017 гг. (на начало года), млрд руб.

Figure 3

A cubic spline temporal model with three variables of changes in money supply in 2005–2017 (as at the beginning of the year), billion RUB



Источник: авторская разработка

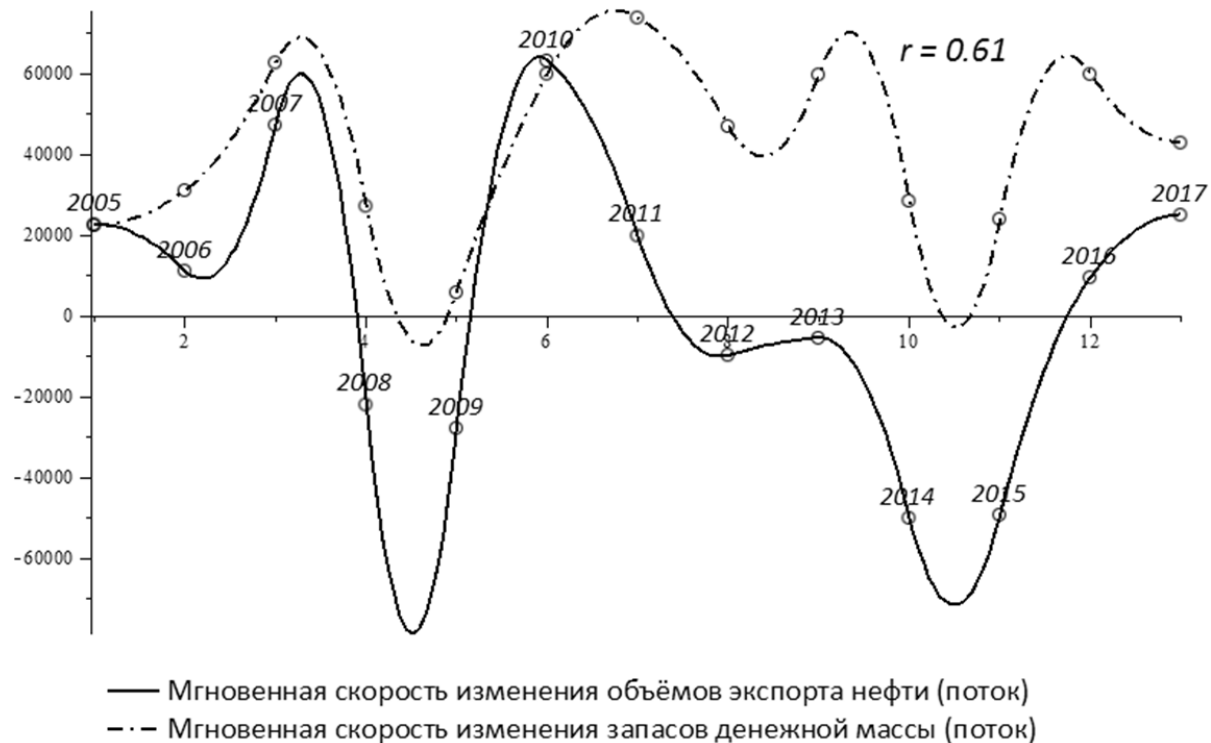
Source: Authoring

Рисунок 4

Корреляция между мгновенной скоростью изменения объемов экспорта нефти (показатель типа «поток») и мгновенной скоростью изменения запасов денежной массы (показатель типа «поток»)

Figure 4

Correlation between instantaneous rate of change in oil export volumes (*Flow-type indicator*) and instantaneous rate of change in money supply (*Flow-type indicator*)



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Ильясов Р.Х. Сплайн-моделирование и анализ взаимосвязей в экономике при возможном наличии точек переключения регрессии // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2018. Т. 11. № 4. С. 165–175. URL: <https://doi.org/10.18721/JE.11412>
2. Тубольцев М.Ф. Использование инвариантов при моделировании финансовых потоков // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Экономика. Информатика. 2009. № 7. С. 146–151. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-invariantov-pri-modelirovanii-finansovyh-potokov/viewer>
3. Стрельцова Е.Д., Богомякова И.В., Стрельцов В.С. Лингвистический подход к моделированию бюджетных потоков // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Экономика. Информатика. 2012. № 1. С. 156–161. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lingvisticheskiy-podhod-k-modelirovaniyu-byudzhetnyh-potokov/viewer>
4. Мелихов М.Б., Борисов А.Н. Методологические особенности моделирования функционирования финансово-кредитной сферы // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. 2016. Вып. 4. Ч. I. С. 99–106. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-osobennosti-modelirovaniya-funktsionirovaniya-finansovo-kreditnoy-sfery>

5. Батурина Е.В., Литвиненко А.Н. Мониторинг теневых денежных потоков инструментами компьютерного моделирования // Экономика региона. 2018. Т. 14. № 1. С. 326–338.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-tenevyh-denezhnyh-potokov-instrumentami-kompyuternogo-modelirovaniya/viewer>
6. Lipovina-Božović M., Ivanović M. Capital Flows in Montenegro: SVAR Model. *Zbornik Radova Ekonomskog Fakulteta u Rijeci*, 2018, vol. 36, iss. 2, pp. 647–675.
URL: <https://www.efri.uniri.hr/upload/006-LipovinaBozovic-Ivanovic-2018-2.pdf>
7. Сплайн-функции в экономико-статистических исследованиях: сборник статей / под ред. Б.Б. Розина. Новосибирск: Наука, 1987. 206 с.
8. Боташева Ф.Б., Винтизенко И.Г. «Новая эконометрия» с ее «тонкими» методами исследования экономических конъюнктур // *European Social Science Journal*. 2014. № 10-1. С. 31–39.
9. Cáceres-Hernández J.J., Martín-Rodríguez G. Evolving Splines and Seasonal Unit Roots in Weekly Agricultural Prices. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2017, vol. 61, iss. 2, pp. 304–323. URL: <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12205>
10. Винтизенко И.Г., Ильясов Р.Х. Новая эконометрия: монография. Ставрополь: Агрус, 2018. 480 с.
11. Kaishev V.K. Lévy Processes Induced by Dirichlet (B $\square$) Splines: Modeling Multivariate Asset Price Dynamics. *Mathematical Finance*, 2013, vol. 23, iss. 2, pp. 217–247.
URL: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9965.2011.00504.x>
12. Odoardi I., Muratore F. Understanding the Support of Savings to Income: A Multivariate Adaptive Regression Splines Analysis. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2015, vol. 373, pp. 385–392. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19638-1_44
13. Выгодчикова И.Ю., Гусятников В.Н., Высочанская Е.Ю. Метод сплайн-аппроксимации экономических процессов с неустойчивым трендом // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2017. № 4. С. 110–115.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-splayn-approksimatsii-ekonomicheskikh-protsessov-s-neustoychivym-trendom/viewer>
14. Cleophas T.J. Clinical Trials: Spline Modeling is Wonderful for Nonlinear Effects. *American Journal of Therapeutics*, 2016, vol. 23, no. 3, pp. e844–e849.
URL: <https://doi.org/10.1097/MJT.0b013e318250f779>
15. Бессонов В.А. Введение в анализ российской макроэкономической динамики переходного периода. М.: ЦЭМИ РАН, 2003. 151 с.
16. Винтизенко И.Г., Яковенко В.С. Экономическая цикломатика: монография. М.: Финансы и статистика; Ставрополь: Агрус, 2008. 428 с.
17. Floc'h F.L., Oosterlee C.W. Model-Free Stochastic Collocation for an Arbitrage-Free Implied Volatility, Part II. *Risks*, 2019, vol. 7, iss. 1, pp. 1–21. URL: <https://doi.org/10.3390/risks7010030>
18. Campos E.L., Cysne R.P. A Time-Varying Fiscal Reaction Function for Brazil. *Estudos Econômicos*, 2019, vol. 49, iss. 1, pp. 5–38.
URL: <http://www.scielo.br/pdf/ee/v49n1/0101-4161-ee-49-01-0005.pdf>

19. Kim Y.-J. Efficient Estimation and Variable Selection for Partially Linear Single-Index-Coefficient Regression Models. *Communications for Statistical Applications and Methods*, 2019, vol. 26, iss. 1, pp. 69–78. URL: <https://doi.org/10.29220/CSAM.2019.26.1.069>
20. Luchko M., Lew G., Ruska R., Vovk I. Modelling the Optimal Size of Investment Portfolio in a Non-State Pension Fund. *Journal of International Studies*, 2019, vol. 12, iss. 1, pp. 239–252. URL: <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2019/12-1/16>

Информация о конфликте интересов

Я, автор данной статьи, со всей ответственностью заявляю о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

SPLINE ANALYSIS OF THREAD CORRELATION

Ruslan Kh. IL'YASOV

Chechen State University (CHSU), Grozny, Chechen Republic, Russian Federation
 ilyasov_95@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7040-798X>

Article history:

Article No. 737/2019
 Received 25 November 2019
 Received in revised form
 11 December 2019
 Accepted 25 December 2019
 Available online
 30 January 2020

JEL classification: C01, C02

Keywords: stock, thread,
 spline, derivative, correlation

Abstract

Subject The article deals with searching for correlation between threads in continuous-time modeling.

Objectives The aim is to analyze the efficiency of spline approximation of discrete changes in stock, its transformation into continuous flows with a search for 'latent' correlations between economic indicators.

Methods If in discrete-time models it is possible to transfer to threads through calculating the chain growth, in continuous-time models it is offered to convert stock into flows through differentiation of the function of stock movements.

Results The first derivatives of variables, i.e. threads, enable to find a correlation in the slowdown and acceleration of processes – between the flow of oil exports and the money supply in the Russian economy, which was not observed in the dynamics of absolute indicators of economic movements.

Conclusions Spline simulation of changes in money supply enables to convert it into a thread, and then compare it with the flow of oil exports. Between the flows of money supply and oil exports, the 'hidden' correlation has now been clearly revealed. It had never been achieved by methods of classical econometrics. In practice, the proposed method of finding correlations could be useful for researching the links between flows, both in the international economy and in individual countries, industries and enterprises. Analytical representation of relationship between stock-to-thread indicators can also be useful for managing the logistics processes.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2019

Please cite this article as: Il'yasov R.Kh. Spline Analysis of Thread Correlation. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2020, vol. 19, iss. 1, pp. 173–187.
<https://doi.org/10.24891/ea.19.1.173>

References

1. Il'yasov R.Kh. [Spline-modeling and analysis of interactions in the economy with the possible presence of switching points of regression]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SpbGPU. Ekonomicheskie nauki = SPbPU Journal. Economics*, 2018, vol. 11, no. 4, pp. 165–175. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.18721/JE.11412>
2. Tubol'tsev M.F. [Using of invariants in financial flow modeling]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Ekonomika. Informatika*, 2009, no. 7, pp. 146–151. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-invariantov-pri-modelirovanii-finansovyh-potokov/viewer> (In Russ.)
3. Strel'tsova E.D., Bogomyagkova I.V., Strel'tsov V.S. [Linguistic approach to budget flow modeling]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Ekonomika. Informatika*, 2012, no. 1, pp. 156–161. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lingvisticheskiy-podhod-k-modelirovaniyu-byudzhethnyh-potokov/viewer> (In Russ.)

4. Melikhov M.B., Borisov A.N. [Methodological peculiarities of modeling of function of financial and credit sphere]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki = Izvestiya Tula State University. Economic and Legal Sciences*, 2016, iss. 4, part 1, pp. 99–106. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-osobennosti-modelirovaniya-funktsionirovaniya-finansovo-kreditnoy-sfery> (In Russ.)
5. Baturina E.V., Litvinenko A.N. [Monitoring of Shadow Cash Flows Using Computer Modelling]. *Ekonomika regiona = Economy of Region*, 2018, vol. 14, no. 1, pp. 326–338. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-tenevyh-denezhnyh-potokov-instrumentami-kompyuternogo-modelirovaniya/viewer> (In Russ.)
6. Lipovina-Božović M., Ivanović M. Capital Flows in Montenegro: SVAR Model. *Zbornik Radova Ekonomskog Fakulteta u Rijeci*, 2018, vol. 36, iss. 2, pp. 647–675. URL: <https://www.efri.uniri.hr/upload/006-LipovinaBozovic-Ivanovic-2018-2.pdf>
7. *Splain-funksii v ekonomiko-statisticheskikh issledovaniyakh: sbornik statei* [Spline functions in economic and statistical research: A collection of articles]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987, 206 p.
8. Botasheva F.B., Vintzenko I.G. [“New Econometrics” with Its “Thin” Methods Researches of Economic Conjunctures]. *European Social Science Journal*, 2014, no. 10-1, pp. 31–39. (In Russ.)
9. Cáceres-Hernández J.J., Martín-Rodríguez G. Evolving Splines and Seasonal Unit Roots in Weekly Agricultural Prices. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2017, vol. 61, iss. 2, pp. 304–323. URL: <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12205>
10. Vintzenko I.G., Il'yasov R.Kh. *Novaya ekonometrika: monografiya* [New econometrics: a monograph]. Stavropol, Agrus Publ., 2018, 480 p.
11. Kaishev V.K. Lévy Processes Induced by Dirichlet (B $\square$)Splines: Modeling Multivariate Asset Price Dynamics. *Mathematical Finance*, 2013, vol. 23, iss. 2, pp. 217–247. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9965.2011.00504.x>
12. Odoardi I., Muratore F. Understanding the Support of Savings to Income: A Multivariate Adaptive Regression Splines Analysis. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2015, vol. 373, pp. 385–392. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19638-1_44
13. Vygodchikova I.Yu., Gusyatnikov V.N., Vysochanskaya E.Yu. [Method of spline-approximation of economic dynamics with unsustainable trend]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta = Vestnik of Saratov State Socio-Economic University*, 2017, no. 4, pp. 110–115. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-splayn-approksimatsii-ekonomicheskikh-protsessov-s-neustoychivym-trendom/viewer> (In Russ.)
14. Cleophas T.J. Clinical trials: Spline modeling is wonderful for nonlinear effects. *American Journal of Therapeutics*, 2016, vol. 23, no. 3, pp. e844–e849. URL: <https://doi.org/10.1097/MJT.0b013e318250f779>
15. Bessonov V.A. *Vvedenie v analiz rossiiskoi makroekonomicheskoi dinamiki perekhodnogo perioda* [Introduction to the analysis of the Russian macroeconomic dynamics of the transition period]. Moscow, CEMI RAS Publ., 2003, 151 p.
16. Vintzenko I.G., Yakovenko V.S. *Ekonomicheskaya tsiklomatika: monografiya* [Economic Cyclomatic: a monograph]. Moscow, Finansy i statistika, Stavropol, Agrus Publ., 2008, 428 p.
17. Floc'h F.L., Oosterlee C.W. Model-Free Stochastic Collocation for an Arbitrage-Free Implied Volatility, Part II. *Risks*, 2019, vol. 7, iss. 1, pp. 1–21. URL: <https://doi.org/10.3390/risks7010030>

18. Campos E.L., Cysne R.P. A Time-Varying Fiscal Reaction Function for Brazil. *Estudos Econômicos*, 2019, vol. 49, iss. 1, pp. 5–38.
URL: <http://www.scielo.br/pdf/ee/v49n1/0101-4161-ee-49-01-0005.pdf>
19. Kim Y.-J. Efficient Estimation and Variable Selection for Partially Linear Single-Index-Coefficient Regression Models. *Communications for Statistical Applications and Methods*, 2019, vol. 26, iss. 1, pp. 69–78. URL: <https://doi.org/10.29220/CSAM.2019.26.1.069>
20. Luchko M., Lew G., Ruska R., Vovk I. Modelling the Optimal Size of Investment Portfolio in a Non-State Pension Fund. *Journal of International Studies*, 2019, vol. 12, iss. 1, pp. 239–252.
URL: <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2019/12-1/16>

Conflict-of-interest notification

I, the author of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.