

УДК 519.866

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-3-105-114

Принципы моделирования причинно-следственных связей в финансовых временных рядах на примере фондовых индексов

Н. Р. Санду, аспирант, МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

Р. В. Файзуллин, кандидат экономических наук, доцент, МИРЭА –
Российский технологический университет, Москва, Россия

В статье авторами рассмотрены вопросы моделирования причинно-следственных связей на примере финансовых временных рядов. Любая сложная динамическая система характеризуется наличием множества эндогенных индикаторов с десятками и сотнями обратных связей. Связи между элементами системы обуславливают влияние на результат работы системы посредством множества параметров, которые могут приводить к искажению результата управленческого воздействия и, как следствие, к искажению эффективности работы системы в целом. Моделирование является одним из эффективных инструментов определения параметров работы рассматриваемой системы в условиях действия на нее внешних сил и ограничений. В деятельности системы управления аналитический инструментарий математического моделирования позволяет на основе разработанной модели увидеть, как с течением времени будет меняться система и какие факторы оказывают на нее наибольшее воздействие.

Система является изменчивой во времени, что обуславливает различие между исходным ее состоянием и состоянием в определенный момент времени, объясняющееся причинно-следственными связями между элементами системами и уровнем влияния внешних факторов, к которым, например, могут относиться рыночные факторы. Последние в свою очередь, можно проанализировать и, как следствие, предугадать, используя математические методы. Говоря о внешних факторах, многие из них не поддаются точному анализу. Примерами таковых являются природные и экологические. В данной статье авторы определяют принципы моделирования причинно-следственных связей в финансовых временных рядах на примере фондовых индексов. В ходе исследования проверена нестационарность временных рядов тестами Дикки – Фуллера, а также с помощью тестового решения KPSS, что подтвердило нестационарность фондовых индексов в выбранном временном периоде. Расчеты проведены с использованием современного статистического пакета Eviews. Определена актуальность темы, связанной с вопросами остационарирования финансовых временных рядов для моделирования причинно-следственных связей.

Ключевые слова: авторегрессионная модель, моделирование, причинно-следственные связи, временной ряд.

Введение

За последние несколько десятилетий произошло много экономических шоков и кризисов, которые сильно повлияли на национальные фондовые рынки. Одним из каналов влияния данных событий признаётся изменение природы взаимосвязей между фондовыми индексами разных стран. С 2020 года рынки столкнулись с кризисом, связанным с пандемией коронавируса [1]. Представляется особенно важным изучить его влияние на краткосрочные и долгосрочные взаимосвязи фондовых рынков России и развитых и развивающихся стран.

Целью исследования является подтверждение или опровержение факта стационарности селективно выбранных данных финансовых временных рядов с помощью различных методов и тестов. Так, например, одним из популярных методов определения факта стационарности является анализ логарифмической доходности. В данной статье математическое моделирование будет

представлено в виде нескольких моделей с использованием нескольких тестовых решений.

В данной статье используются многомерная модель DCC-GARCH (динамическая условная корреляция авторегрессионной условной гетероскедастичности, от англ. dynamic conditional correlations generalized autoregressive conditional heteroscedasticity), модели ARCH (авторегрессионная условная гетероскедастичности, от англ. autoregressive conditional heteroscedasticity) и GARCH (общая авторегрессионная условная гетероскедастичности, от англ. generalized autoregressive conditional heteroscedasticity), а также модель постоянных условных корреляций CCC-GARCH (постоянные условные корреляции авторегрессионной условной гетероскедастичности, от англ. constant conditional correlation generalized autoregressive conditional heteroscedasticity). Описывая используемые тестовые решения для тестирования вышеописанных моделей, были выбраны тесты Дикки –

Фуллера (DF) вместе с расширенным решением Дикки – Фуллера (ADF) и тестовое решение KPSS (инициалы ученых Квятковского, Филлипса, Шмидта и Шина), которое позволяет определить стационарность. Для тестирования были выбраны переменные из числа национальных фондовых внутристрановых индексов и тестирования по ним были проведены с использованием статистического решения Eviews.

Методика моделирования причинно-следственных связей

Для моделирования причинно-следственных связей может использоваться технология блокчейна в сочетании со смарт-контрактами. Эта технология может быть использована для представления и обеспечения соглашений между двумя или более сторонами прозрачным и прослеживаемым образом. Кроме того, ее можно использовать для безопасного хранения данных и обеспечения достоверности данных по проведенным транзакциям.

С помощью этой технологии предприятия также могут создавать автоматизированные системы, которые запускают действия на основе заранее определенных условий. Общие варианты использования включают управление цепочками поставок, автоматизацию платежей, программы лояльности и отслеживание активов. Эти системы гарантируют, что каждая сторона несет ответственность и обеспечивает свои права в соответствии с условиями соглашения. Кроме того, блокчейн-технологии затрудняют мошенничество и манипулирование данными по транзакциям или проведение одинаковых транзакций несколько раз, что делает технологию безопасной и релевантной для использования в бизнесе.

Технология блокчейн играет все большую роль в финансовых операциях, поскольку обеспечивает полноценный контроль за финансовыми транзакциями и позволяет всем заинтересованным сторонам, не доверяющим друг другу, быть уверенными в чистоте совершенной сделки и ее надежности.

Действительно, реализация финансовых сделок подвержена влиянию определенного набора факторов на всех этапах их реализации. Рассмотрим их поочередно с учетом технологии блокчейн [2].

1. На этапе управления финансовыми транзакциями оцениваются целесообразность и риски реализации. На данном этапе все данные по сделке записываются в распределенный журнал данных на основе технологии блокчейн,

гарантирующий их неизменность, надежность и целостность.

2. На этапе регистрации финансовой сделки она подтверждается всеми участниками сети и данные о ней записываются в отдельный блок, который моментально добавляется в блокчейн.

3. Заключительным этапом признается верификация совершенной финансовой транзакции [3].

Это и становится гарантией соблюдения сторонами финансовых обязательств по сделке.

В последние несколько лет при описании данных блокчейна (данных системы блоков), а также описании протоколов в сетях блокчейнов используется метод прогнозирования данных временного ряда за определенный период времени добавления блока в блокчейн (систему блоков). В свою очередь временные ряды на финансовых рынках характеризуются изменчивой во времени волатильностью. Питт и Шепард обнаружили автокорреляцию волатильности, что отражает важную особенность данного финансового показателя – кластеризацию. То есть за большими колебаниями цены финансового актива сегодня последуют ощутимые колебания завтра, и наоборот, незначительные изменения цены вчера предшествуют небольшим изменениям сегодня. Благодаря этому свойству волатильности финансовые аналитики, трейдеры и другие участники финансового рынка могут отследить периоды затишья и повышенной активности, а также делать прогнозы.

Поэтому для анализа финансовых временных рядов зачастую проводится переход к более стационарному показателю – логарифмической доходности (далее доходность) (остационаривание временного ряда):

$$x_t = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}}, \quad (1)$$

где x_t – логарифмическая доходность финансового актива либо индекса; S_t и S_{t-1} – значения цены актива либо индекса по итогам торгов в моменты t и $t - 1$, то есть два последовательных момента времени [4].

Одним из первых, кто предложил анализировать доходность, был Луи Башелье [5].

Для проведения анализа выберем следующие переменные из числа национальных индексов: F [DAX] (Немецкий фондовый индекс), F [FTSE100] (ведущий индекс Британской фондовой биржи), F [S&P] 200 (фондовый индекс США), F [NIKKEI222] (Фондовый индекс Японии), F [SSEC] (Шанхайский фондовый индекс).

Фондовые индексы, как финансовые временные ряды, отражают динамику цен активов, входящих в эти индексы. С учетом, что взяты национальные индексы, в них входят акции многих организаций определенной страны. Деятельность многих организаций как субъектов экономической системы сопряжена с определенными рисками, которые включают в себя в том числе внутривнутристрановые. В этой связи деятельность предприятия сопряжена именно с анализом подобных рисков развития негативных явлений экономического и технологического характера.

Математическое моделирование в этих условиях может служить методом анализа параметров развития негативной ситуации и предсказать дальнейшее ее распространение [6], что, в свою очередь, позволит предпринять все необходимые меры по недопущению перехода негативной ситуации на уровень катастрофы. Применение математического моделирования в экономике позволяет оценить возможность наступления тех либо иных событий и в связи с этим предоставляет альтернативы принятия решений в области экономического развития. Областью применения математических методов является отдельно взятая экономическая система. Границы анализа представлены той выборкой, которая лежит в основе анализа.

Таким образом, применение математического моделирования в экономике позволяет оценить, с какой степенью вероятно развитие экономической системы по одному или другому сценарию, а также оценить показатели экономического роста отраслей в условиях действия негативных факторов. Также математические модели применяются для оценки факторов развития экономической системы страны. Например, особенностью отраслевой структуры экономики России является повышенный удельный вес производства товаров и низкая доля производства услуг. Это обусловлено как исторически сложившейся ориентацией на добычу и экспорт энергоресурсов, так и географией развития.

Энергетическая рента выделила Ханты-Мансийск, Ямал и Татарстан среди регионов по доле в ВВП страны. Существенный вклад в формирование ВВП также вносят Москва, Московская область и Санкт-Петербург как ведущие финансово-промышленные центры страны [7].

Остальные же субъекты в большинстве своем остаются дотационными и сильно зависящими от центра. В плане культурных детерминант, большинство народонаселения (70 %) составляют рус-

ские, исповедующие православие, что и обуславливает вектор культурного развития страны.

Рассмотрим целесообразность проведения одной из следующих внешнеэкономических политик (ВЭП) страны: либеральная, протекционизм, автаркия.

Протекционизм, преследуя благую цель поддержки отечественного производства, ограничивает импорт. Но вместо того, чтобы развиваться технологически, отечественная промышленность наращивает выпуск уже имеющихся товаров и продает их по завышенной цене. Пример не совсем удачного импортозамещения показал все противоречия протекционизма.

Автаркия же предусматривает практически полное закрытие границ и ориентации ВЭП на внутренний рынок. Его сопутствующие факторы продемонстрировал пример СССР – товарный дефицит, скрытая инфляция, черный рынок. Для страны с рыночной экономикой автаркия крайне нежелательна. В этих условиях для России предпочтительнее все же либеральная ВЭП, но не в чисто рыночной модели, а «умная» либерализация на примере Китая – расширение прав для иностранных инвесторов и компаний, но с условиями инвестирования в развитие отечественной промышленности и создание новых рабочих мест.

Таким образом, применение математического моделирования в экономике позволяет прогнозировать уровень рисков развития экономической системы, а также рассмотреть сценарии развития экономики в среднесрочной перспективе [8], что даст возможность на основе математического моделирования принять оптимальное решение в условиях неопределенности. Однако экономические показатели обычно представляют нестационарный временной ряд.

«Формальным способом проверки временного ряда на стационарность является тест на наличие единичных корней – тест Дикки – Фуллера (DF) или расширенный тест Дикки – Фуллера (ADF). В основу указанных тестов положена следующая регрессия:

$$\Delta y_t = \mu + \delta t + \alpha y_{t-1} + \sum_{i=1}^n \beta_i \Delta y_{t-i} + e_t, \quad (2)$$

где $y_{t-1} = y_t - y_{t-1}$; $\mu, \delta, \alpha, \beta_i$ – коэффициенты регрессии; t – временной тренд; e_t – остаточный член регрессии» [9].

Результаты моделирования причинно-следственных связей финансовых временных рядов

Проверим на стационарность временные ряды динамики фондовых индексов (табл. 1), ста-

ционность важна, потому что если остатки модели стационарны, то модель является хорошо специфицированной [10]. Результаты показали, что на всех адекватных уровнях значимости для всех выбранных показателей гипотеза о нестационарности не отвергается, то есть все выбранные переменные не стационарны.

Для того чтобы получить более достоверный результат, проверяем результаты тестового решения Дики – Фуллера при помощи другого

тестового решения на стационарность – KPSS-тестового решения в статистическом решении Eviews. Суть теста в том, чтобы в тесте Дики – Фуллера поменять нулевую и альтернативную гипотезу местами, то есть нулевой гипотезой для этого тестового решения признается предположение о стационарности временного ряда, а альтернативной гипотезой, соответственно, нестационарность. Результаты для выражений в уровнях отражены в табл. 2.

Таблица 1. Исследование стационарности временных рядов

Table 1. Study of stationarity of time series

Фактор	Общая ADF (от англ. AdventDikki-Fuller) с индикатором константы и тренда	Тест с индикатором константы	Тест без индикатора константы
F [RTS]	-2,2222	-2,0228	0,1222
F [Gold]	-1,8022	-1,0222	-1,2220
F [FTSE100]	-2,2228	-2,2120	0,2201
F [Brent]	-2,1222	-2,0082	0,1112
F [S&P]	-1,8122	-1,8222	-1,2222
F [SSEC]	-2,1180	-2,1822	0,0222
F [Nikkei222]	-2,2222	-2,2822	-0,8002
F [DAX]	-2,8020	-2,2822	-0,2222
F [Crit. val. (1п.п.)]	-2,2800	-2,2200	-2,2800
F [Crit. val. (5п.п.)]	-1,8200	-2,8200	-1,8200
F [Crit. val. (15п.п.)]	-1,2200	-2,2200	-1,2200

Таблица 2. Тест на не стационарность

Table 2. Test for non-stationarity

Переменная	Тестовая статистика по тесту KPSS
F [RTS]	1,880
F [Gold]	2,210
F [FTSE100]	2,020
F [Brent]	2,020
F [S&P]	2,220
F [SSEC]	2,020
F [Nikkei222]	2,210
F [DAX]	1,220
F [Criticalvalue (1%)]	0,212
F [Criticalvalue (5%)]	0,122
F [Criticalvalue (15%)]	0,118

Результаты тестового решения показали, что данные на уровнях для всех показателей нестационарны, так как нулевая гипотеза KPSS тестового решения отвергается на всех разумных уровнях значимости по всем переменным.

Теперь проведем этот же тест для выражений в разностях. Результаты тестового решения представлены в табл. 3.

Для логарифмических выражений в первых разностях нулевая гипотеза не отвергается для

всех показателей на любом разумном уровне значимости, что говорит нам о том, что данные в разностях признаются стационарными.

Таким образом, результаты тестового решения на стационарность Дики – Фуллера и тестового решения KPSS полностью совпали, результаты можно считать достоверными.

Следующим шагом построим многомерную модель DCC-GARCH. Данная модель была введена в 1986 году Боллерселевом в качестве дора-

ботки модели ARCH (авторегрессионной условной гетероскедастичности).

Модель ARCH стала использоваться для моделирования цен финансовых активов и валютных курсов. В виде формулы данная модель представлена следующим образом:

$$x_t = E(x_t | F_{t-1}) + \varepsilon_t, \quad (3)$$

$$\varepsilon_t = \sqrt{\sigma_t} \times u_t, \quad (4)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^Q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2, \quad (5)$$

где доходность x_t записывается как сумма условного мат. ожидания $E(\cdot)$ и отклонений (случайной составляющей). $\varepsilon_t | F_{t-1}$ отражает множество собранной информации вплоть до момента $t-1$, а $u_t \sim iidN(0,1)$ (следует отметить, что условие нормальности распределения данного показателя необязательно). Последнее уравнение (5) отражает определение волатильности в модели. Так, она представляет собой линейное уравнение константы (α_0) и квадратов отклонений в прошлых моментах времени. На модель накладываются следующие ограничения: $\alpha_0 > 0$, значение каждого коэффициента ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$) ≥ 0 для $\forall i > 0$, а сумма коэффициентов должна быть меньше 1 ($\sum_{i=1}^Q \alpha_i < 1$). Важным является следующее свойство модели: $cov(\varepsilon_t^2, \varepsilon_{t-1}^2) \neq 0$, в то время как $cov(\varepsilon_t^2, \varepsilon_{t-j}^2) = 0$ для $j \neq 0$.

Для модели GARCH (P, Q) условные вариации задаются следующим уравнением с параметрами P и Q , которые на практике чаще всего берутся равными единице:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha(L)\varepsilon_t^2 + \beta(L)\sigma_{t-1}^2, \quad (6)$$

где оцениваемые параметры $\alpha(L) = \alpha_1 L + \alpha_2 L^2 + \dots + \alpha_Q L^Q$, $\beta(L) = \beta_1 L + \beta_2 L^2 + \dots + \beta_P L^P$, а L^n – оператор лага порядка n . Чтобы стабильность процесса, то есть конечная вариация ошибок $\sigma_t \varepsilon_t$, была обеспечена, накладываются следующие ограничения: $\alpha(L) + \beta(L) < 1$; $\omega > 0$; $\alpha_i \geq 0$; $i = \overline{1, Q}$; $\beta_j \geq 0$; $j = \overline{1, P}$.

Также в 1990 году Г-н Боллерслев предложил первую модель CCC-GARCH, где доходность каждого актива описывается одномерной моделью GARCH, а также предполагается постоянство условных корреляций между ними. Впоследствии была разработана обобщенная модель CCC-GARCH за счет введения для корреляции динамики вида GARCH модель динамических условных корреляций – DCC-GARCH. Однако данная модель обладает ограничением, что динамика корреляций для всех активов в портфеле предполагается одинаковой, которое было ослаблено в работе [11].

Результаты оценивания многомерной DCC-GARCH представлены в табл. 4. В таблице приведены значения показателей DCC-GARCH модели для логарифмических доходностей показателей, а также значения p -value в квадратных скобках. Можно сразу же заметить, что показатели DCC-GARCH, отражающие значимость волатильности показателей в краткосрочном и долгосрочном периоде (представляются как Joint DCC α и β соответственно) на любом уровне значимости, что говорит нам об уместности применения именно модели с динамической, а не постоянной условной корреляцией. Кроме того, параметр при условной дисперсии в предыдущем периоде (β) оказался значимым [12].

Таблица 3. Тест для выражений в разностях

Table 3. Test for expressions in differences

Фактор	Результаты тестирования KPSS
F [RTS]	0,020
F [Gold]	0,102
F [FTSE100]	0,020
F [Brent]	0,020
F [S&P]	0,020
F [SSEC]	0,020
F [Nikkei222]	0,020
F [DAX]	0,020
F [Crit. val. (1п.п.)]	0,212
F [Crit. val. (5п.п.)]	0,122
F [Crit. val. (15п.п.)]	0,118

Таблица 4. Результаты оценивания многомерной DCC-GARCH

Table 4. Results of multivariate DCC-GARCH estimation

Фактор	Const	ω	α	β
F [RTS]	2,12 [1,00]	0,000022[1,00]	0,88 [1,00]	0,012 [0,202]
F [Brent]	1,82 [1,00]	0,000000 [0,28]	0,82 [1,00]	0,120 [0,022]
F [Gold]	2,12 [1,00]	0,000000 [0,21]	0,22 [0,02]	0,220 [0,22]
F [S&P]	2,22 [1,00]	0,000000 [1,00]	0,82[1,00]	0,020 [0,28]
F [DAX]	2,02[1,00]	0,000000 [1,00]	0,88[1,00]	0,000 [0,21]
F [FTSE100]	2,82 [1,00]	0,000000 [1,00]	0,82[1,00]	0,020 [0,001]
F [Nikkei222]	2,12 [1,00]	0,000000 [1,00]	0,82[1,00]	0,120 [0,22]
F [SSEC]	2,22 [1,00]	0,000000 [1,00]	0,82 [1,00]	0,020 [0,22]
Joint DCC	–	–	0,11 [1,00]	0,880 [1,00]

Анализ результатов

Полезность применения временных рядов и моделей, описанных выше, на практике обусловлена необходимостью компаний/организаций в прогнозировании различных показателей рынка для оптимизации доходных моделей и ликвидации потенциальных убытков. Примерами таких юридических лиц зачастую являются различные финансовые/кредитные организации или банки. Однако правильно проанализированные и выработанные стратегии прогноза во временных рядах не всегда могут спасти организацию от убытков. Понеся серьезные финансовые убытки, менеджмент кредитной организации задумывается об результативном операционном менеджменте и финансовом планировании в целях раннего выявления рисков и результативного их устранения.

Внедрение блокчейн-технологий в деятельность коммерческого банка предусматривает оптимизацию бизнес-процессов в части совершения финансовых транзакций:

- автоматизируется проверка идентификационных данных контрагента по финансовой сделке;
- автоматизируется процесс заполнения сопроводительной документации по финансовой сделке;
- автоматизируется процесс анализа совершения финансовой транзакции;
- пересматривается процесс хранения информации по совершенным финансовым транзакциям в пользу формирования электронного депозитария на основе технологии блокчейн.

Для менеджмента компаний реализация финансовых транзакций на основе блокчейн-технологий явилась ключевым решением хеджирования рисков, поскольку позволила:

- совершать сделки с большим числом контрагентов, не затрачивая большое количество

времени на полноценную проверку их финансовой чистоплотности;

- обеспечить прозрачность условий совершения сделки;
- обеспечить надежность сохранности финансовой информации по всей истории движения денежных средств с момента списания со счета кредитной организации до момента обработки в процессинговом центре и зачисления на банковский счет контрагента;
- обеспечить доступность к базе данных финансовых транзакций для проведения мониторинга результативности сделок.

Все это позволило банкам повысить уровень финансового риск-менеджмента и обеспечить свою финансовую устойчивость в период нарастания санкционных ограничений со стороны западных стран.

Кроме того, использование блокчейн-технологий позволяет оптимизировать взаимодействие как между филиалами банка, так и между структурными подразделениями головного офиса посредством формирования единого депозитария, в котором хранятся:

- идентификационные данные по контрагентам;
- информация по условиям совершенных финансовых транзакций;
- информация по проверке условий финансовых транзакций;
- информация по движению денежных средств между расчетными счетами коммерческого банка и контрагента;
- информация по пересмотру финансовых транзакций;
- информация по просмотру сведений о совершении финансовых транзакций.

Таким образом, реализация финансовых транзакций на основе блокчейн-технологий позволит компаниям повысить свою операцион-

ную результативность и увеличить финансовый результат. Результативность применения блокчейн-технологий в финансировании компаний несомненна, поскольку данные технологии обладают целым рядом преимуществ:

- обеспечивают надежность финансовой сделки;
- обеспечивают чистоту финансовой сделки;
- позволяют контролировать ход всей транзакции;
- экономят ресурсы на хеджировании рисков.

Но вместе с тем все большее усовершенствование процессов и их большая цифровизация могут навредить. В менеджменте это называется парадокс управления. Суть данного парадокса заключается в том, что управленческий процесс в силу своей специфичности имеет множество особенностей, что и сказывается в итоге на получившихся результатах.

Так, парадоксы управленческой деятельности заключаются в том, что:

- при планировании деятельности управляющее воздействие осуществлялось на одни элементы, а наибольший результат получен от других;
- при реализации проектов ставка делалась на управленческие компетенции ведущего менеджера, а он своими действиями лишь обострял обстановку в коллективе и приводил к срыву сроков проекта;
- при планировании и реализации проекта просчитывали влияние одних рисков, а наступили совершенно другие, к которым изначально не были готовы.

Таким образом, парадоксы в управленческой деятельности приводят к отступлению от первоначального плана, заставляют менеджмент столкнуться с новыми обстоятельствами и принимать решения в условиях, сильно отличающихся от первоначальных. Вместе с тем парадоксы управления создают тот бесценный опыт и те компетенции, которые признаются сильной стороной любого менеджера, прошедшего через эти трудности. Другими словами, применение блокчейн-технологий в финансировании компаний признается, несомненно, верным решением с позиции хеджирования финансовых рисков компании.

Информационные системы блокчейн в условиях повсеместной цифровизации общества позволяют совершенствовать процессы принятия управленческих решений. В свою очередь модернизация средств регистрации, учета и обме-

на финансовых, материальных и нематериальных активов позволит многократно улучшить работу. Однако для осуществления работы с технологией блокчейн требуется подготовить специалистов, наделенных цифровыми профессиональными компетенциями, что позволит им принимать адекватные решения в финансовой сфере под влиянием повышенной нестабильности на рынках [13, 14].

Технология блокчейн играет все большую роль в финансовых операциях, поскольку обеспечивает полноценный контроль за финансовыми транзакциями и позволяет всем заинтересованным сторонам, не доверяющим друг другу, быть уверенными в чистоте совершенной сделки и ее надежности [15].

Но со временем она может привести к тому, что менеджмент, излишне полагаясь на применение блокчейн-технологий в финансировании компаний, перестанет самостоятельно оценивать риски, проводить анализ и планирование, всецело доверившись компьютерной новации.

Все это может привести к утрате компетенций и неспособности распознать ошибку, если такая вдруг случится, что не позволит ее предотвратить и повлечет финансовые убытки.

В целом, несмотря на несомненную результативность применения блокчейн-технологий в финансировании компаний, менеджменту следует рассчитывать не только на решение компьютера при реализации финансовых транзакций, а все также проводить оценку и анализ индикаторов сделки, тем самым дублируя компьютер и не утрачивая компетенций.

Выводы

Таким образом, в данной статье на примере отдельно взятой системы проведено моделирование причинно-следственных связей в финансовых временных рядах и оценивание их применения на основе примеров фондовых индексов. Моделирование показало высокую зависимость между устойчивостью системы и периодичностью ее обслуживания. Определено, что использование технологии блокчейн позволяет повышать не только безопасность сделок, но и повышает защищенность используемых данных, что в свою очередь полезно для повышения точности результатов моделирования.

В статье проанализированы фондовые индексы за период с 2020 по 2022 год с помощью селективно выбранных данных временного ряда. Фондовые индексы, являясь примером финансовых временных рядов, имеют некоторые особенности, в частности нестационарность. В ходе исследования проверена нестационар-

ность временных рядов тестами Дикки – Фуллера, а также с помощью тестового решения KPSS что подтвердило нестационарность фондовых индексов в выбранном временном периоде, описанных выше. Для приведения к стационарному виду использовалось математическое преобразование, в котором вместо исходного временного ряда используется для анализа логарифм прироста значений временного ряда. Полученный в ходе преобразования временной ряд был проверен на нестационарность с помощью описанных выше тестов и была опровергнута гипотеза о их стационарности. Можно сделать выводы, что в ходе исследования проверены фондовые индексы как финансовые временные ряды на стационарность и предложена процедура преобразования нестационарных финансовых временных рядов к стационарному виду.

Библиографические ссылки

1. Štífaníć D. et al. [Impact of COVID-19 on forecasting stock prices: an integration of stationary wavelet transform and bidirectional long short-term memory]. *Complexity*, 2020, vol. 2020, pp. 1-12.
2. Frederickson G. N. [Data structures for online updating of minimum spanning trees]. *SIAM J. Comput.*, 2020, vol. 12, pp. 281–288.
3. Boruvka O. [O jistem problemu minimalnim (About a Certain Minimal Problem)]. *Práce mor. prirodoved. spol. v Brne.*, 2018, vol. 3, no. 3, pp. 22–28.
4. Стрелкова В. И., Файзуллин Р. В. Модель зависимости между курсом доллара к рублю и ценой на нефть // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2014. № 3. С. 41–47.
5. Открытый журнал. URL: <https://journal.open-broker.ru/biographies/lui-bashele> (дата обращения: 10.01.2023).
6. Ketova K.V. [Modelling a human capital of an economic system with neural networks]. *Journal of Physics: Conference Series. Journal of Physics: Conference Series*, 2020. 012035. DOI: 10.1088/1742-6596/1703/1/012035.
7. Регионы России. Социально-экономические показатели 2020: Стат. сб. / Росстат. М., 2020. 1242 с.
8. Вавилова Д. Д. Практика применения нейросетевого моделирования для прогнозирования социально-экономических процессов // Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук : материалы VI Международной научно-практической конференции (школы-семинара) молодых ученых. 2020. С. 213–218.
9. Коловертнов Р. А., Файзуллин Р. В., Абдрашитова А. С. Эконометрическое моделирование причинно-следственной связи между ценой на цветной металл и ценой на его лом // Системная инженерия. 2015. Т. 25, № 2. С. 124–136.

10. Кравцова О. А. Использование критериев стационарности для настройки моделей при прогнозировании временных рядов // Информатика и ее применения. 2022. Т. 16, № 2. С. 11–18.

11. Стоимость под угрозой. URL: <https://www.value-at-risk.net/cc-garch> (дата обращения: 01.12.2022).

12. Afzal F., Haing P., Mahmood A, Ikram A. [Value-at-Risk Analysis for Measuring Stochastic Volatility of Stock Returns: Using GARCH-Based Dynamic Conditional Correlation Model]. *Sage Open*, 2021, vol. 11, no. 1. DOI:10.1177/21582440211005758.

13. Дмитриев Н. Д. Технологии блокчейн в условиях цифровизации // Информационные технологии в современном мире : материалы XV Всероссийской (с международным участием) студенческой конференции. 2019. С. 92–96.

14. Дмитриев Н. Д., Зайцев А. А. Актуальные проблемы развития образовательной среды в сфере финансов и ценных бумаг // Инициативы молодых – науке и производству : материалы III Всероссийской научно-практической конференции для молодых ученых и студентов. 2022. С. 67–70.

15. Смородина Е. А. Актуальные аспекты реализации финансовых транзакций на основе блокчейн-технологий // Российские регионы в фокусе перемен сборник докладов XVII Международной конференции. Екатеринбург : Ажур, 2023. С. 1178–1181.

References

1. Štífaníć D. et al. [Impact of COVID-19 on forecasting stock prices: an integration of stationary wavelet transform and bidirectional long short-term memory]. *Complexity*, 2020, vol. 2020, pp. 1-12.
2. Frederickson G. N. [Data structures for online updating of minimum spanning trees]. *SIAM J. Comput.*, 2020, vol. 12, pp. 281-288.
3. Boruvka O. [O jistem problemu minimalnim (About a Certain Minimal Problem)]. *Práce mor. prirodoved. spol. v Brne.*, 2018, vol. 3, no. 3, pp. 22-28.
4. Strelkova V.I., Faizullin R.V. [Model of the relationship between the dollar exchange rate against the ruble and the price of oil]. *Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom*, 2014, no. 3, pp. 41-47 (in Russ.).
5. *Otkrytyi zhurnal* [Open journal] (in Russ.). Available at: <https://journal.open-broker.ru/biographies/lui-bashele> (accessed 10.01.2023).
6. Ketova K.V. [Modelling a human capital of an economic system with neural networks]. *Journal of Physics: Conference Series. Journal of Physics: Conference Series*, 2020. 012035. DOI: 10.1088/1742-6596/1703/1/012035.
7. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli 2020* [Regions of Russia. Socio-economic indicators 2020]. Moscow, 2020. 1242 p. (in Russ.).
8. Vavilova D.D. *Praktika primeneniya neirossetevogo modelirovaniya dlya prognozirovaniya*

sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov [The practice of using neural network modeling to predict socio-economic processes]. *Prikladnaya matematika i informatika: sovremennye issledovaniya v oblasti estestvennykh i tekhnicheskikh nauk : materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (shkoly-seminara) molodykh uchenykh* [Proc. Applied Mathematics and Informatics: Modern Research in the Field of Natural and Technical Sciences: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference (Seminar School) for Young Scientists]. 2020, pp. 213-218 (in Russ.).

9. Kolovertnov R.A., Faizullin R.V., Abdrashitova A.S. [Econometric modeling of a causal relationship between the price of non-ferrous metal and the price of its scrap]. *Sistemnayainzheneriya*, 2015, vol. 25, no. 2, pp. 124-136 (In Russ.).

10. Kravtsova O. A. [Using stationarity criteria to tune models in time series forecasting]. *Informatika i ee primeneniya*. 2022, vol. 16, no. 2, pp. 11-18 (in Russ.).

11. *Stoimost' pod ugrozoi* [Value at stake] (in Russ.). Available at: <https://www.value-at-risk.net/cccgarch> (accessed 01.12.2022).

12. Afzal F., Haing P., Mahmood A, Ikram A. [Value-at-Risk Analysis for Measuring Stochastic Volatility of Stock Returns: Using GARCH-Based Dynamic Conditional Correlation Model]. *Sage Open*, 2021, vol. 11, no. 1. DOI: 10.1177/21582440211005758.

13. Dmitriev N.D. *Tekhnologii blokchein v usloviyakh tsifrovizatsii* [Blockchain technologies in the context of digitalization]. *Informatsionnye tekhnologii v sovremennom mire: materialy XV Vserossiiskoi (s mezhdunarodnym uchastiem) studencheskoi konferentsii* [Proc. Information technologies in the modern world: materials of the XV All-Russian (with international participation) student conference]. 2019. Pp. 92-96 (in Russ.).

14. Dmitriev N.D., Zaitsev A.A. *Aktual'nye problemy razvitiya obrazovatel'noi sredy v sfere finansov i tsennykh bumag* [Actual problems of development of the educational environment in the field of finance and securities]. *Initsiativy molodykh – nauke i proizvodstvu: materialy III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii dlya molodykh uchenykh i studentov* [Proc. Young people's initiatives for science and production: materials of the III All-Russian scientific and practical conference for young scientists and students]. 2022. pp. 67-70 (In Russ.).

15. Smorodina E. A. *Aktual'nye aspekty realizatsii finansovykh tranzaksii na osnove blokchein-tekhnologii* [Actual aspects of the implementation of financial transactions based on blockchain technologies]. *XVII mezhdunarodnaya konferentsiya «Rossiiskie regiony v fokuse peremen»: sbornik dokladov* [Proc. XVII international conference "Russian regions in the focus of change": a collection of reports] (OOO Izdatel'skii Dom «Azbur»). Ekaterinburg, 2023, pp. 1178-1181 (In Russ.).

The Principles of Modelling Causal Relationships in Financial Time Series on the Example of Stock Indices

Sandu N.R., Post-graduate, MIREA Russian Technical University, Moscow, Russia

Faizullin R.V., PhD in Economics, Associate Professor, MIREA Russian Technical University, Moscow, Russia

In the article, the authors consider the issues of modeling causal relationships using the example of financial time series. Many endogenous indicators with tens and hundreds of feedbacks characterise any complex dynamic system. The links between the elements of the system determine the impact on the result of the system through a variety of parameters that can lead to a distortion of the effect of managerial influence and, as a result, to a distortion of the system's efficiency as a whole. Modelling is an effective tool for determining the considered system parameters under the influence of external forces and restrictions on it. In the activity of the control system, the analytical tools of mathematical modelling based on the developed model allow to see how the system will change over time and what factors have the most significant impact on it.

The system is changeable in time, which causes the difference between the initial state and the state at a certain point. That is explained by causal relationships between the elements of the systems and the level of influence of external factors, which can be referred to as economic or market ones. The latter, in turn, can be analyzed and, as a result, predicted using mathematical methods. Speaking of external factors, many of them are not amenable to precise analysis, and examples of these are natural and ecological ones. In this article, the authors define the principles of modelling causal relationships in financial time series using the example of stock indices. In the course of the study, the unsteadiness of time series was verified by Dickey-Fuller tests, as well as using the KPSS test solution, which confirmed the unsteadiness of stock indices in the selected time period. The calculations were carried out using the modern statistical package Eviews. As a consequence, the relevance of this article is based on the search for an answer to the question of stationary financial time series.

Keywords: the autoregression model, modelling, cause-and-effect relationships, time series.

Получено: 05.06.23

Образец цитирования

Санду Н. Р., Файзуллин Р. В. Принципы моделирования причинно-следственных связей в финансовых временных рядах на примере фондовых индексов // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 3. С. 105–114. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-3-105-114.

For Citation

Sandu N. R., Faizullin R. V. [The principles of modelling causal relationships in financial time series on the example of stock indices]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 3, pp. 105-114. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-3-105-114.