

## **Разработка системы поддержки прогнозирования на основе интеграции методов когнитивного анализа, мониторинга информационных источников и анализа временных рядов**

**Аннотация:** В работе рассматривается подход к построению системы поддержки прогнозирования, ориентированной на интеграцию экспертной информации и статистических моделей временных рядов. Для формирования и обоснования функционала предлагаемой системы разработан исследовательский полигон в виде программной среды для проверки моделей, методов и алгоритмов решения задач среднесрочного и долгосрочного прогнозирования, значимых для управления различными процессами в экономических, социально-политических, социотехнических системах.

**Ключевые слова:** прогнозирование, нестационарные процессы, временные ряды, экспертная информация, когнитивный анализ и моделирование

### **Введение**

Анализ и прогнозирование временных рядов имеет большое значение для управления различными процессами в экономических, социально-политических, социотехнических системах [1].

Количественные методы анализа и прогнозирования временных рядов постоянно развиваются, однако их потенциала недостаточно для эффективного прогнозирования нестационарных процессов в таких системах. Одним из ключевых источников порождения нестационарности являются быстрые, плохо предсказуемые изменения внешней среды, под влиянием которых происходят структурные сдвиги и структурные изменения прогнозируемых процессов. Поэтому при решении задач среднесрочного и долгосрочного прогнозирования ключевых параметров систем, поведение которых зависит как от приоритетов и механизмов функционирования самих систем, так и от изменений во внешней среде, необходимо учитывать оба фактора. Кроме того, с увеличением горизонта прогнозирования нарастает проблема

точности прогноза. Прогнозирование временного ряда на длительный период времени является сложной задачей, поскольку уровень неопределенности прогноза увеличивается с ростом горизонта.

По мере нарастания неопределенности развития наблюдаемой ситуации, ее усложнения из-за разнородности протекающих процессов (как правило нестационарных) возрастает потребность в экспертной информации и применении методов на ее основе. Специалисты в области научного прогнозирования в решении проблемы учета в формируемых прогнозах значимой информации, которая отсутствует в наблюдаемых временных рядах (накопленных исторических данных), не видят пока другого пути, как развитие методов совместного прогнозирования, интегрирующие экспертную информацию и математические модели [2]. Одной из значимых проблем совместного прогнозирования является недостаточная технологичность методов структурирования неоднородной информации, необходимых для выделения и формализации полезной информации, формирования и обработки сигналов на ее основе для включения в прогноз, что обуславливает потребность в совершенствовании систем поддержки прогнозирования (СПП). В обзоре [3] СПП определяется как программное обеспечение, фреймворк (набор инструментальных средств) или структурированная процедура, которые могут использовать экспертное суждение и количественные методы для интеграции исторических данных и экспертной информации с целью оказания поддержки прогнозисту для формирования более точных прогнозов и анализа результатов. На практике СПП не получили широкого распространения. Большинство компаний используют коммерческие пакеты для прогнозирования, которые создают прогнозы, часто опровергаемые управленческим суждением. Причинами медленного развития и внедрения практических СПП являются: высокая стоимость разработки и внедрения СПП; сложность обслуживания и модернизации СПП в условиях быстрых изменений в типе и объеме данных и информации. Еще одна проблема связана с тем, что существующие СПП систематически не собирают и не включают экспертные суждения в прогнозы, что приводит к системному недоверию и ручной корректировке результатов прогнозистами [3].

## **Функциональная архитектура системы поддержки совместного прогнозирования. Общее описание**

Предлагается подход к построению системы поддержки совместного прогнозирования (СПСП) для формирования среднесрочных и долгосрочных прогнозов целевых показателей объекта прогнозирования и их коррекции в режиме получения текущих наблюдений, основанный на интеграции методов когнитивного моделирования ситуаций, мониторинга разнородных информационных источников и анализа временных рядов [4-5].

Процесс прогнозирования включает как расчеты прогнозных значений по прогнозирующей динамической модели, так и анализ качественной информации на основе анализа когнитивной карты ситуации (ККС), (1) отражающей структуру причинно-следственных влияний между системообразующими факторами, которые характеризуют основные процессы взаимодействия объекта прогнозирования и внешней среды, и (2) выявляющей ключевые факторы влияния на прогнозируемые целевые показатели, их силу и направления их влияния.

Углубленная функциональная архитектура СПСП включает следующие модули (рисунок 1): М1: направленный сбор и накопление экспертной информации, цифровых данных о наблюдаемом процессе и связанных с ним разнородных процессах и факторов влияния; М2: построение и актуализация модели взаимодействия объекта прогнозирования и внешней среды в виде ККС; М3: построение комплекса (ансамблей) статистических моделей (VECM, ARIMAX, VAR) для различных горизонтов прогнозирования целевых показателей объекта прогнозирования и связанных с ними показателей; М4: комбинированный мониторинг инфопространства и обнаружения в режиме получения наблюдений изменения тенденций, свойств и статистических взаимосвязей между факторами и целевыми показателями объекта прогнозирования; М5: коррекция полученных прогнозов по результатам обнаруженных изменений и сценарного моделирования.

Модуль М2 построения и актуализации ККС определяет ключевые системообразующие факторы, влияющие на целевые показатели объекта прогнозирования. Эти факторы разбиваются на группы (СФ-группы), описывающие отдельные аспекты ситуации

взаимодействия объекта и внешней среды. Каждой СФ-группе ставится в соответствие набор временных рядов.



Рисунок 1 – Укрупненная функциональная архитектура СПСП

Модуль М3 выполняет статистический анализ динамики факторов и целевых показателей, представленных сопоставленными временными рядами, и связей между ними с целью определения их пригодности для включения в прогнозирующую модель, выбор вида модели для каждого из горизонтов прогноза, построение моделей. Модуль М4 включает (1) цифровой мониторинг для выявления структурных сдвигов во временном ряду прогнозируемого процесса, (2) ситуационный мониторинг внешней среды (по разнородным информационным источникам) и

формирование сигналов по результатам сценарного моделирования на ККС возможных последствий влияния значимых событий внешней среды (инфоповодов) на изменение прогнозируемого процесса и связанных с ним процессов; (3) управление обменом информацией между (1) и (2) и формирование выходных агрегированных сигналов. В модуле М5 выполняется коррекция построенных прогнозов и изменение прогнозирующих моделей на основе результатов сценарного моделирования и анализа выявленных статистическими методами изменений тенденций, свойств и взаимосвязей между факторами и целевым показателем. Разработаны алгоритмы коррекции весов СФ-групп по результатам ситуационного мониторинга, коррекции моделей состава моделей прогноза по результатам цифрового мониторинга, моделей прогноза в случае структурных сдвигов: уровня, волатильности, направления тренда, нарушения коинтеграции или причинности по Грейнджеру.

Для формирования и обоснования функционала предлагаемой СПСП разработан исследовательский полигон в виде программной среды, обеспечивающей совместное использование когнитивного анализа и моделирования ситуаций (СКМ), алгоритмов прогнозирования временных рядов, управления обменом информацией между СКМ и цифровой обработки временных рядов. Его назначение – верификация и практическое подтверждение работоспособности разрабатываемых моделей, методов и алгоритмов.

Полигон дает возможность проводить обработку и анализ как для всего объема данных, так и для выбранных временных отрезков; предусматривает работу с одним или несколькими параметрами выбранных временных рядов. Результаты могут представляться в различных формах: в виде наглядного графика для сравнения динамики изменения значений двух и более временных рядов; в виде отдельных значений, соответствующих заданным параметрам поиска; в виде результатов расчетов по заданному алгоритму. Также предусмотрена визуализация результатов сценарного моделирования развития ситуации. Сбор и актуализация статистических наборов данных обеспечит наполнение базы данных полигона для проведения вычислительных экспериментов и построения прогнозов в реальном времени.

Еще одно важное назначение полигона – это организация

конкурсов (в рамках задачи среднесрочного или долгосрочного прогнозирования) по применению различных методов прогнозирования с оценкой их эффективности по таким критериям, как точность прогноза, интерпретируемость результатов, своевременность получения прогноза.

### **Заключение**

Практическая значимость предложенной концепции СПСП заключается в повышении эффективности экспертно-аналитической и прогностической деятельности в ситуациях неопределенности и нестабильности. Дальнейшее наращивание функционала СПСП связывается с (1) развитием методов направленного извлечения экспертной и цифровой информации из разнородных источников: данных поисковых систем, новостной информации, аналитических отчетов и т.п.; (2) применением байесовского подхода для прогнозирования структурных сдвигов на горизонте прогноза; (3) исследованием возможностей применения фрактального анализа для предсказания кризисов и значимых для прогнозируемого объекта событий в режиме реального времени.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 23-21-00455)*

### **Литература:**

1. Андрианова Е.Г., Головин С.А., Зыков С.В., Лесько С.А., Чукалина Е.Р. Обзор современных моделей и методов анализа временных рядов динамики процессов в социальных, экономических и социотехнических системах // Russian Technological Journal. – 2020. №8(4). – С. 7-45.

2. Pepera N., Hurley J., Fahimnia B., Reisi M. The human factor in supply chain forecasting: A systematic review // European Journal of Operational Research. – 2019. – Vol. 274(2). – P. 574-600.

3. Arvan M., Fahimnia B., Reisi M., Siemsen E. Integrating human judgement into quantitative forecasting methods: A review // Omega. – 2019. – Vol. 86. – P. 237-252.

4. Авдеева З.К., Коврига С.В., Гребенюк Е.А. Формирование среднесрочных помесечных прогнозов цен на сырье на основе

экспертной и количественной информации // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 5. – С. 38-45.

5. Avdeeva Z.K., Grebenyuk E.A., Kovriga S.V. Model for Monitoring of Socio-Economic Processes Using Fuzzy Cognitive Map and Algorithms for Detecting Structural Changes / Proceedings of the 3rd International Symposium on Automation, Information and Computing. – Beijing: SCITEPRESS. – 2023. – Vol. 1. – P. 428-433.

---

**Степанцов М.Е.**

### **Моделирование конкуренции двумерных акторов при помощи клеточного автомата**

**Аннотация:** В работе рассматривается сценарий конкуренции между тремя пространственно распределёнными акторами, носящими векторный характер. Такая модель может рассматриваться как обобщение борьбы между условными информациями, сила которых в классическом случае рассматривается как скаляр. Однако предложенный автором ранее стохастический клеточный автомат, позволяющий моделировать конкуренцию трёх акторов, в силу гибкости модели может быть обобщён на многомерный случай (в настоящей работе рассматривается двумерный). Вычислительные эксперименты, проведенные при помощи имитационной системы, построенной на основе этого автомата, обнаруживают, что в хаотической динамике поведения модели, обусловленной случайно заданным начальным распределением акторов, проявляются некоторые закономерности, а именно – возникают пространственные структуры и обнаруживаются циклы доминирования отдельных акторов.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, имитационное моделирование, клеточные автоматы, условные информации, самоорганизация