

pISSN 2073-039X
eISSN 2311-8725

Математические методы и модели

ТЕНДЕНЦИИ СТОИМОСТИ ПОТОКОВ ЭКСПОРТА: СПЛАЙН-АНАЛИЗ

Руслан Хизраилевич ИЛЬЯСОВ

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

История статьи:

Рег. № 54/2022
Получена 10.02.2022
Получена в
доработанном виде
18.02.2022
Одобрена 28.02.2022
Доступна онлайн
30.03.2022

УДК 330.4

JEL: C24, C38, C53

Аннотация

Предмет. При исследовании стоимости потоков экспорта важно оценивать воздействие двух ключевых факторов – объемов экспорта и экспортных цен. Предметом исследования является факторный анализ стоимости потоков экспорта.

Цели. Оценка эффективности сплайн-моделирования при факторном анализе стоимости потоков.

Методология. Известные методы факторного анализа потоков экспорта обращаются к экономическим индексам. Дискретность индексов ограничивает эффективность анализа стоимости потоков при сильных колебаниях экспортных цен и (или) объемов экспорта, что особенно характерно, например, для динамики потоков экспорта нефти. Сплайн-интерполяционное моделирование стоимости потоков экспорта сохраняет реальную информацию обо всех значениях процесса в узловых точках, а дифференцированием построенные модели преобразуются в модели скорости потоков. Моделирование без сглаживания эмпирической динамики сохраняет информацию о колебаниях скорости, тогда дифференцированием можно переходить к анализу и оперативному управлению тенденциями стоимости потоков. Необходимая точность в исследовании достигается и обработкой данных в системе компьютерной математики Maple 17, выполняющей расчеты без ошибок округления.

Результаты. Предложенный метод факторного анализа показал возможность в динамике аналитически и количественно исследовать зависимость тенденций стоимости потоков экспорта от колебаний скорости экспортных цен и скорости объемов экспорта.

Выводы. Предложенный метод сплайн-моделирования и факторного анализа тенденций стоимости потоков оказался эффективным, позволяет точно определять воздействие факторов не только в узловых точках, но и в любой произвольный момент времени внутри исследуемого интервала. Таким образом, можно оперативно управлять процессами, адаптируя воздействия в соответствии с меняющейся в текущее время конъюнктурой.

Ключевые слова:

экспорт нефти, поток,
сплайн-моделирование,
анализ

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2022

Для цитирования: Ильясов Р.Х. Тенденции стоимости потоков экспорта: сплайн-анализ // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2022. – Т. 21, № 3. – С. 573 – 587.
<https://doi.org/10.24891/ea.21.3.573>

Анализ стоимости потоков в современной цифровой экономике актуален в первую очередь в связи с необходимостью адаптивного управления процессами в экономических системах. Повышение эффективности адаптивного управления требует локальных, часто корректирующих воздействий на процессы. Такое воздействие должно учитывать и малые изменения в динамике стоимости потоков – изменения в замедлениях или ускорениях роста. Для этого следует привлекать в анализ количественные индикаторы, позволяющие непрерывно наблюдать скорость развития, обнаруживать смену тенденций, оценивать степень воздействия факторов внутри малых временных отрезков.

В настоящее время при изучении динамики экономических потоков широкое применение находят дискретные количественные показатели – экономические индексы [1, 2]. В частности, индексы используются для изучения колебаний в динамике стоимости потоков под воздействием двух ключевых факторов – изменений цен и физических объемов реализации. В то же время, являясь дискретными показателями, индексы недостаточно эффективны при анализе потоков в периоды сильных колебаний цен и (или) объемов продаж. Также недостатком индексов является невозможность локального исследования потоков внутри временных интервалов малой длины. Становится актуальной задачей разработка непрерывных количественных индикаторов, способных наблюдать тенденции стоимости потоков внутри коротких временных интервалов. Особенно интересным является анализ стоимости потоков экспорта, структурно состоящих из двух компонент – физических объемов экспорта и экспортных цен. Часто объемы экспорта и экспортные цены обнаруживают тесную обратную взаимосвязь, выступая факторами управления международной торговлей. Например, известная корреляция между объемами добычи нефти и мировыми ценами на нефть активно используется странами – членами ОПЕК для управления ценами на нефть. В условиях жесткой международной конкуренции становится актуальным учет воздействия даже малых изменений в тенденциях объемов добычи и экспорта на колебания мировых цен на нефть. Внутри коротких временных интервалов важно наблюдать не только динамику абсолютного роста (или спада), но и колебания скорости роста. Математически изменения в колебаниях скорости могут быть описаны первыми производными непрерывных моделей экономической динамики. Преобразование модели потока в модель его скорости может быть выполнено дифференцированием. Применительно к задаче анализа скорости потоков экспорта, новая модель должна быть декомпозируемой на составляющие – динамику скорости колебаний экспортных цен и динамику скорости изменений физических объемов экспорта. Дифференцируемость сплайн-моделей позволяет привлекать в анализ потоков экономические аналоги физического движения – скорость, ускорение, импульс и др. [3, 4].

Инструменты и методы классической эконометрики часто не способны сохранять в моделях малые изменения в динамике, наблюдая сглаженный внутри некоторого

временного интервала процесс. Изучение динамики внутри малых временных отрезков требует абсолютно точного сохранения в узловых точках модели реальных значений. В математике и физике наилучшее применение для абсолютно точного сохранения моделируемого процесса нашло интерполирование сплайнами [5, 6]. Однако применение сплайнов при моделировании процессов в экономике все еще не нашло широкого применения. В то же время сплайн-интерполирование может стать инструментом анализа «латентной» для методов классической эконометрики корреляции ускорений или замедлений роста.

Индивидуальные индексы, исчисленные в форме временных рядов, достаточно эффективны для отражения долгосрочной динамики. Однако для оперативного управления потоками важно наблюдать реальные тенденции и точно обнаруживать переключения регрессии. Дискретность индексов также ограничивает возможность последовательного сравнения периодов произвольной длины. Решением может стать интерполирование динамики потоков кубическими сплайнами [7, 8] с последующим переходом к моделям скорости потоков. Апробируем предлагаемый подход при анализе потоков на примере данных об экспорте сырой нефти (*рис. 1*).

Интерполирование сплайнами сохраняет реальную динамику во всех узловых точках процесса [9, 10]. Отказ от сглаживания исследуемой динамики в узловых точках сохраняет без искажений информацию и об изменениях скорости развития. Построенные сплайн-модели позволяют дифференцированием перейти к моделям скорости изменений экспортных цен на нефть, объемов ее добычи и стоимости экспорта нефти. Если индексы показывают изменения в динамике относительно фиксированной или переменной базы сравнения в только узловых точках процесса, то производная сплайн-интерполяционной модели позволяет наблюдать и сравнивать скорости изменений в процессах в любой момент времени [11, 12]. Это позволяет анализировать воздействие факторов в произвольный момент времени, что важно для оперативного управления процессами.

Кривые первой производной сплайн-интерполяционных моделей динамики экспортных цен на нефть, физических объемов экспорта и стоимости экспорта нефти описывают мгновенную скорость их изменений. Это позволяет принимать «точечные» решения по управлению потоками. Являясь информативными индикаторами тенденций роста или спада, производные позволяют оценивать последовательную эволюцию воздействия факторов на исследуемый процесс. Непрерывность моделей скорости определяет не критичность метода к вариативности исследуемого интервала времени. Интерполированием дополнительных точек сплайн-кривых снимаются и ограничения классической эконометрики к количественному анализу взаимосвязей [13, 14]. Анализ кривых (*рис. 2*) обнаруживает наличие отрицательной корреляции между стоимостью потока экспорта и скоростью изменений физических объемов экспорта нефти, за исключением временного интервала с 2019 по 2020 г. Напротив, колебания скорости

стоимости потока экспорта и экспортных цен на нефть коррелируют на всем исследуемом интервале времени положительно.

По аналогии с известной взаимосвязью между индексами стоимости экспорта, экспортных цен и физических объемов экспорта формализуем взаимосвязь между их тенденциями – колебаниями их мгновенной скорости. Это должно позволить управлять тенденциями стоимости потока экспорта, аналитическим, количественным и графическим представлением факторов – скорости колебаний экспортных цен и скорости изменений объемов экспорта. Для этого введем обозначения:

P – экспортная цена на нефть, долл./т;

Q – объемы экспорта нефти, млн т/год;

PQ – стоимость потока экспорта, млн долл./год;

$(PQ)'$ – мгновенная скорость изменения стоимости потока экспорта, млн долл./год;

P' – мгновенная скорость изменений экспортных цен, долл./т;

Q' – мгновенная скорость изменений физических объемов экспорта, млн т/год.

Переход от модели стоимости потока экспорта PQ к модели скорости изменений стоимости выполним по формуле дифференцирования произведения функций:

$$(PQ)' = P'Q + PQ'. \quad (1)$$

Мгновенная скорость изменений стоимости потока экспорта в уравнении (1) равна сумме произведения мгновенной скорости изменений экспортных цен на объемы экспорта и произведения экспортной цены на мгновенную скорость изменения объемов экспорта. Представим уравнение (1) через обозначения построенных сплайн-интерполяционных моделей:

$$D1_SPL3_PQ = D1_SPL3_P \cdot SPL3_Q + SPL3_P \cdot D1_SPL3_Q, \quad (2)$$

где $SPL3_PQ$ – сплайн-модель стоимости потока экспорта, млн долл./год;

$D1_SPL3_PQ$ – сплайн-модель мгновенной скорости изменений стоимости потока экспорта, млн долл./год;

$SPL3_P$ – сплайн-модель динамики экспортных цен на нефть, долл./т;

$D1_SPL3_P$ – сплайн-модель мгновенной скорости изменений экспортных цен на нефть, долл./т;

$SPL3_Q$ – сплайн-модель динамики объемов экспорта нефти, млн т/год;

$D1_SPL3_Q$ – сплайн-модель мгновенной скорости изменений объемов экспорта нефти, млн т/год.

Предложенное представление аддитивно-мультипликативной модели (2) позволяет анализировать воздействие на скорость роста стоимости потока экспорта двух факторов:

- $D1_SPL3_P\ SPL3_Q$ – мгновенной скорости изменения экспортных цен на нефть, умноженной на объемы экспорта;
- $D1_SPL3_Q\ SPL3_P$ – мгновенной скорости изменения объемов экспорта, умноженной на экспортную цену.

По аналогии с характеристиками физического движения мгновенная скорость изменения экспортных цен на нефть, умноженная на объемы экспорта, может интерпретироваться как «экономический импульс» экспортных цен [15]. Единицей измерения «экономического импульса» экспортной цены станет мгновенная скорость прироста стоимости экспорта (млн долл./год). В каждый момент времени t импульс экспортной цены определяется мгновенной скоростью роста экспортной цены при заданных объемах экспорта. «Экономический импульс» объемов экспорта выражается в тех же единицах измерения (в млн долл./год). Импульс объемов экспорта в момент времени t определяется мгновенной скоростью роста объемов экспорта, умноженной на экспортную цену в момент времени t . Тенденции стоимости потока экспорта формируются аддитивным воздействием импульсов экспортной цены и объемов экспорта.

Сплайн-модели (рис. 3) дают возможность графически, аналитически и количественно анализировать воздействие на тенденции стоимости экспорта нефти «экономических импульсов» – импульса экспортной цены и импульса объемов экспорта [16, 17]. Как следует из уравнения (2), скорость роста стоимости экспорта в каждый момент времени t задается суммой импульса экспортной цены и импульса объемов экспорта. Например, расчеты в системе Maple точно определяют воздействие факторов на прирост стоимости потока экспорта в 2007 г. в узловой точке 3:

> eval (($D1_SPL3_P\ SPL3_Q$), $t = 3$); 50 833,0568;

> eval (($D1_SPL3_Q\ SPL3_P$), $t = 3$); -1 677,726;

> eval ($SPL3_PD1_SPL3_Q + SPL3_QD1_SPL3_P$, $t = 3$); 49 155,3308.

Это означает, что в 2007 г. прирост стоимости экспорта нефти мог составить 49 155,3308 млн долл., в том числе за счет роста экспортной цены – прирост на 50 833,0568 млн долл., а за счет снижения объемов экспорта – снижение на 1 677,726 млн долл. По динамике первых производных можно определять

интервалы, внутри которых аддитивное воздействие факторов приводило к наибольшей скорости роста стоимости экспорта. Мы наблюдаем это в 2007, 2010 и 2017 гг. В эти годы было наиболее сильное воздействие на рост стоимости экспорта нефти импульса экспортной цены. Визуально определяются и интервалы времени с наибольшей скоростью падения стоимости экспорта – это 2008–2009 гг., 2014–2015 гг. и 2019–2020 гг. Надо отметить, что падение стоимости экспорта в эти годы незначительно корректировалось повышением индекса объемов экспорта. Напротив, в 2019–2020 гг. наблюдаем нехарактерное для рынка энергоресурсов поведение – стоимость экспорта нефти падает под одновременным отрицательным воздействием импульса экспортной цены и импульса объемов экспорта.

Предложенный метод факторного анализа тенденций стоимости потоков полезен тем, что сплайн-моделированием можно точно определять воздействие факторов не только в узловых точках, но и в любой произвольный момент времени внутри исследуемого интервала [18, 19]. Тогда можно оперативно управлять процессами, адаптируя воздействия в соответствии с меняющейся в текущее время конъюнктурой. Например, в 2019–2020 гг. объемы экспорта перестали выступать фактором управления экспортными ценами, соответственно, в сложившихся условиях невозможно увеличивать стоимость экспорта снижением объемов экспорта. В современной экономике все большее внимание исследователей обращает на себя динамика малых изменений, которая аналитически может быть представлена моделями скорости экономического движения. Лингвистическое понимание сходства экономического движения с физическим должно находить возможность аналитического, графического и количественного исследования потоков. Это позволяет пользоваться в анализе экономической интерпретацией количественных характеристик физического движения – скоростью, ускорением, импульсом и др.

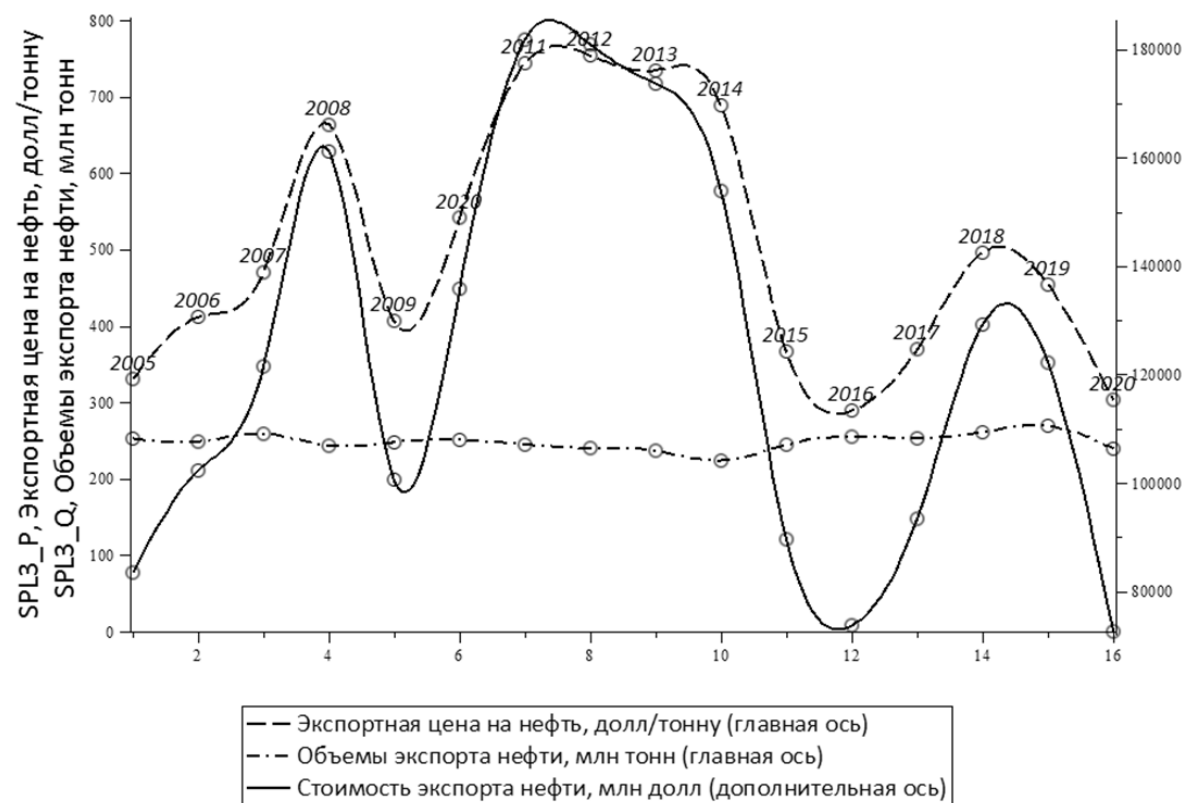
Обращение к сплайн-интерполяции исследуемой динамики снимает ряд ограничений классической эконометрики, связанных с требованиями к длине исследуемых временных рядов [20]. Отказ от сглаживания реального процесса сохраняет информацию о замедлениях и ускорениях развития – ценных источниках знаний о локальных воздействиях факторов. Непрерывность предложенных моделей полезна при необходимости наблюдать развитие не только в узловых точках процесса, но и в любой произвольный момент времени.

Рисунок 1

Динамика экспортных цен на нефть, физических объемов экспорта и стоимости экспорта нефти. Интерполирование кубическими сплайнами

Figure 1

Trends in oil export prices, physical volumes of exports, and the cost of oil exports. Cubic spline interpolation



Источник: авторская разработка

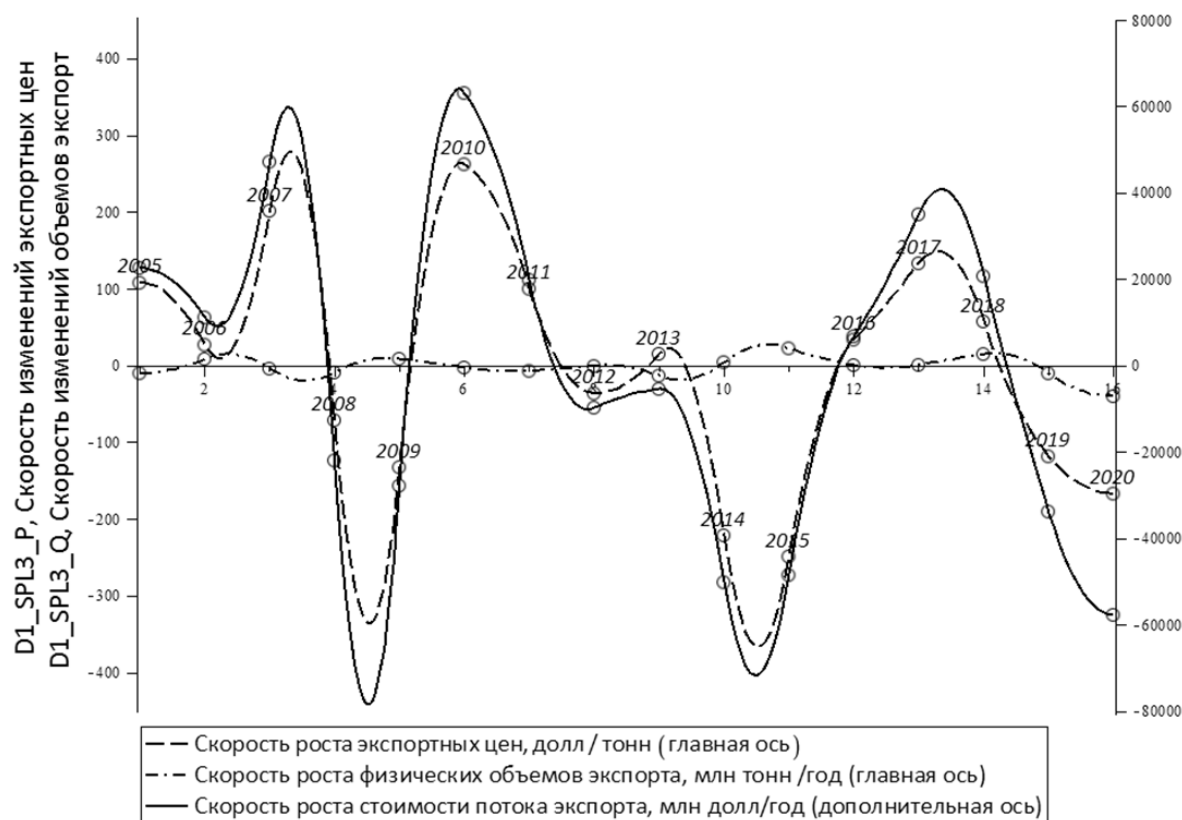
Source: Authoring

Рисунок 2

Скорость роста экспортных цен на нефть (пунктир), физических объемов экспорта (штрих-пунктир) и стоимости экспорта нефти (сплошная линия). Интерполирование сплайнами

Figure 2

The growth rate of oil export prices (dotted line), physical export volumes (dot-and-dash line), and the cost of oil exports (solid line). Spline interpolation



Источник: авторская разработка

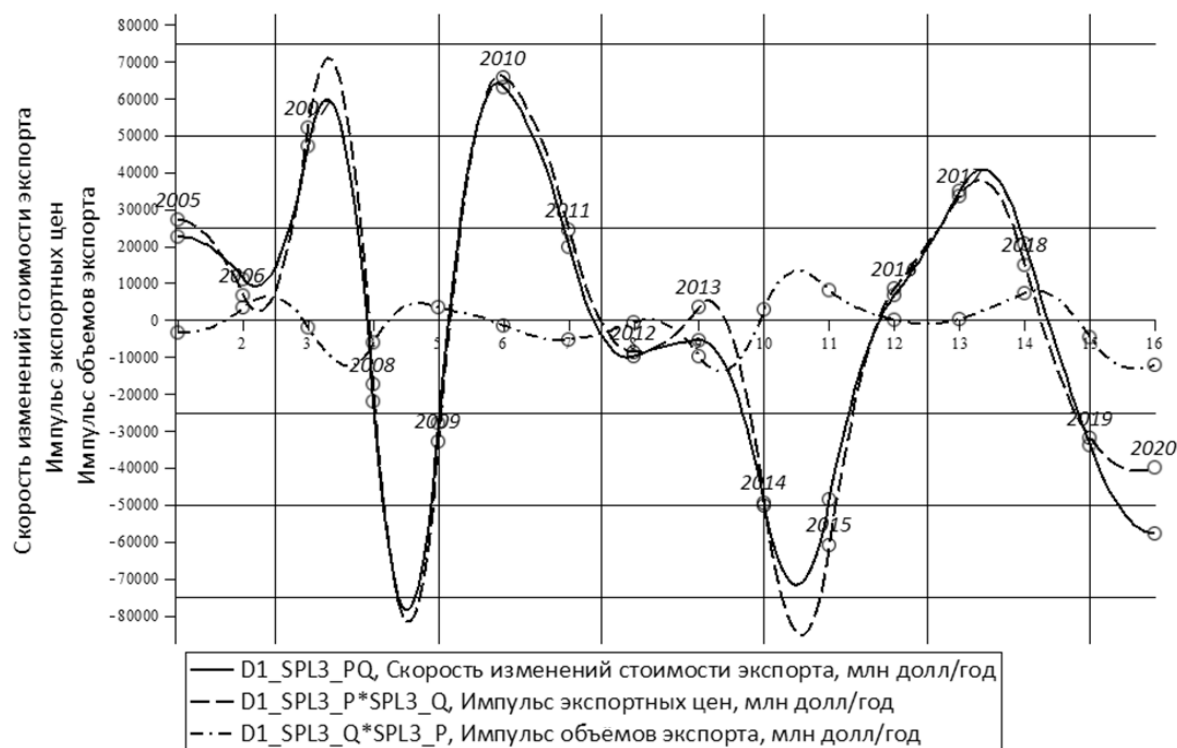
Source: Authoring

Рисунок 3

Мгновенная скорость изменений стоимости экспорта (сплошная линия), импульс экспортных цен (пунктир) и импульс объемов экспорта (штрих-пунктир)

Figure 3

The instantaneous rate of changes in the value of exports (solid line), the momentum of export prices (dotted line), and the momentum of export volumes (dot-and-dash line)



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Филимонова И.В., Эдер Л.В., Ларионов В.Г., Комарова А.В. Рейтинг нефтяных компаний по уровню чувствительности налоговой нагрузки к макроэкономическим и отраслевым факторам // *Экономический анализ: теория и практика*. 2018. Т. 17. Вып. 12. С. 1430–1443.
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.12.1430>
2. Бабурина О.Н. Анализ детерминант конъюнктуры мирового рынка нефти и их влияния на финансовые результаты компаний танкерного флота // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2018. Т. 14. Вып. 12. С. 2340–2355.
URL: <https://doi.org/10.24891/ni.14.12.2340>
3. 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-protseessov-s-neustoychivym-trendom/viewer>
4. Ильясов Р.Х. «Латентные» корреляции потоков в экономике: сплайн-анализ // *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*. 2021. № 1. С. 35–41. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/latentnye-korrelyatsii-potokov-v-ekonomike-splayn-analiz>
5. Безуглов Д.А., Крутов В.А., Швачко О.В. Метод дифференцирования сигналов с использованием сплайн-аппроксимации // *Фундаментальные исследования*. 2017. № 4-1. С. 24–28. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41429>
6. Hirsch J.E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output that Takes into Account the Effect of Multiple Co-authorship. *Scientometrics*, 2010, vol. 85, iss. 3, pp. 741–754. URL: <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0193-9>
7. Hill R.J., Scholz M. Can Geospatial Data Improve House Price Indexes? A Hedonic Imputation Approach with Splines. *Review of Income and Wealth*, 2018, vol. 64, iss. 4, pp. 737–756. URL: <https://doi.org/10.1111/roiw.12303>
8. Edwards J.R., Parry M.E. On the Use of Spline Regression in the Study of Congruence in Organizational Research. *Organizational Research Methods*, 2018, vol. 21, iss. 1, pp. 68–110. URL: <https://doi.org/10.1177/1094428117715067>
9. Marcoulides K.M., Khojasteh J. Analyzing Longitudinal Data Using Natural Cubic Smoothing Splines. *Structural Equation Modeling*, 2018, vol. 25, iss. 6, pp. 965–971. URL: <https://doi.org/10.1080/10705511.2018.1449113>

10. Vaid M.K., Arora G. Solution of second order singular perturbed delay differential equation using trigonometric B-spline. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 2019, vol. 4, iss. 2, pp. 349–360.
URL: <https://dx.doi.org/10.33889/IJMEMS.2019.4.2-028>
11. Shahbaz M., Khraief N., Mahalik M.K. Investigating the environmental Kuznets' curve for Sweden: evidence from multivariate adaptive regression splines (MARS). *Empirical Economics*, 2020, vol. 59, iss. 4, pp. 1883–1902.
URL: <https://doi.org/10.1007/s00181-019-01698-1>
12. Banker R.D., Byzalov D., Fang S., Jin B. Operating asymmetries and non-linear spline correction in discretionary accrual models. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 2020, vol. 54, iss. 3, pp. 803–850.
URL: <https://doi.org/10.1007/s11156-019-00808-5>
13. Zhenyu Cui, Kirkby J.L., Duy Nguyen. Nonparametric Density Estimation by B-Spline Duality. *Econometric Theory*, 2020, vol. 36, iss. 2, pp. 250–291.
URL: <https://doi.org/10.1017/S0266466619000112>
14. Guangyuan Gao, Shengwang Meng. Stochastic claims reserving via a Bayesian spline model with random loss ratio effects. *ASTIN Bulletin*, 2018, vol. 48, iss. 1, pp. 55–88.
URL: <https://doi.org/10.1017/asb.2017.19>
15. Боташева Ф.Б. Экономические образы архетипов физической динамики // *European Social Science Journal*. 2012. № 8. С. 364–373.
16. Serpil Kılıç Depren, Mustafa Tevfik Kartal. Prediction on the volume of non-performing loans in Turkey using multivariate adaptive regression splines approach. *International Journal of Finance and Economics*, 2021, vol. 26, iss. 4, pp. 6395–6405.
URL: <https://doi.org/10.1002/ijfe.2126>
17. Rich J. A spline function class suitable for demand models. *Econometrics and Statistics*, 2020, vol. 14, pp. 24–37. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecosta.2018.02.002>
18. Richards S.J. A Hermite-spline model of post-retirement mortality. *Scandinavian Actuarial Journal*, 2020, vol. 2020, iss. 2, pp. 110–127.
URL: <https://doi.org/10.1080/03461238.2019.1642239>
19. Zayniddinov H., Bakhromov S., Azimov B., Makhmudjanov S. Comparative analysis spline methods in digital processing of signals. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 2020, vol. 5, iss. 6, pp. 1499–1510.
URL: <https://dx.doi.org/10.25046/aj0506180>
20. Lars Kirkby J., Deng S.-J. Swing option pricing by dynamic programming with b-spline density projection. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 2019, vol. 22, iss. 8. URL: <https://doi.org/10.1142/S0219024919500389>

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.

TRENDS IN THE VALUE OF EXPORT FLOWS: SPLINE ANALYSIS

Ruslan Kh. IL'YASOV

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

Article history:

Article No. 54/2022
Received 10 Feb 2022
Received in revised form
18 February 2022
Accepted 28 Feb 2022
Available online
30 March 2022

JEL classification: C24,
C38, C53

Keywords: oil export,
flow, spline modeling,
analysis

Abstract

Subject. The article considers a factor analysis of the value of export flows based on spline models.

Objectives. The purpose of the study is to evaluate the effectiveness of spline modeling in the factor analysis of the cost of flows.

Methods. The study employs spline-interpolation modeling of the cost of export flows. It preserves real information about all process values at the nodal points. Using the differentiation, the constructed models are transformed into flow velocity models. The necessary accuracy in the study is also achieved by data processing in the Maple 17 computer mathematics system, which performs calculations without rounding errors.

Results. The method of factor analysis proposed in the paper demonstrated a possibility to investigate analytically and quantitatively the dependence of trends in the value of export flows on fluctuations in the rate of export prices and the rate of export volumes.

Conclusions. The offered method enables to accurately determine the impact of factors not only at nodal points, but also at arbitrary point of time within the studied interval. Therefore, it is possible to quickly manage processes, adapting the impact in accordance with changing market conditions.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2022

Please cite this article as: Il'yasov R.Kh. Trends in the Value of Export Flows: Spline Analysis. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2022, vol. 21, iss. 3, pp. 573–587.
<https://doi.org/10.24891/ea.21.3.573>

References

1. Filimonova I.V., Eder L.V., Larionov V.G., Komarova A.V. [Rating of oil companies by level of tax burden susceptibility to macroeconomic and industry-specific factors]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika* = *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2018, vol. 17, iss. 12, pp. 1430–1443. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.12.1430>
2. Baburina O.N. [Analyzing determinants of the global oil market environment and their impact on financial results of entities operating in the tank container fleet]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'* = *National Interests: Priorities and Security*, 2018, vol. 14, iss. 12, pp. 2340–2355. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ni.14.12.2340>

3. Vygodchikova I.Yu., Gussyatnikov 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-protssessov-s-neustoychivym-trendom/viewer> (In Russ.)
4. Il'yasov R.Kh. [“Latent” Correlations of Flows in the Economy: Spline Analysis]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* = *Bulletin of Saint-Petersburg State University of Economics*, 2021, no. 1, pp. 35–41.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/latentnye-korrelyatsii-potokov-v-ekonomike-splayn-analiz> (In Russ.)
5. Bezuglov D.A., Krutov V.A., Shvachko O.V. [The method of differentiation of signals using spline-approximation]. *Fundamental'nye issledovaniya* = *Fundamental Research*, 2017, no. 4-1, pp. 24–28. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41429> (In Russ.)
6. Hirsch J.E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output that Takes into Account the Effect of Multiple Coauthorship. *Scientometrics*, 2010, vol. 85, iss. 3, pp. 741–754. URL: <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0193-9>
7. Hill R.J., Scholz M. Can Geospatial Data Improve House Price Indexes? A Hedonic Imputation Approach with Splines. *Review of Income and Wealth*, 2018, vol. 64, iss. 4, pp. 737–756. URL: <https://doi.org/10.1111/roiw.12303>
8. Edwards J.R., Parry M.E. On the Use of Spline Regression in the Study of Congruence in Organizational Research. *Organizational Research Methods*, 2018, vol. 21, iss. 1, pp. 68–110. URL: <https://doi.org/10.1177/1094428117715067>
9. Marcoulides K.M., Khojasteh J. Analyzing Longitudinal Data Using Natural Cubic Smoothing Splines. *Structural Equation Modeling*, 2018, vol. 25, iss. 6, pp. 965–971. URL: <https://doi.org/10.1080/10705511.2018.1449113>
10. Vaid M.K., Arora G. Solution of second order singular perturbed delay differential equation using trigonometric B-spline. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 2019, vol. 4, iss. 2, pp. 349–360. URL: <https://dx.doi.org/10.33889/IJMEMS.2019.4.2-028>
11. Shahbaz M., Khraief N., Mahalik M.K. Investigating the environmental Kuznets' curve for Sweden: Evidence from multivariate adaptive regression splines (MARS). *Empirical Economics*, 2020, vol. 59, iss. 4, pp. 1883–1902. URL: <https://doi.org/10.1007/s00181-019-01698-1>

12. Banker R.D., Byzalov D., Fang S., Jin B. Operating asymmetries and non-linear spline correction in discretionary accrual models. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 2020, vol. 54, iss. 3, pp. 803–850.
URL: <https://doi.org/10.1007/s11156-019-00808-5>
13. Zhenyu Cui, Kirkby J.L., Duy Nguyen. Nonparametric Density Estimation by B-Spline Duality. *Econometric Theory*, 2020, vol. 36, iss. 2, pp. 250–291.
URL: <https://doi.org/10.1017/S0266466619000112>
14. Guangyuan Gao, Shengwang Meng. Stochastic claims reserving via a Bayesian spline model with random loss ratio effects. *ASTIN Bulletin*, 2018, vol. 48, iss. 1, pp. 55–88.
URL: <https://doi.org/10.1017/asb.2017.19>
15. Botasheva F.B. [Economic images of archetypes physical dynamics]. *European Social Science Journal*, 2012, no. 8, pp. 364–373. (In Russ.)
16. Serpil Kılıç Depren, Mustafa Tevfik Kartal. Prediction on the volume of non-performing loans in Turkey using multivariate adaptive regression splines approach. *International Journal of Finance and Economics*, 2021, vol. 26, iss. 4, pp. 6395–6405.
URL: <https://doi.org/10.1002/ijfe.2126>
17. Rich J. A spline function class suitable for demand models. *Econometrics and Statistics*, 2020, vol. 14, pp. 24–37. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecosta.2018.02.002>
18. Richards S.J. A Hermite-spline model of post-retirement mortality. *Scandinavian Actuarial Journal*, 2020, vol. 2020, iss. 2, pp. 110–127.
URL: <https://doi.org/10.1080/03461238.2019.1642239>
19. Zaynidinov H., Bakhromov S., Azimov B., Makhmudjanov S. Comparative analysis spline methods in digital processing of signals. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 2020, vol. 5, iss. 6, pp. 1499–1510.
URL: <https://dx.doi.org/10.25046/aj0506180>
20. Lars Kirkby J., Deng S.-J. Swing option pricing by dynamic programming with B-spline density projection. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 2019, vol. 22, iss. 8. URL: <https://doi.org/10.1142/S0219024919500389>

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.