

УДК 303.732.4:336.76

КРОСС-ДОМЕННАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОРТРЕТА КРИТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА: ПИЛОТНЫЙ РАСЧЁТ НА ИНДЕКСАХ МОСКОВСКОЙ БИРЖИ

Бразнников Андрей Романович,магистрант, кафедра прикладной математики и информационных технологий, ФГБОУ ВО
«Донецкий государственный университет», Россия, г. Донецк

Аннотация

Феноменологический показатель информационной сложности, верифицированный на валютном домене, содержит методическое ограничение: гипотезы о двухфазной динамике перехода и о доменной специфике декомпозиции на материале одного домена не проверяемы. Работа делает первый шаг кросс-доменной программы, вводя фондовый домен – индексы Московской биржи; корректность переноса подтверждена воспроизведением опорного состояния валютного домена с точностью до одного торгового дня. Тест Краскела-Уоллиса фиксирует значимое различие доли структурной компоненты между доменами, но его направление меняется на противоположное при переходе от узкого окна к годовому из-за неробастности адаптивной калибровки к попаданию кризисных окон в калибровочное множество; поэтому гипотеза о доменной специфике в пилотном расчёте не подтверждается. Лаг между статистической и структурной компонентами неустойчив по знаку. Устойчивым оказался межсистемный результат: кросс-корреляция показателей двух доменов максимальна при положительном сдвиге во всех окнах (23-97 дней) – валютный домен опережает фондовый.

Ключевые слова: информационная сложность, критический переход, кросс-доменная верификация, дивергенция Йенсена-Шеннона, Московская биржа, межсистемный лаг, ранний предвестник.

CROSS-DOMAIN VERIFICATION OF THE INFORMATION PORTRAIT OF A CRITICAL TRANSITION: A PILOT COMPUTATION ON MOSCOW EXCHANGE INDICES

Brazhnikov Andrey Romanovich,Master's student, Department of Applied Mathematics and Information Technology, Donetsk
State University, Russia, Donetsk
e-mail: yanox123321@gmail.com

ABSTRACT

The phenomenological indicator of information complexity, verified on a currency domain, carries a methodological limitation: the hypotheses of two-phase transition dynamics and domain-

specific decomposition are not testable on a single domain. This work makes the first step of a cross-domain programme by introducing a second domain, the Moscow Exchange indices; the transfer is verified by reproducing the currency-domain reference state to within one trading day. The Kruskal-Wallis test detects a significant difference between the domains in the structural share, but the direction of the difference reverses between the narrow and the annual window, owing to the non-robustness of the adaptive calibration to crisis windows entering the calibration set; hence the domain-specificity hypothesis is not supported in the pilot. The lag between the statistical and structural components is unstable in sign. Only the cross-system result proved stable: the cross-correlation of the two domains' indicators peaks at a positive shift in every window (23-97 days) – the currency domain leads the equity domain.

Keywords: information complexity, critical transition, cross-domain verification, Jensen-Shannon divergence, Moscow Exchange, inter-system lag, early-warning signal.

Введение

Феноменологический подход трактует сложность состояния системы как измеримое отклонение от опорного (нормального) режима [1]. На этой основе в работе [2] построен интегральный показатель информационной сложности, объединяющий статистическую и структурную составляющие отклонения, и верифицирован на валютном домене – ежедневных курсах Банка России за 2018-2026 гг.

Там же указано принципиальное ограничение: гипотезы о двухфазной динамике перехода и о доменной специфике декомпозиции на материале одного домена методически не проверяемы, поскольку любая наблюдаемая закономерность неотличима от особенности конкретного рынка. Требуется кросс-доменная программа.

Настоящая работа делает первый шаг такой программы – вводит второй домен, фондовый, представленный индексами Московской биржи [3]. Задача пилотного расчёта – не подтверждение гипотез, а проверка переносимости методики и первое эмпирическое сопоставление информационных портретов. Оговорка обязательна: два домена кросс-доменной инвариантности не образуют, а критерий двухфазности из [2] (доля положительных лагов не менее 75% по всем доменам) на двух доменах не проверяется в принципе.

Методика и данные

Показатель вычисляется по методике [2] без изменений:

$$C_I(t) = D_{JS}(P_t \parallel P_{ref}) + \lambda \Delta_{struct}(t), \quad \lambda = \frac{\sigma_{JS}}{\sigma_{\Delta}}, \quad r(t) = \frac{\lambda \Delta_{struct}}{C_I} \quad (1)$$

где D_{JS} – дивергенция Йенсена-Шеннона [4] между распределением текущего окна и опорным, нат; Δ_{struct} – нормированное расстояние Фробениуса между ковариационными матрицами, безразмерная; λ – адаптивный весовой коэффициент, нат; σ_{JS} , σ_{Δ} – стандартные отклонения компонент на калибровочном множестве; $r(t)$ – доля структурной компоненты, безразмерная.

Опорное состояние строится по 2018 г. с отсеком аномалий по правилу трёх сигм; ковариационные матрицы регуляризуются сжатием Ледуа-Вольфа [5]. Окно датируется по правому краю. Дополнительно введено отсечение прогрева: окна, перекрывающиеся с опорным периодом, из расчёта исключены, так как сравнивают норму саму с собой и дают ложный максимум в начале ряда.

Валютный домен пересчитан заново – опубликованы только значения в пиках, тогда как для кросс-корреляции нужны полные ряды. Перенос методики верифицирован: обусловленность опорной матрицы составила 63,8 против опубликованных 63, отсев трёх

сигм оставил 241 наблюдение из 246 против опубликованных 242 из 247. Расхождение – один торговый день.

Вектор состояния фондового домена требует оговорки: индексные доски сервера Московской биржи (ISS) не дают числа сделок и спреда, а поле объёма по индексам пусто. Поэтому использован вектор той же размерности из доступных переменных – значений ИМОЕХ и RTS, их оборотов и внутридневного размаха максимум/минимум как меры волатильности и ликвидности.

Таблица 1. Характеристики доменов

Характеристика	Валютный домен	Фондовый домен
Источник	ЦБ РФ, формат XML	МосБиржа, сервер ISS
Период	10.01.2018-31.01.2026	03.01.2018-30.01.2026
Число наблюдений	1988	2028
Размерность вектора	6	6
Отсев по правилу 3σ	241 из 246	246 из 253
$\text{cond}(\Sigma_{ref})$	63,8	406,4
λ при $w = 252$	0,082	0,815

Результаты по фондовому домену

При ширине окна 252 дня максимум показателя составил 0,758, достигнут 17.03.2023. Пики по эпизодам: пандемия – 14.04.2020, $C_I = 0,247$ при $D_{JS} = 0,104$ и $\lambda\Delta_{struct} = 0,143$, доля структурной компоненты 0,578; санкционный шок – 17.03.2023, $C_I = 0,758$ при $D_{JS} = 0,438$ и $\lambda\Delta_{struct} = 0,320$, доля 0,422; девальвация – 24.08.2023, $C_I = 0,480$ при $D_{JS} = 0,126$ и $\lambda\Delta_{struct} = 0,354$, доля 0,738.

Принципиальное отличие от валютного домена обнаружилось в поведении статистической компоненты. В фондовом домене при годовом окне она ни разу не достигает уровня насыщения $0,99\ln 2$, тогда как в валютном таких окон 23,6%. Различие сохраняется и при узких окнах, меняя знак: 42,6% против 32,2% при $w = 60$ и 8,0% против 30,5% при $w = 120$.

Обусловленность опорной матрицы фондового домена – 406,4 против 63,8 у валютного: индексы ИМОЕХ и RTS, их обороты и их же размахи образуют три почти коллинеарные пары. Регуляризация Ледуа-Вольфа сохраняет матрицу невырожденной, но дивергенция на плохо обусловленной матрице чувствительна к малым возмущениям – результат следует считать предварительным.

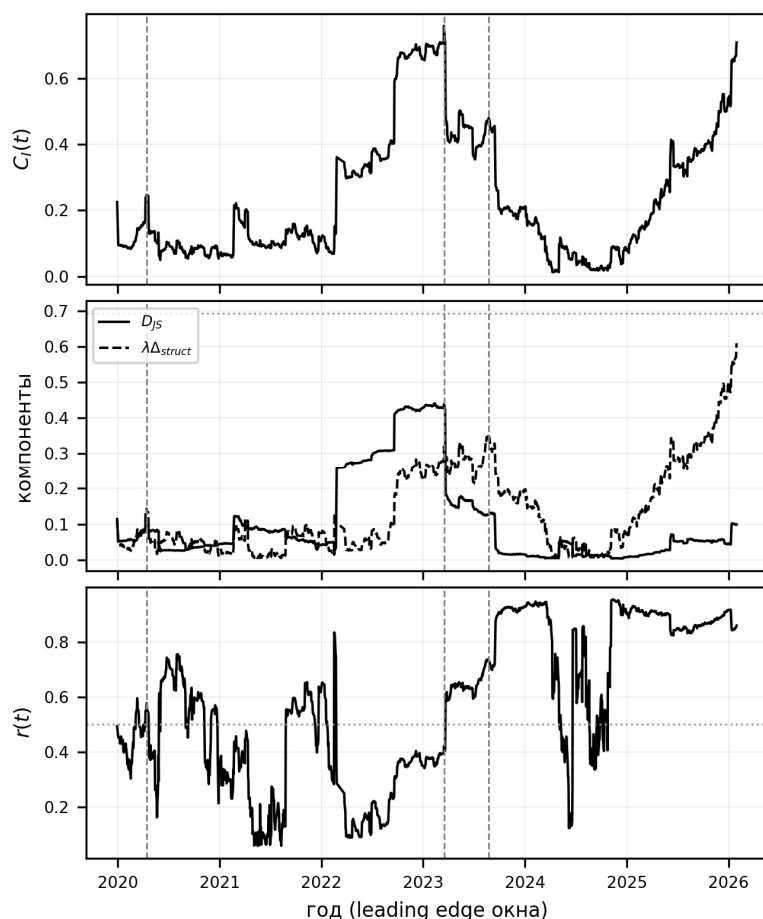


Рисунок 1. Динамика показателя $C_I(t)$, его компонент (D_{JS} и $\lambda\Delta_{struct}$) и доли структурной компоненты $r(t)$ для фондового домена при $w = 252$. Вертикальные линии – пики кризисных эпизодов. Расчёт автора

Сопоставление портретов двух доменов

Таблица 2. Портреты критических переходов ($w = 252$)

Эпизод	Домен	Дата пика	$C_{I,max}$	$r(t_{max})$	λ
Пандемия	валютный	14.01.2021	0,568	0,229	0,082
Пандемия	фондовый	14.04.2020	0,247	0,578	0,815
Санкции	валютный	18.02.2023	2,631	0,466	0,082
Санкции	фондовый	17.03.2023	0,758	0,422	0,815
Девальвация	валютный	18.08.2023	0,786	0,202	0,082
Девальвация	фондовый	24.08.2023	0,480	0,738	0,815

Тест Краскела-Уоллиса на распределениях $r(t)$ в окрестностях пиков (± 60 дней, прореживание с шагом 21 день, по 18 значений на домен) даёт значимое различие во всех трёх окнах: $p = 8,2 \cdot 10^{-6}$ при $w = 60$, $p = 3,6 \cdot 10^{-3}$ при $w = 120$ и $p = 5,9 \cdot 10^{-5}$ при $w = 252$.

Однако направление различия неустойчиво. Медиана доли структурной компоненты в пиках составляет 0,719 в валютном домене против 0,350 в фондовом при $w = 60$ и 0,660 против 0,506 при $w = 120$, но 0,229 против 0,578 при $w = 252$. То есть при узких окнах структурная компонента доминирует в валютном домене, при годовом – в фондовом.

Источник неустойчивости установлен и относится к самой методике. Коэффициент $\lambda = \sigma_{JS}/\sigma_{\Delta}$ не робастен к составу калибровочного множества: при годовом окне после отсека прогрева в него неизбежно попадают кризисные окна, из-за чего σ_{Δ} валютного домена возрастает, а λ падает до 0,082. Поскольку r зависит от λ монотонно, вслед за коэффициентом смещается вся декомпозиция. Гипотеза о доменной специфике

декомпозиции не подтверждается – не потому, что различий нет, а потому, что r не инвариантен относительно свободного параметра λ .

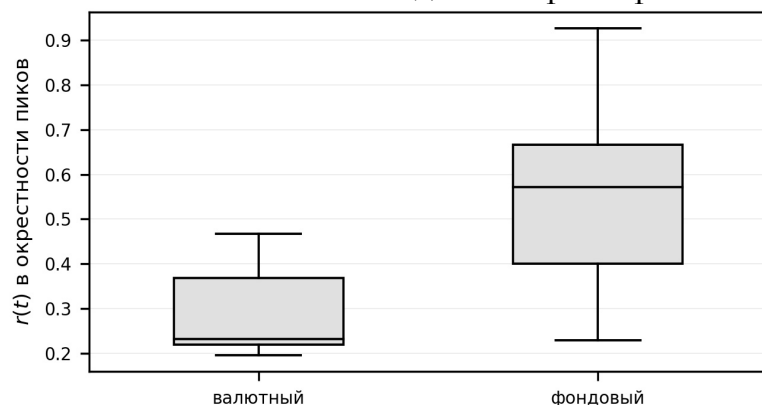


Рисунок 2. Распределения доли структурной компоненты $r(t)$ в окрестностях кризисных пиков по доменам ($w = 252$). Расчёт автора

Оценка двухфазности и межсистемного лага

Лаг τ между выходом статистической и структурной компонент за порог оценивался по каждому эпизоду. В валютном домене получено -45, 0 и 20 дней при $w = 60$; 1, 0 и 0 дней при $w = 120$; -67 дней при $w = 252$ (в двух эпизодах порог не достигнут). В фондовом домене лаг разрешился лишь в двух случаях из девяти. Знак неустойчив: устойчивого опережения статистической компоненты не наблюдается даже на узком окне, от которого ожидалось повышение разрешающей способности. Результат согласуется с указанием [2] о неразрешимости лага на годовом окне и распространяет его на узкие окна.

Кросс-корреляция показателей двух доменов, напротив, дала устойчивый результат. Максимум достигается при положительном сдвиге во всех трёх окнах: 97 дней при $r = 0,296$ ($w = 60$), 33 дня при $r = 0,482$ ($w = 120$) и 23 дня при $r = 0,813$ ($w = 252$). Положительный знак означает опережение фондового домена валютным, что согласуется с тезисом [2] о временном лаге межсистемного распространения нестабильности. Оговорка обязательна: ряды скользящих окон сильно автокоррелированы, поэтому номинальная значимость коэффициента корреляции завышена и требует поправки на эффективное число степеней свободы.

Закключение

Установлено следующее. Методика [2] переносима на второй домен без изменений; корректность переноса подтверждена воспроизведением опорного состояния валютного домена с точностью до одного торгового дня. Получен информационный портрет фондового домена, в котором статистическая компонента при годовом окне не достигает насыщения ни разу против 23,6% окон в валютном домене. Знак межсистемного лага устойчив во всех окнах: валютный домен опережает фондовый на 23-97 дней.

Не установлено следующее. Гипотеза о доменной специфике декомпозиции не подтверждается: направление различия распределений r меняется на противоположное при переходе от узких окон к годовому. Гипотеза о двухфазности не проверяется: лаг между компонентами неустойчив по знаку и в фондовом домене разрешается в двух случаях из девяти.

Выявлен методический дефект, требующий устранения до продолжения программы: адаптивная калибровка $\lambda = \sigma_{JS}/\sigma_A$ не робастна к попаданию кризисных окон в калибровочное множество. Требуются робастная схема калибровки, вектор состояния фондового домена на уровне отдельных бумаг с фактическими числом сделок и спредом, а также остальные три домена, без которых критерий кросс-доменной инвариантности не проверяется.

Список литературы:

1. Аверин Г.В., Звягинцева А.В., Бражников А.Р. Феноменологический подход к комплексной оценке сложности многомерных систем // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2026. – № 1. – С. 124–140.
2. Звягинцева А.В., Бражников А.Р. Интегральный показатель информационной сложности многомерных систем на основе JS-дивергенции и структурного расстояния // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2026. – № 2. – DOI 10.5281/zenodo.15586055.
3. Информационно-статистический сервер Московской биржи (ISS) [электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <https://iss.moex.com/> (дата обращения: 19.07.2026).
4. Lin J. Divergence measures based on the Shannon entropy // IEEE Transactions on Information Theory. – 1991. – Vol. 37, № 1. – P. 145–151.
5. Ledoit O., Wolf M. Honey, I shrunk the sample covariance matrix // The Journal of Portfolio Management. – 2004. – Vol. 30, № 4. – P. 110–119.

References:

1. Averin G.V., Zvyagintseva A.V., Brazhnikov A.R. A phenomenological approach to the integrated assessment of the complexity of multidimensional systems // Vestnik of Donetsk National University. Series G: Technical Sciences. – 2026. – No. 1. – P. 124–140.
2. Zvyagintseva A.V., Brazhnikov A.R. An integral indicator of the information complexity of multidimensional systems based on the JS-divergence and the structural distance // Vestnik of Donetsk National University. Series G: Technical Sciences. – 2026. – No. 2. – DOI 10.5281/zenodo.15586055.
3. Moscow Exchange Information & Statistical Server (ISS) [electronic resource]. – Available at: <https://iss.moex.com/> (accessed: 19.07.2026).
4. Lin J. Divergence measures based on the Shannon entropy // IEEE Transactions on Information Theory. – 1991. – Vol. 37, No. 1. – P. 145–151.
5. Ledoit O., Wolf M. Honey, I shrunk the sample covariance matrix // The Journal of Portfolio Management. – 2004. – Vol. 30, No. 4. – P. 110–119.