

Структура системы поддержки принятия решений при таргетировании остатка денежных средств на едином казначейском счете Федерального казначейства

А.С. Албычев, А.А. Червяков, Е.В. Никульчев

Аннотация—Развитие больших данных, вычислительных комплексов по агрегированию данных, распределенных информационных систем определяет необходимость создания новых систем принятия решения. Системы поддержки принятия решений на федеральном уровне должны не только увеличивать количественные характеристики обработки данных, но и получать новые виды обобщенных моделей и аналитических материалов. Наряду с возможностями обработки больших объемов данных и машинным обучением, широкое распространение для финансовых временных рядов получают грубые модели динамических систем. Построение грубых моделей позволяет качественно оценить динамику изменений параметров, построить прогнозы в форме интервалов, нечувствительных к локальным колебаниям финансовых инструментов. Статья посвящена формированию системы поддержки принятия решений на основе построения оценок динамики временных рядов в условиях больших данных при таргетировании остатка денежных средств на едином казначейском счете Федерального казначейства Министерства финансов Российской Федерации. Приведены основные концептуальные архитектурные решения разработки системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова—системы поддержки принятия решений, таргетирование остатков, финансовые временные ряды, грубые модели динамических систем, прогнозирование временных рядов.

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные системы сбора информации предоставляют большие возможности по анализу данных. Наряду с повышением точности моделей за счет больших данных и машинного обучения, важной задачей является разработка систем, предоставляющие обобщенные аналитические материалы для принятия решений. Развитие ИТ-технологий, новых методов моделирования и обработки данных, вычислительных

методов и высокопроизводительных вычислений определяет перспективы развития прикладных системы поддержки принятия решений (СППР).

СППР с одной стороны, должны агрегировать максимальное количество фактических данных из разных источников, с другой — предоставлять достаточно общие данные и ограниченное число параметров, необходимые лицу, принимающее решение. Эффективность СППР достигается не только за счет увеличения количество графиков, таблиц, компьютерных экранов ситуационных центров, но и за счет выбранных параметров, текущие и прогнозные значения которых имеют существенное влияние на принимаемое решение. Принятие решений — это всегда компромисс между различными, часто противоречивыми целями. СППР должна обеспечивать прогноз значений параметров, влияющих на содержание компромисса, прогнозировать развитие динамических систем в зависимости от возможного выбранного решения и с учетом заданных ограничений и противоречивости критериев эффективности решений. Примером такого компромисса в инвестициях может служить соотношение между рисками и прибылью. Увеличивая риски, можно увеличить прибыль, но и, тем самым происходит увеличение рисков, что, в свою очередь, определяет расширение диапазонов возможных колебаний прогнозируемых значений.

В настоящее время возрастает научный интерес к грубым моделям динамических систем. Этот интерес замечен во многих прикладных областях [1], в том числе и в исследованиях по финансовым временным рядам [2]. Свойства робастности и грубости динамических систем противоположно чувствительности [1], при этом робастные модели предполагают нечувствительность ко всем видам возмущения, а грубые — нечувствительность моделей к возмущениям в заданном диапазоне. Применительно к классу финансовых систем это значит, что грубые модели нечувствительны к колебаниям в окрестности траектории. С реформой фондовых рынков и совершенствованием системы торговли акциями [3, 4] появляются достаточно очевидные ценовые колебания, изучение которых является основой для анализа и понимания факторов, влияющих на изменение наблюдаемых финансовых инструментов и показателей. Исследования динамики финансовых временных рядов

Статья получена 04 ноября 2022.

А. С. Албычев, Федеральное казначейство Министерства финансов Российской Федерации, МИРЭА — Российский технологический университет, Москва, Россия (e-mail: albychev@mirea.ru)

А.А. Червяков, Федеральное казначейство Министерства финансов Российской Федерации, Москва, Россия (e-mail: achervyakov@roskazna.ru)

Е. В. Никульчев, МИРЭА — Российский технологический университет, Москва, Россия (nikulchev@mirea.ru)

сосредоточены на декомпозиции тренда и анализе периодичности фондового рынка, наличии корреляции между соседними точками данных временного ряда, на построении качественных моделей динамических систем [5–8].

Использование в качестве грубых моделей интервальных оценок может отражать общие характеристики колебания хорошо интерпретируемыми моделями, а также позволяет на макроуровне (качественные модели [8]) наблюдать за экономической операцией и извлекать больше информации для принятия эффективных решения. Полученные оценки (например, в форме интервалов на заданный горизонт прогноза) обеспечивают точность описания динамики моделей с учетом возможных колебаний.

Подход к построению грубых моделей динамических систем является альтернативой к получению стохастических дифференциальных уравнений [9]. Надо отметить, что стохастические дифференциальные модели динамики могут быть интерпретированы и в смысле теории грубых и робастных систем, дифференциально-геометрической теории, теории симметрий, а также в смысле изучения временных рядов, например теории грубых оценок движения (rough path theory) [9]. Действительно, качественные свойства, такие как свойство коцикла легко следуют из преобразования сдвига грубого интеграла вдоль динамического ряда [10, 11]. Для финансовых временных рядов при построении грубых моделей также используется многомерная энтропия (Multivariate multiscale entropy) [12], основанная на характеристике грубых моделей и сложном поведении данных, полученных из структуры наблюдаемых процессов. Например, в [13] приведен пример для построения моделей в виде модели авторегрессионной интегрированной скользящей средней (Autoregressive Integrated Moving Average Model, ARFIMA) для финансовых временных рядов.

Таким образом, формирование системы поддержки принятия решений на основе построения оценок динамики грубых систем в условиях больших данных является актуальной задачей, имеющей теоретической и практическое значение.

В настоящей статье изложены результаты разработки структуры системы поддержки принятия решений при таргетировании остатка денежных средств на едином казначейском счете Федерального казначейства Министерства финансов Российской Федерации (ФК).

Далее, статья организована следующим образом. В разделе 2 рассмотрены особенности постановки задачи, требования к разрабатываемой СППР по таргетированию остатков на счете ФК. Раздел 3 посвящен разработке структуры СППР. В разделе 4 приведены результаты внедрения и эксплуатации. Раздел 5 содержит заключение и основные выводы по работе.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

ФК является федеральным органом исполнительной власти (федеральной службой), осуществляющим в

соответствии с законодательством Российской Федерации правоприменительные функции по обеспечению исполнения федерального бюджета, кассовому обслуживанию исполнения бюджетов бюджетной системы Российской Федерации, предварительному и текущему контролю за ведением операций со средствами федерального бюджета главными распорядителями, распорядителями и получателями средств федерального бюджета. Одними из функций ФК является управление финансовыми ресурсами, а именно:

- третирование остатка денежных средств на едином казначейском счете;
- управление остатками средств на едином казначейском счете.

Единый казначейский счёт (сокр. ЕКС), — это счёт ФК, открытый в Центральном банке Российской Федерации (сокр. ЦБРФ), где аккумулируются денежные средства федерального бюджета.

Разрабатывается СППР, обеспечивающая решение первой подзадачи выполнения функции управления финансовыми ресурсами, а именно – таргетирование остатка денежных средств на едином казначейском счете. Под таргетированием остатка денежных средств на ЕКС понимается совокупность мероприятий по управлению размером ежедневного сальдо.

Функции системы, необходимые для реализации таргетирования:

- определение объема средств, необходимого для бесперебойного осуществления бюджетных обязательств и выплат/объема привлечения средств, необходимого для покрытия возможных временных кассовых разрывов на ЕКС;
- определение временно свободного объема средств на ЕКС;
- построение профиля доступной ликвидности.

Конечной целью всех операций третирования является минимизация свободного остатка, приближая их к 0 руб. Все свободные остатки должны быть переданы на вход во вторую подзадачу процесса управления финансовыми ресурсами — управление остатками средств на едином казначейском счете. Там они будут инвестированы в различные финансовые инструменты — депозиты, РЕПО, свопы, сделки овернайт, бюджетные кредиты и т. д.

На рис 1. схематично показаны процессы консолидации свободных остатков на едином казначейском счете. Каждому участнику бюджетной системы (главным распорядителям бюджетных средств, фондам, финансовым органам субъектов, потребителям бюджетных средств, автономным/бюджетным учреждения, далее — клиентам) в ФК открыты лицевые счета (ЛС). ЛС подкрепляется под потребность с ЕКС открытого ФК в ЦБРФ. Так как доходы и расходы по счетам возникают неравномерно, то на ЕКС всегда есть либо остаток свободных средств, либо — прогноз временного кассового разрыва, который надо покрыть для бесперебойного осуществления бюджетных обязательств и выплат за счет привлечения ликвидности. В обоих случаях задача таргетирования

сводится к задаче прогнозирования доходов и расходов по ЛС.

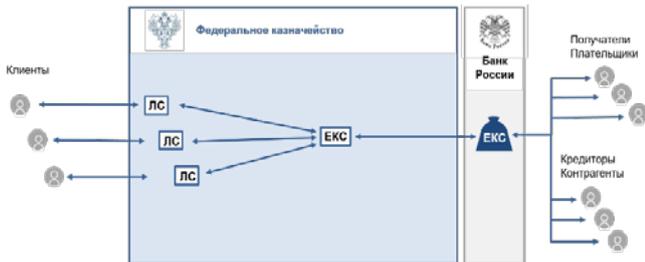


Рис 1. Консолидация свободных остатков на счетах на ЕКС

На рис. 2 показано место СППР при третировании остатка на ЕКС. Красным цветом обозначены информационные потоки поступающие в систему. Первый – информация о текущих свободных остатках на счетах, второй – кассовые планы исполнения бюджетов клиентов, третий – экспертное мнение. На основании этих временны рядов строится консолидированный прогноз по остатку свободных средств на ЕКС.

Финальный шаг третирования – построения профиля доступной ликвидности с учетом всех рисков. Конечное решение какие свободные остатки могут быть переданы для инвестирования принимается на комитете по управлению активами и пассивами.



Рис 2. Информационные потоки в СППР

На рис. 3 представлена схема линий защиты при принятии инвестиционных решений в ФК. На первой линии находятся подразделения определяющие свободные остатки и подбирающие оптимальный инвестиционный портфель, на второй – комитет управления активами и пассивами, уже окончательно учитывающий все риски тех или иных инвестиционных решений. Все линии защиты принятия решений должны опираться на одни и те же данные. Первые две линии на оперативный срез данных, третья и четвертая на исторический.



Рис 3. Линии защиты при принятии инвестиционных решений

в ФК

СППР для таргетирования остатка денежных средств на ЕКС ФК, должна представлять собой программно-аналитический инструмент обеспечения принятия решений всем линиям принятия инвестиционных решений.

III. 3. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СППР

ФК является одним из крупнейших владельцев данных в госсекторе. На базе государственных информационных систем, оператором которых является ФК, построена развитая ИТ-инфраструктура обработки данных (рис. 4), включающая в себя:

- большое количество интеграционных взаимодействий с открытыми и специализированными источниками данных, участниками бюджетного процесса;
- общие элементы, такие как озеро данных, лаборатория моделей машинного обучения, инструменты управления качеством данных на всех этапах их жизненного цикла;
- инструменты вывода и визуализации данных – дашборды, мобильные приложения, витрины данных.

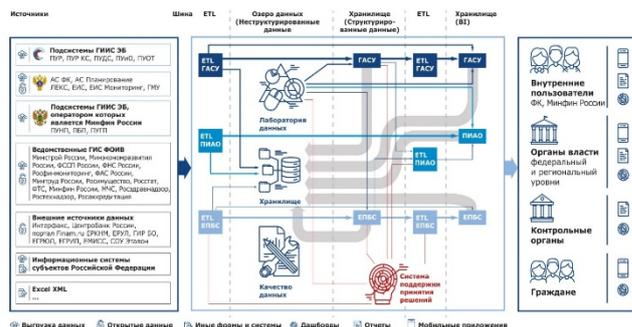


Рис 4. ИТ-инфраструктура обработки данных в ФК

Используя часть имеющейся инфраструктуры (загрузчики данных, хранилище, инструменты управления качеством), сформирована СППР, которая представляет отдельный модуль, обрабатывающий временные ряды, предоставляя эксперту аналитические материалы, в том числе с использованием прогнозных моделей.

На вход в систему поступают кассовые планы от 100 главных распорядителей бюджетных средств, фондов и более чем 20000 муниципалитетов, а также фактические остатки на их счетах. Под кассовым планом понимается прогноз кассовых поступлений в бюджет и кассовых выплат из бюджета в текущем финансовом году. Каждой из этих входящих данных – это отдельный временной ряд с горизонтом в 1 год и подневной детализацией.

Все входящие ряды, по своей сути представляют собой типовые эконометрические ряды с хорошо прогнозируемыми сезонными компонентами и циклическими компонентами (рис. 5).

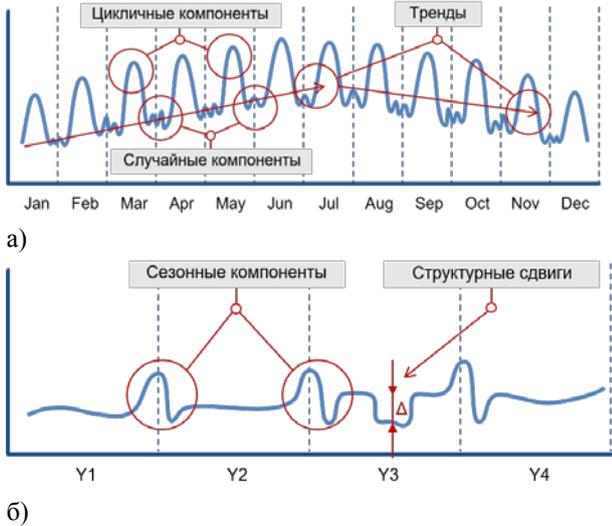


Рис 5. Типовые экономические временные ряды

Логическая структура СППР представляет собой программно-математический комплекс, формирующий аналитические материалы для обеспечения поддержки принятия решений.

Разработана структура формирования аналитических материалов, обеспечивающих поддержку принятия решений. На рис. 7 показан порядок обработки данных. Представленный подход обеспечивает требуемую нечувствительность (грубость) построенных моделей. Таким образом, все поступающие ряды делятся на значимые и не значимые, прогнозируемые и не прогнозируемые.

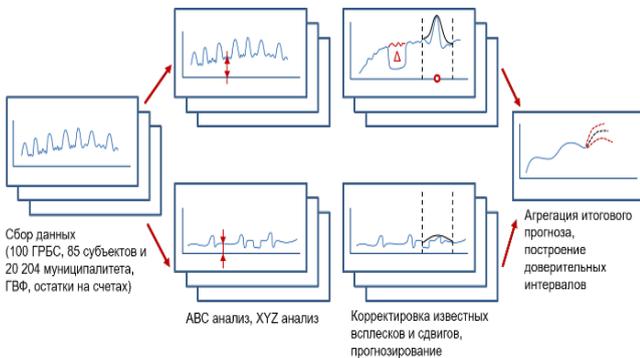


Рис. 6. Структура подготовки аналитических материалов для

принятия решений

Незначимые прогнозируются моделями машинного обучения без участия эксперта (нижний трек рис. 6), значимые также прогнозируются моделями машинного обучения, но им дополнительно на вход подается экспертное мнение о структурных сдвигах и непрогнозируемых доходах/расходах по счету (верхний трек рис. 6). На финальном этапе все прогнозы агрегируют в сводный прогноз с доверительными интервалами. Последний блок рис.6. И на базе нижнего доверительного интервала строится профиль доступной ликвидности для различных горизонтов инвестирования от 1 дня до полугода.

На рис. 7 показан процесс построения профиля доступной ликвидности по нижней границе доверительного интервала прогноза.

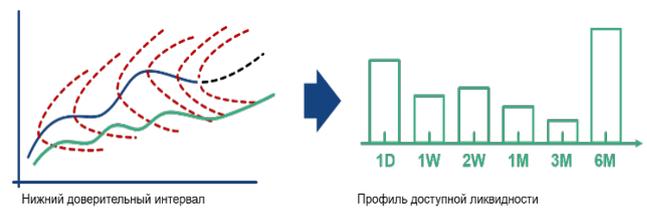


Рис 7. Построение профиля доступной ликвидности по нижней границе доверительного интервала прогноза

Разработана архитектура СППР(см. рис 8), включающая:

- интерфейс пользователя на базе Web-приложения;
- сервис-шлюз для обработки запросов пользовательского интерфейса и других сервисов
- набор сервисов, для подготовки аналитических материалов, обеспечивающих поддержку принятия решений;
- набор служебных сервисов для поддержания работоспособности СППР, ее администрирования и обслуживания;
- - СУБД для хранения данных.

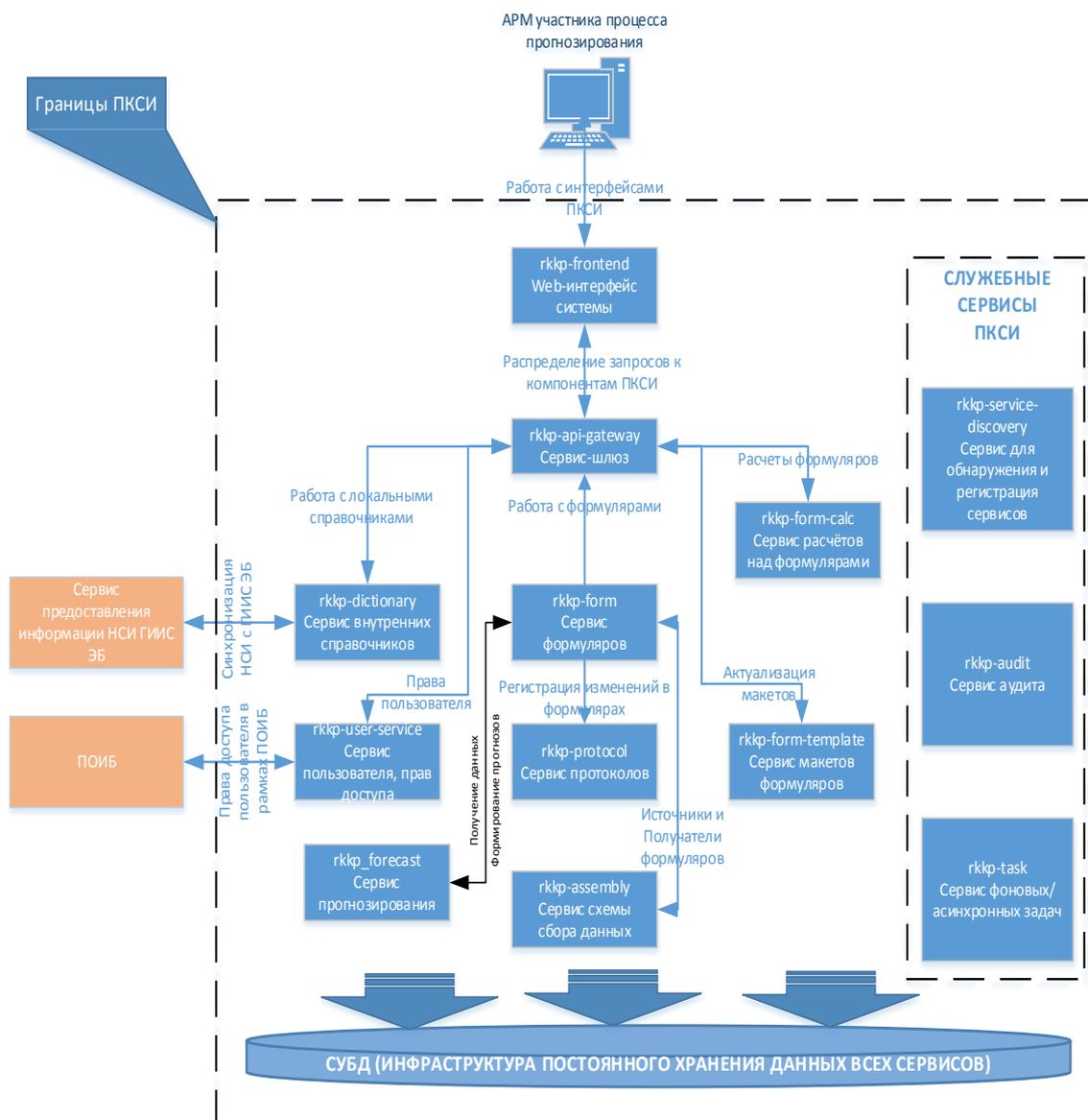


Рис 8. Архитектура СППР

При взаимодействии с другими информационными системами используются соответствующие механизмы внешних систем. В СППР осуществляется только технологическое взаимодействие с внешними (смежными) информационными системами, направленное на выполнение вспомогательных функций в части организации информационной безопасности и использование унифицированных справочных данных, при этом на вход системы подаются преобразованные данные.

IV. 4. Внедрение и эксплуатация

Система внедрена в эксплуатацию в 2021 году и продолжает развиваться.

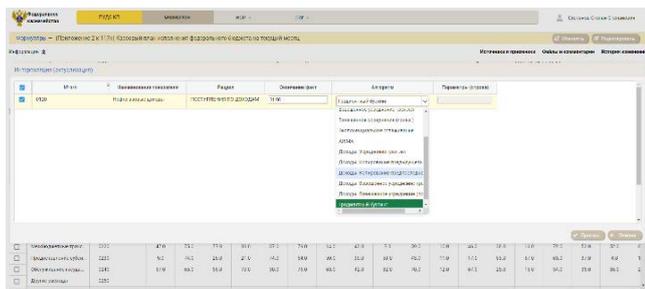
На текущий момент пользователю доступны в интерфейсе системы следующие функции:

- сравнение и рекомендация оптимального из методов прогнозирования (экспертный или

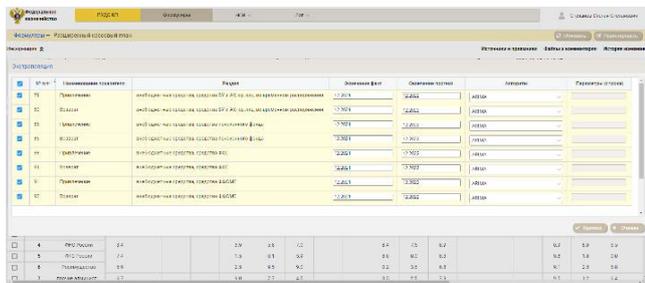
статистический);

- широкий набор моделей машинного обучения;
- построение интервальных оценок для прогнозов: оптимистичный и пессимистичный варианты; дополнение интервальной оценкой экспертных прогнозов на основе статистики фактических и прогнозных данных прошлых лет;
- табличное и графическое отображение: исторические данные (прошлых лет), несколько вариантов прогноза с интервальной оценкой, несколько показателей;
- возможность редактирования (в том числе в графическом представлении): набор инструментов для внесения экспертных корректировок - сдвиг, всплеск, тренд;
- выбор, заверение и фиксация итогового прогноза на ежедневной основе.

Примеры экранов СППР приведены на рис. 9.



а)



б)

Рис. 9. Пример рабочего окна системы

Текущая точность моделей в СППР с учетом экспертного мнения позволяет удерживать буфер ликвидности на максимальном уровне в 300 – 400 млрд при среднедневных остатках в 4 трлн и оборотах в 1.5 – 2 трлн.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведены результаты разработки СППР решений при таргетировании остатка денежных средств на едином казначейском счете Федерального казначейства Министерства финансов Российской Федерации. На основе проведенного обзора сформирован комплекс моделей, необходимых для формирования аналитических материалов в рассматриваемой системе; определен состав, объемы поступающих данных; определено роль, место и задачи СППР; разработаны ИТ-инфраструктура, принципы формирования данных для принятых решений и архитектура системы. Результаты внедрения демонстрирует эффективность выбранных и разработанных научных и научно-технических решений. Структура СППР позволяет ей динамично развиваться и совершенствоваться.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Р. О. Оморев, Модальная чувствительность, робастность и грубость динамических систем (обзорная статья) // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, 2021. — Т. 21, №. 2. — С. 179–190.
- [2] J. Kim, G. Kim, S. An, Y. K. Kwon, S. Yoon, Entropy-based analysis and bioinformatics-inspired integration of global economic information transfer // *PloS one*, 2013. — Vol. 8, No. 1. — P. e51986.
- [3] L. Zunino, M. Zanin, B. M. Tabak, D. G. Prez, O. A. Rosso, Complexity-entropy causality plane: A useful approach to quantify the stock market inefficiency // *Physica A. Statistical Mechanics and Its Applications*, 2010. — Vol. 389. — P. 1891–1901
- [4] R. Gu, Multiscale shannon entropy and its application in the stock market // *Physica A. Statistical Mechanics and Its Applications*, 2017 — Vol. 484. — P. 215–224.

- [5] O. Agrawal, Formulation of eulerlagrange equations for fractional variational problems // *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 2002. — Vol. 272. — P. 368–379.
- [6] M. Xu, P. Shang, Multiscale fractional order generalized information of financial time series based on similarity distribution entropy // *Chaos*, 2019. — Vol. 29. — P. 053108.
- [7] E. V. Nikulchev, Geometric method of reconstructing systems from experimental data // *Technical Physics Letters*, 2007. — Vol. 33, no. 3. — P. 267–269.
- [8] Е. В. Никольчев, Геометрический подход к моделированию нелинейных систем по экспериментальным данным: монография. — М.: МГУП, 2007.
- [9] H. Gao, M. J. Garrido, A. Gu, K. Lu, B. Schmalzfuss, Rough path theory to approximate random dynamical systems // *SIAM Journal on Applied Dynamical Systems*, 2021. — Vol. 20. — P. 997–1021.
- [10] I. Bailleul, S. Riedel, and M. Scheutzw. Random dynamical systems, rough paths and rough flows // *Journal of Differential Equations*, 2017. — Vol. 262. — P. 5792–5823.
- [11] R. Hesse, A. Neamtu, Global solutions and random dynamical systems for rough evolution equations // *Discrete & Continuous Dynamical Systems, Series B*, 2020. — Vol. 25. — P. 2723–2748.
- [12] M. U. Ahmed, D. P. Mandic, Multivariate multiscale entropy: A tool for complexity analysis of multichannel data // *Physical Review E*, 2011. — Vol. 84. — P. 061918.
- [13] M. Xu, P. Shang, S. Zhang, Time Series Measurement Based on Multiscale High Order Entropy and Roughness Grain Exponents [Электронный ресурс] Режим доступа URL: https://assets.researchsquare.com/files/rs-911882/v1_covered.pdf?c=1642925678. — 2021

Об авторах:

Албычев Александр Сергеевич, заместитель руководителя, Федеральное казначейство Минфина России; заведующий кафедрой «Государственные финансовые технологии», МИРЭА – Российский технологический университет

Червяков Александр Александрович, начальник управления развития информационных систем, Федеральное казначейство Минфина России

Никольчев Евгений Витальевич, доктор технических наук, профессор, профессор РАО, профессор кафедры «Цифровые технологии обработки данных», МИРЭА – Российский технологический университет

The structure of the decision support system in targeting of the balance of funds on the single treasury account of The Federal Treasury

A.S. Albychev, A.A. Chervyakov, E.V. Nikulchev

Abstract— The enhancement of Big Data, computer systems for data aggregation, distributed information systems determines the need to create new decision-making systems. Decision support systems at the federal level should not only increase the quantitative characteristics of data processing but also receive new types of generalized models and analytical sources. Along with the potential of large data volumes processing and machine learning, approximate models of dynamic systems are becoming widespread for financial time series. The development of approximate models makes it possible to qualitatively assess the dynamics of changes in parameters, to build forecasts in the form of intervals that are insensitive to local fluctuations in financial instruments. The paper describes the formation of a decision support system based on the development of estimates of the approximate systems dynamics in the conditions of Big Data when targeting the balance of funds on the single treasury account of The Federal Treasury of The Ministry of Finance of the Russian Federation. The main conceptual architectural solutions for the development of a decision support system are given.

Keywords— decision support systems, residual targeting, financial time series, rough models of dynamic systems, time series forecasting.

REFERENCES

- [1] R.O. Omorov, "Modal sensitivity, robustness and roughness of dynamical systems (review article)," *Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics*, vol. 21, no. 2, pp. 179-190, 2021. [In Rus]
- [2] J. Kim, G. Kim, S. An, Y. K Kwon, S. Yoon, "Entropy-based analysis and bioinformatics-inspired integration of global economic information transfer," *PLoS one*, vol. 8, p. e51986, 2013.
- [3] L. Zunino, M. Zanin, B. M. Tabak, D. G. Prez, O. A. Rosso, "Complexity-entropy causality plane: A useful approach to quantify the stock market inefficiency," *Physica A*, vol. 389, pp. 1891-1901, 2010.
- [4] R. Gu, "Multiscale shannon entropy and its application in the stock market," *Physica A*, vol. 484, pp. 215-224, 2017.
- [5] O. Agrawal, "Formulation of eulerclagrange equations for fractional variational problems," *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 272, pp. 368-379, 2002.
- [6] M. Xu, P. Shang, "Multiscale fractional order generalized information of financial time series based on similarity distribution entropy," *Chaos*, vol. 29, p. 053108, 2019.
- [7] E.V. Nikulchev, "Geometric method of reconstructing systems from experimental data," *Technical Physics Letters*, vol. 33, no. 3, pp. 267-269, 2007.
- [8] E.V. Nikulchev, geometric approach to modeling nonlinear systems based on experimental data: monograph. Moscow, 2007.
- [9] H. Gao, M. J. Garrido, A. Gu, K. Lu, B. Schmalfuss, "Rough Path Theory to Approximate Random Dynamical Systems," *SIAM Journal on Applied Dynamical Systems*, vol. 20, pp. 997-1021, 2021.
- [10] I. Bailleul, S. Riedel, M. Scheutzow, "Random dynamical systems, rough paths and rough flows," *Journal of Differential Equations*, vol. 262, pp. 5792-5823, 2017
- [11] R., Hesse, A. Neamtu, "Global solutions and random dynamical systems for rough evolution equations," *Discrete & Continuous Dynamical Systems, Series B*, vol. 25, pp. 2723-2748, 2020.
- [12] M. U. Ahmed, D. P. Mandic, "Multivariate multiscale entropy: A tool for complexity analysis of multichannel data," *Physical Review E*, vol. 84, p. 061918, 2011
- [13] M. Xu, P. Shang, S. Zhang, "Time Series Measurement Based on Multiscale High Order Entropy and Roughness Grain Exponents [Online] Available: https://assets.researchsquare.com/files/rs-911882/v1_covered.pdf?c=1642925678, 2021.