

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

РОМАНЕНКОВ ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 658.5:004.94

НАУКОВІ ОСНОВИ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ
АДАПТИВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ДАНИХ

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора
технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор Вартанян Василь Михайлович, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», завідувач кафедри менеджменту

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки та техніки Пасічник Володимир Володимирович, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри інформаційних систем та мереж;

доктор технічних наук, професор Рубан Ігор Вікторович, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри електронних обчислювальних машин;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник Стрижак Олександр Євгенійович, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, провідний науковий співробітник.

Захист відбудеться «17» лютого 2017 р. о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.062.01 у Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» за адресою: м. Харків, вул. Чкалова, 17, імпульсний корпус, ауд. 409.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» за адресою: м. Харків, вул. Чкалова, 17.

Автореферат розісланий «14» січня 2017 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

С. Ю. Даншина

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У зв'язку з розвитком сучасних інформаційно-комунікаційних технологій безперервно збільшуються обсяги різнорідних даних моніторингу організаційно-технічних систем, які накопичуються в спеціалізованих базах даних, здебільшого у вигляді часових рядів. Такі дані характеризують динаміку багатофакторних, складноформалізованих процесів, для яких притаманні невизначеності як суб'єктивні – цілей і результатів оцінювання спостерігача, так і об'єктивні, зумовлені природою процесів, помилками та неточністю засобів моніторингу тощо.

Бажання використовувати накопичену інформацію для вирішення завдань управління складними організаційно-технічними об'єктами призводить до необхідності її очищення і перетворення з метою отримання прогнозних оцінок показників, суттєвих для прийняття управлінських рішень.

Систематизований науково обґрунтований розвиток прогнозування здійснюється з другої половини минулого сторіччя. В області теорії і практики розроблення прогнозів необхідно зазначити праці Г. Тейла і Дж. Брайта, які сформулювали теоретичну базу прогнозування, В. Леонтьєва, Дж. Мартіно, Дж. фон Неймана, О. Моргенштерна, Дж. Форрестера та інших, що довели в теорії і на практиці цінність прогнозів у прийнятті управлінських рішень, авторів делфійського методу О. Хелмера і Т. Гордона, К. Льюїса, М. Кенделла, які вивчали ключові питання розроблення й дослідження методів прогнозування. Великий внесок у розвиток методології прогнозування також зробили І. В. Бестужев-Лада, Л. Клейн, В. Гольдберг, Дж. Бендат, Дж. Бокс і Г. Дженкінс, Т. Андерсон, С. Айвазян, Р. Кашьяп, Г. Канторович, В. Носко, Л. Хансен.

Найбільш відомими пакетами прикладних програм, в яких реалізовано методи прогнозування, є BMDP, CART, CSS, Deductor, Forecast Expert, MVSP, Predictor, SAS, S-plus, SPSS, STADIA, STATISTICA, STATGRAPHICS, SYSTAT, КЛАС-МАЙСТЕР, МЕЗОЗАВР, ОЛІМП: Стат-Експерт, ЕВРИСТА, Статистик-Консультант.

Прогностичне забезпечення як складова інформаційного забезпечення процесу управлінського циклу прийняття рішення є одним із ключових елементів систем підтримки прийняття рішень. Спеціалізовані прогнозні центри, що мають сучасну методичну базу і доступ до сховищ даних галузевого моніторингу, проте, змушені періодично вибирати ефективну прогнозну модель та консолідувати прогнозні оцінки. Тому існує потреба у створенні комплексної системи прогнозування, що поєднує в одне ціле відомі методи прогнозування і є складовою прогностичного забезпечення.

На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій актуальним напрямком розвитку аналізу і прогнозування часових рядів є інтелектуальний аналіз даних (Series Data Mining). Математичний апарат Data Mining складаєть-

ся з нейромережних і нечітких моделей і методів штучного інтелекту й розрахований на роботу з масивами даних великого обсягу. Однак коло реальних завдань прогностичного забезпечення процесу прийняття управлінських рішень характеризується невеликою статистичною вибіркою даних. До того ж, як показує практика, лише невеликі фрагменти аналізу часових рядів можуть ефективно вирішуватися в автоматичному режимі.

Сьогодні існують два шляхи забезпечення повного спектра методів і засобів прогностики при вирішенні завдань управління: розширення методичного інструментарію Data Mining (це відбувається в дійсності, хоча й повільно) і синтез спеціалізованих прогностичних інформаційних комплексів з урахуванням доступних засобів Data Mining. У другому випадку передбачаються розроблення моделі прогностичного забезпечення і побудова «траєкторії» прогностичного дослідження, а саме розроблення або вибір методів налаштування моделей нижнього рівня і синтез адаптивної моделі комплексування прогностичних оцінок.

Таким чином, науково-прикладна проблема забезпечення якості прогнозу техніко-економічних показників в організаційно-технічних системах є **актуальною**, оскільки саме якість прогнозу багато в чому визначає ефективність управлінських рішень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі менеджменту Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» у період з 2005 р. по 2016 р. відповідно до планів науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України за темами «Прогнозування фінансово-економічних показників наукомісткого виробництва з урахуванням супутніх ризиків» (ДР № 0110U006811), «Моделі й методи формування ефективних організаційних систем управління машинобудівним виробництвом» (ДР № 0112U006917), «Моделювання економічної безпеки і стабільності підприємств машинобудівного комплексу України в умовах параметричної невизначеності» (ДР № 0113U001799), «Теоретичні основи, методи та інформаційні технології розроблення програмно-технічних комплексів критичного застосування в умовах ресурсних обмежень» (ДР № 0112U001058), «Розробка теоретичних основ розподіленого інтелектуального управління інвестиційними проектами і програмами реформування й розвитку машинобудівного комплексу України» (ДР № 0115U003328), «Методологія забезпечення життєздатності проектів і програм при управлінні людськими ресурсами» (ДР № 0110U007311), «Методологічні основи управління розвитком підприємств пріоритетних галузей шляхом трансформації бізнес-моделей» (ДР № 0115U003327), а також комплексної теми «Методологія управління підприємствами різних організаційно-правових форм та форм власності» (ДР № 0107U001146), у яких здобувач особисто брав участь як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є забезпечення

якості прогнозування в організаційно-технічних системах шляхом створення інформаційної технології багаторівневого адаптивного оцінювання їхніх техніко-економічних показників в умовах невизначеності даних.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1) провести огляд і аналіз існуючих моделей, методів та інформаційних технологій прогнозування техніко-економічних показників організаційно-технічних систем;

2) розробити модель адаптивного багаторівневого оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем;

3) розробити методи параметричного синтезу прогнозної моделі експоненціального згладжування в умовах невизначеності даних;

4) розробити комбіновані прогнозні моделі для часових рядів з критичним обсягом вибірки;

5) розробити адаптивний метод комплексування прогнозних оцінок для консолідованих прогнозів техніко-економічних показників організаційно-технічних систем;

6) створити прикладну інформаційну технологію багаторівневого адаптивного оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем;

7) упровадити результати дослідження в практику оцінювання техніко-економічних показників компаній і організацій, а також у навчальний процес.

Об'єкт дослідження – прогнозування техніко-економічних показників організаційно-технічних систем.

Предмет дослідження – моделі й методи інформаційної технології адаптивного багаторівневого оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем.

Методи дослідження. В основу методології дослідження було покладено принципи системного аналізу при побудові моделі адаптивного багаторівневого оцінювання; методи математичної статистики і сингулярного аналізу при розробці методів параметричного синтезу прогнозних моделей; теорії робастної стійкості та інтервального аналізу при ідентифікації інтервальних моделей.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше розроблено:

– інформаційну технологію багаторівневого адаптивного оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем, яка на відміну від існуючих базується на сформованій множині розроблених методів прогнозування й комплексування прогнозних оцінок, що дає змогу забезпечувати якість прогнозів в умовах невизначеності даних;

– метод параметричної ідентифікації моделі Брауна за результатами ретроспективного аналізу, який на відміну від відомих ґрунтується на аналізі конфігурації коренів ретроспективних рівнянь, що дає змогу аналітично визначати

параметри налаштування моделі, які забезпечують точність прогнозних оцінок;

– метод динамічного комплексування прогнозних оцінок, який на відміну від існуючих ґрунтується на врахуванні тенденцій змін точності оцінок з альтернативних джерел прогнозу, що дає можливість при формуванні консолідованого прогнозу забезпечити адаптивність до таких змін для коректного оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем.

Удосконалено метод оцінювання ефективності організаційно-технічної системи за допомогою матричного апарату оброблення прогнозних оцінок, який здатний обробляти інтервальні експертні оцінки й визначати ефективність ієрархічних багаторівневих організаційно-технічних систем.

Дістали подальшого розвитку:

– методологія прогнозування динаміки складних організаційно-технічних об'єктів і систем у напрямку багаторівневого адаптивного оцінювання їхніх техніко-економічних показників в умовах невизначеності даних шляхом створення комплексу моделей, методів і відповідної інформаційної технології;

– модель планування обслуговування в організаційно-технічних системах, яка базується на аналізі інтервальної апроксимації характеристик часових рядів експлуатаційних показників, що дає змогу врахувати неповну визначеність характеристик експлуатаційних процесів і забезпечити оперативність планування сервісних заходів;

– однопараметрична прогнозна модель Брауна завдяки запропонованому методу параметричного налаштування, у якому враховується інтервальна невизначеність вихідних даних, що дає можливість розширити межі адекватності прогнозної моделі;

– модель Тейла – Вейджа для прогнозування сезонних процесів в організаційно-технічних системах в умовах обмеженої вибірки даних за рахунок синтезу на її основі комбінованої прогнозної моделі з використанням частотних параметрів моделі SSA, що дає змогу забезпечити якість прогнозу в умовах малої статистичної вибірки.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що основні результати дослідження, викладені в дисертації, мають характер прикладних рекомендацій і процедур, які можна використати для підвищення точності результатів прогностичної діяльності. Результати дослідження впроваджено в діяльність таких науково-виробничих підприємств і дослідних організацій: Державне підприємство «Антонов», м. Київ, Україна (акт упровадження від 23.11.2015); авіакомпанія «Aerovista», м. Дубаї, ОАЕ (акт упровадження від 06.06.2015); авіакомпанія «Волга-Днепр», м. Москва, РФ (акт упровадження від 26.12.2014); авіакомпанія «Silk Way Airlines», м. Баку, Азербайджан (акт упровадження від 11.02.2016); Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України, м. Харків, Україна (акт упровадження від 7.04.2015); Публічне акціонерне товариство «Вовчанський агрегатний завод», м. Вов-

чанськ, Україна (акт упровадження від 10.03.2016); Державне підприємство «Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування», м. Харків, Україна (акт упровадження від 29.09.2015); компанія «SIGMA Software», м. Харків, Україна (акт упровадження від 23.12.2014), а також у навчальний процес на кафедрі економіки і маркетингу Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (акт упровадження від 18.12.2015).

Особистий внесок здобувача. Усі основні наукові положення, результати, висновки і рекомендації дисертаційної роботи автор отримав особисто. Роботи [6, 9, 12, 15, 20, 48, 49, 51, 52, 57, 58, 61–64] виконано без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать такі результати: метод синтезу моделі експоненціального згладжування з урахуванням інтервальної невизначеності [1, 37, 68]; модель інтелектуального прогнозного комплексу [2]; модель управління ефективністю бізнес-процесів в організації [3]; метод налаштування прогнозних моделей на основі аналізу ретроспективних фазових портретів [4, 53]; метод оцінювання ефективності бізнес-процесів організації в умовах інтервальної невизначеності [5]; чотирирівнева модель системи прогностичного забезпечення [7, 65]; технологія параметричного синтезу прогнозної моделі Брауна [8, 59]; схема контуру стратегічного управління ефективністю бізнес-процесів в організації [10, 50]; графоаналітична модель подання стану бізнес-процесів [11, 55]; матричний метод оцінювання рівня відносної ефективності ієрархічної системи бізнес-процесів [13, 69]; матрична модель оцінювання рівня відносної ефективності ієрархічної системи бізнес-процесів в організації [14, 56]; оптимізаційна модель планування сервісних заходів на інженерних об'єктах [16]; інтервальний варіант матричної моделі оцінювання рівня відносної ефективності ієрархічної системи бізнес-процесів в організації [17, 66]; метод автоматизованого комплексування для національного форсайт-проекту за вибором пріоритетів при прогнозуванні НТР [18]; метод параметричного синтезу моделі Брауна на основі ретроспективної багатокритеріальної оптимізації [19, 54]; метод динамічного комплексування прогнозних оцінок [21, 70]; інтервальний метод урахування ризику прийняття помилкових управлінських рішень [22]; обчислювальна модифікація методу інтервального дискримінанта [23, 46]; процедура відновлення інтервальних поліномів за областями розташування коренів [24, 39]; процедура побудови прогнозної моделі сезонних процесів в умовах малої вибірки [25]; метод аналізу розташування коренів інтервального поліноміального рівняння [26, 42]; метод експоненціального згладжування для прогнозування часових рядів з інтервальними даними [27, 36]; процедура визначення константи згладжування [28, 34]; огляд критеріїв локалізації коренів [29]; процедура визначення періоду моделі сезонного процесу [30]; метод визначення ступеня адекватності прогнозної моделі [31, 43]; огляд кількісних характеристик невизначеності [32]; засади використання інтерваль-

ного надання даних у системах моделювання соціально-економічних процесів [33]; аналіз можливостей удосконалення методів прогнозування [35]; порівняльний аналіз методів прогнозування [38]; оцінювання робастності прогнозних оцінок [40]; процедура параметричного синтезу моделі динамічного процесу [41]; аналіз особливостей застосування інструментальних засобів [44, 45]; метод аналізу часових рядів за кореневими портретами фрагментів [47]; метод аналізу фазових траєкторій внутрішнього параметра прогновної моделі [60].

Апробація результатів дисертації відбувалася на постійно діючих наукових семінарах кафедри менеджменту й кафедри економіки і маркетингу Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», а також на 35 наукових конференціях: «Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами», Алушта, 2005–2007, 2010–2012, Рибаче, 2013, Харків, 2014, Одеса, 2015; «Розвиток наукових досліджень», Полтава, 2005; «Актуальні проблеми управління бізнесом, підприємствами та проектами», Харків, 2008; «Стратегії інноваційного розвитку економіки: бізнес, наука, освіта», Харків, 2010; «Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем», Харків, 2010, 2011; «Інформаційні процеси і технології», Севастополь, 2010; «Системний аналіз та інформаційні технології», Київ, 2010; «Системний аналіз. Інформатика. Управління», Запоріжжя, 2011, 2012; «Інформаційні системи і технології», Харків, 2014; «Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні інноваційними проектами», Коблево, 2014; «Національні моделі економічних систем: формування, управління, трансформації», Херсон, 2014; «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні», Харків, 2014, 2015; «Проблеми та перспективи розвитку підприємництва», Харків, 2014; «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем», Дніпропетровськ, 2014; «Дослідження і оптимізація економічних процесів», Харків, 2014; «Проблеми інформатизації», Київ, 2015; «Інформаційні та моделюючі технології», Черкаси, 2015; «Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні проектами та програмами», Коблево, 2015; «Інформаційні технології та системи», Мінськ, 2015; «Управління інформаційними ресурсами», Мінськ, 2015; «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні», Дніпропетровськ, 2016; «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем», Чернігів, 2016; «Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації», Кам'янець-Подільський, 2016; «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці», Черкаси, 2016.

Публікації. Результати наукових досліджень відображено в 70 друкованих працях, зокрема у п'яти монографіях [1–5], 24 статтях у наукових фахових виданнях України та інших держав [6–29] (з них одна в міжнародному журналі [6], дев'ять – у виданнях, які внесено до міжнародних наукометричних баз даних [7–15]), трьох статтях у непрофільних виданнях [30–32], 35 публікаціях у

матеріалах наукових конференцій [33–67], трьох свідоцтвах про реєстрацію авторського права на твір [68–70].

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шістьох розділів, висновків, додатків і списку використаних літературних джерел. Повний обсяг дисертації становить 317 сторінок, у тому числі: 90 рисунків, з яких п'ять – на чотирьох окремих сторінках, 32 таблиці, з яких шість – на вісьмох окремих сторінках, 3 додатки на 23 сторінках, список із 278 використаних літературних джерел на 32 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ дисертаційної роботи містить: актуальність теми і наукових завдань; зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; мету, завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження; наукову новизну і практичне значення отриманих результатів; особистий внесок здобувача; інформацію про реалізацію, ступінь апробації та публікації результатів дисертаційного дослідження.

У **першому розділі** проведено огляд і аналіз існуючих моделей, методів та інформаційних технологій прогнозування техніко-економічних показників організаційно-технічних систем, а також показників їхньої якості. При порівняльному аналізі сучасних методів і моделей прогнозування часових рядів визначено їхні переваги і недоліки, зазначено, що найбільшого поширення набули регресійні моделі й методи, а також моделі й методи експоненціального згладжування, реалізовані у спеціалізованих і універсальних програмних комплексах та інформаційних технологіях.

За результатами огляду й аналізу методів прогнозування зроблено такі висновки: у зв'язку з розвитком сучасних інформаційно-комунікаційних технологій стало загальнодоступним використання існуючих сучасних інструментів прогнозування, що базуються на кількісних методах; з великого різноманіття методів аналізу й прогнозування можна виділити 10–15 методів, які можна віднести до базових, інші – відрізняються кількістю спеціальних процедур і послідовністю їх застосування, в якій ураховуються ті чи інші особливості об'єкта прогнозування; при прогнозуванні техніко-економічних показників організаційно-технічних систем у різних умовах перед дослідником постає не лише завдання вибору конкретного методу аналізу і прогнозування, але й завдання параметричного налаштування прогнозовної моделі. Висновки стали основою для визначення напрямів дослідження, наведеного в дисертаційній роботі.

Основні результати цього розділу опубліковано в роботах [1, 32, 35, 38].

У **другому розділі** розроблено модель адаптивного багаторівневого оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем. Сформульовано основні завдання прогностичного забезпечення систем підтримки прийняття стратегічних рішень, а саме: збір, верифікація і накопичення

статистичної інформації по ключових координатах фазового простору для об'єкта стратегічного управління; формування групи основних методів прогнозування нижнього рівня, придатних для роботи з часовими рядами з урахуванням їхніх особливостей; розроблення адекватної моделі адаптивного комплексування прогнозних оцінок із різних джерел; забезпечення інтерактивного режиму параметричного налаштування як прогнозних моделей нижнього рівня, так і моделі комплексування, що дає змогу обґрунтовано втручатися суб'єкту управління. Усі ці завдання можна реалізувати за допомогою моделі, зображеної на рисунку 1.

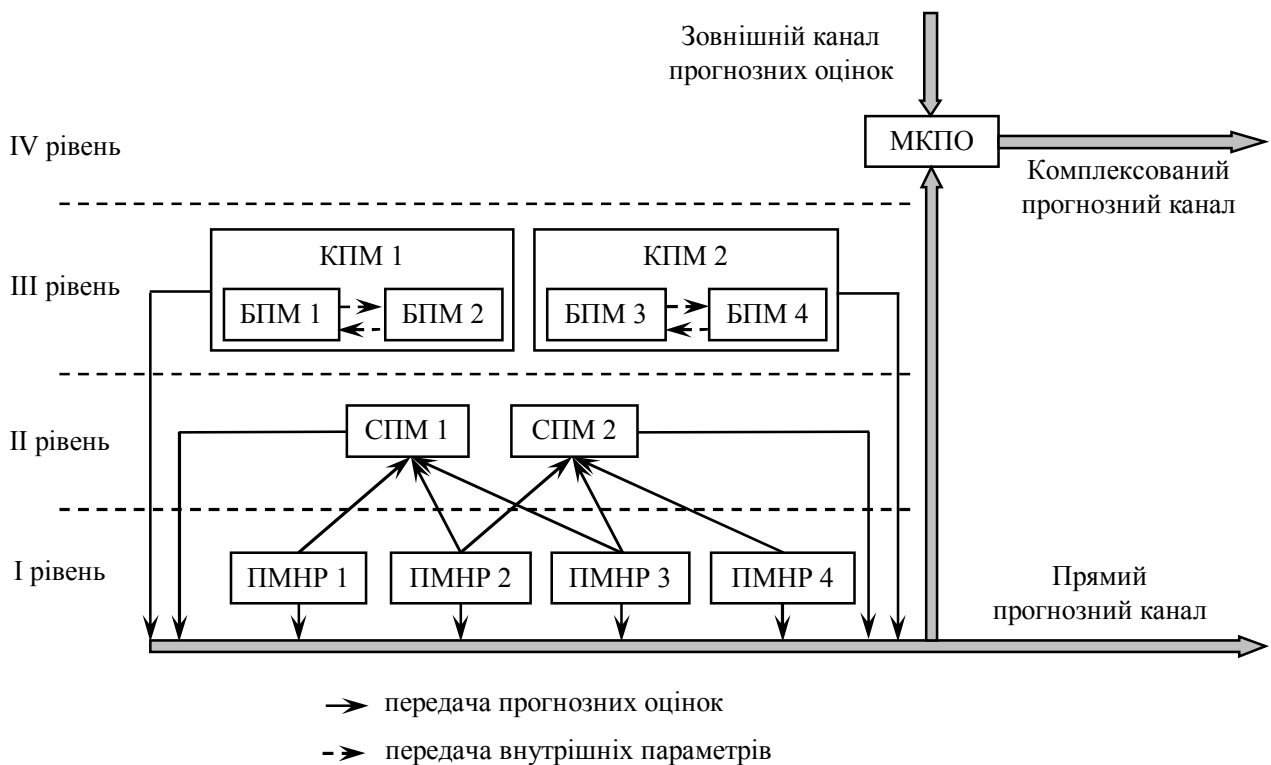


Рисунок 1 – Модель адаптивного багаторівневого оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем: ПМНР – прогнозна модель нижнього рівня; СПМ – селективна прогнозна модель; КПМ – комбінована прогнозна модель; БПМ – базова прогнозна модель (відносно комбінованої); МКПО – модель комплексування прогнозних оцінок

На першому рівні розташовуються прогнозні моделі нижнього рівня – статистичні моделі. Організація формує апробований набір прогнозних моделей і методів, специфічних для її прогностичної діяльності. В умовах обмеженої вибірки задовільні результати показує модель Брауна, щонайширші можливості як модель нижнього рівня має і інтерактивний метод SSA, що потребує, проте, для ефективного розкладання часового ряду вибірки значної довжини.

На другому рівні розташовуються селективні прогнозні моделі, які синтезовано із моделей нижнього рівня на основі розв'язувальних правил. Загальним правилом і суттю селективної моделі є вибір кращої моделі за певним критері-

ем на кожному кроці прогнозування.

На третьому рівні розміщені комбіновані прогнозні моделі, які передбачають структурно-параметричний обмін з метою парирування природних недоліків базових моделей. На верхньому логічному рівні запропонованої моделі розташовуються моделі комплексування прогнозних оцінок, за допомогою яких можна синтезувати консолідовані прогнози при використанні декількох джерел.

Необхідність четвертого рівня моделі зумовлена наявністю в професійному інформаційному середовищі зовнішніх прогнозних оцінок відносно значущих для організації показників. При цьому такі оцінки необхідно використовувати й узгоджувати з результатами власної прогностичної діяльності організації. Частина методичного інструментарію, що має запропонована модель, може належати до групи засобів інтелектуального аналізу даних (Data Mining). Якщо в галузевому середовищі організації доступні ефективні факторні (нейромережні, нечіткі та ін.) моделі, то вони можуть зайняти місце на нижньому рівні.

Таким чином, у другому розділі набула подальшого розвитку методологія прогнозування динаміки складних організаційно-технічних об'єктів і систем у напрямку багаторівневого адаптивного оцінювання їхніх техніко-економічних показників в умовах невизначеності даних шляхом створення комплексу моделей, методів і відповідної інформаційної технології.

Основні результати цього розділу опубліковано в роботах [2, 7, 27, 52, 64, 66].

У **третьому розділі** дисертації здійснено параметричний аналіз прогнозованої моделі експоненціального згладжування і розроблено методи її параметричного синтезу в умовах невизначеності даних. У прогнозній моделі Брауна, або експоненціального згладжування, використовується експоненціальне середнє значення \hat{y}_t стаціонарного часового ряду для оцінювання його значення у наступний момент часу:

$$\hat{y}_t = \alpha y_{t-1} + \alpha(1-\alpha)y_{t-2} + \dots + \alpha(1-\alpha)^{n-1}y_{t-n} = \sum_{i=1}^n \alpha(1-\alpha)^{i-1}y_{t-i}, \quad (1)$$

де $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-n}$ – значення ряду у відповідні моменти часу;

n – довжина вибірки часового ряду;

α – параметр згладжування.

Класичним діапазоном параметра згладжування α є інтервал $[0, 1]$, що зумовлено необхідністю забезпечити збіжність послідовності вагових коефіцієнтів у формулі (1) до одиниці:

$$\{a_k\}_{k=1}^n = \alpha, \alpha(1-\alpha), \dots, \alpha(1-\alpha)^{n-1}. \quad (2)$$

Дослідження моделі Брауна є можливим на класичній $K_c = \{\alpha : 0 \leq \alpha \leq 1\}$, позамежній $K_{out} = \{\alpha : 1 < \alpha \leq 2\}$, а також на розширеній $K_{ext} = \{\alpha : 0 \leq \alpha \leq 2\}$ допустимій множині параметра згладжування α . За результатами проведеного параметричного аналізу прогнозу моделі Брауна на розширеній допустимій множині (рисунки 2 – 4) було зроблено такі висновки:

1. Як прогнозна оцінка у моделі Брауна використовується не експоненціальне середнє, а експоненціальне зважене значення вихідного ряду $S_n = 1 - (1 - \alpha)^n$ (рисунок 2, а).

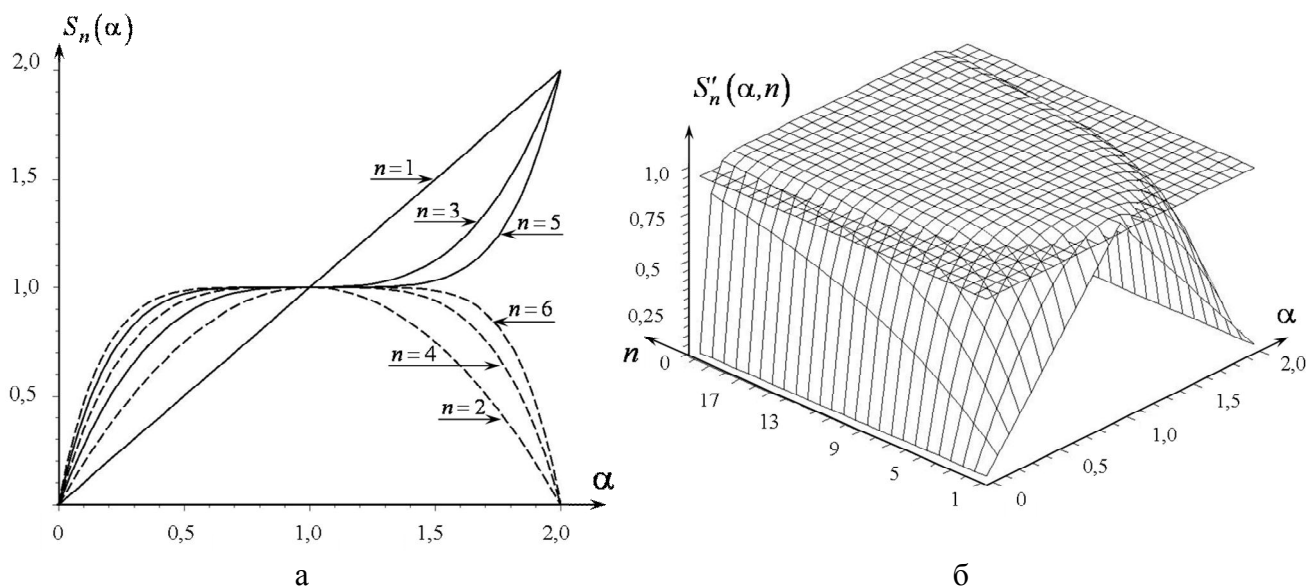


Рисунок 2 – Залежність простої (а) і перетвореної (б) сум послідовності вагових коефіцієнтів моделі Брауна від параметра згладжування α та кількості елементів ряду n на розширеній множині K_{ext}

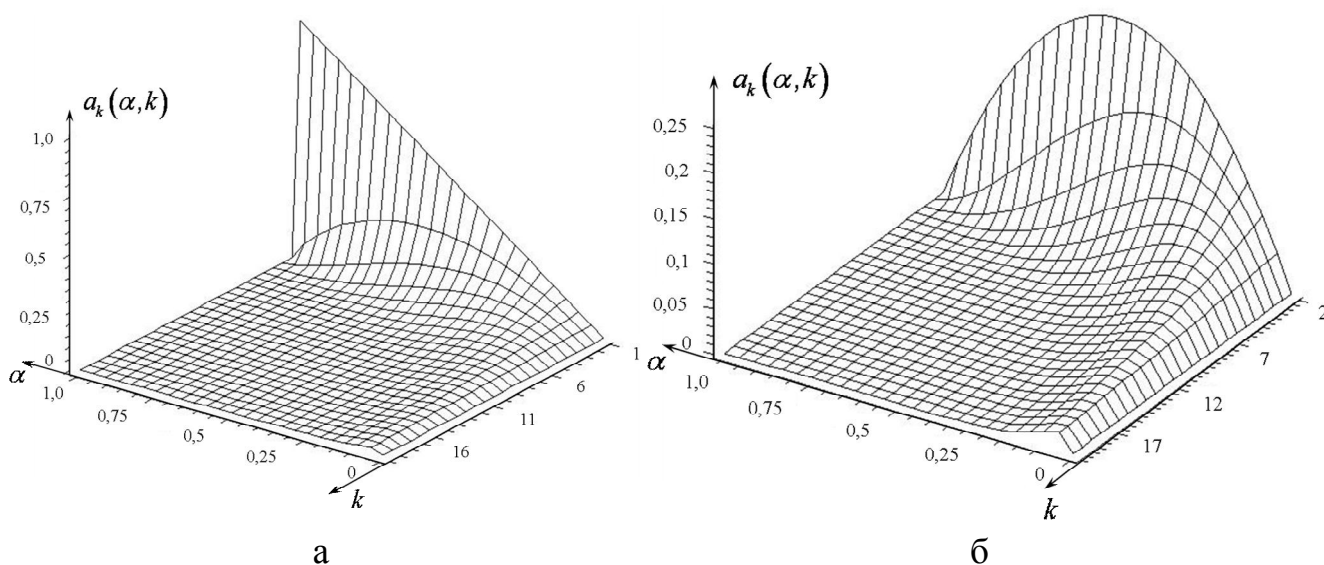


Рисунок 3 – Залежність значень елементів повної (а) і неповної (б) послідовності $\{a_k\}_{k=1}^n$ від параметра згладжування α і порядкового номера елемента k

2. Близькість прогновної оцінки до експоненціального середнього можна оцінити аналітично, дзеркально відобразив групу зростаючих гілок відносно одиничного рівня (рисунок 2, б):

$$S'_n = 1 - |1 - \alpha|^n. \quad (3)$$

3. Якщо розглядати елементи послідовності (2) (рисунок 3, а), виключивши перший елемент (рисунок 3, б), то можна переконатися у тому, що максимуми ваги інших елементів обернено пропорційні до порядкового номера елемента послідовності:

$$\alpha^* = k^{-1}. \quad (4)$$

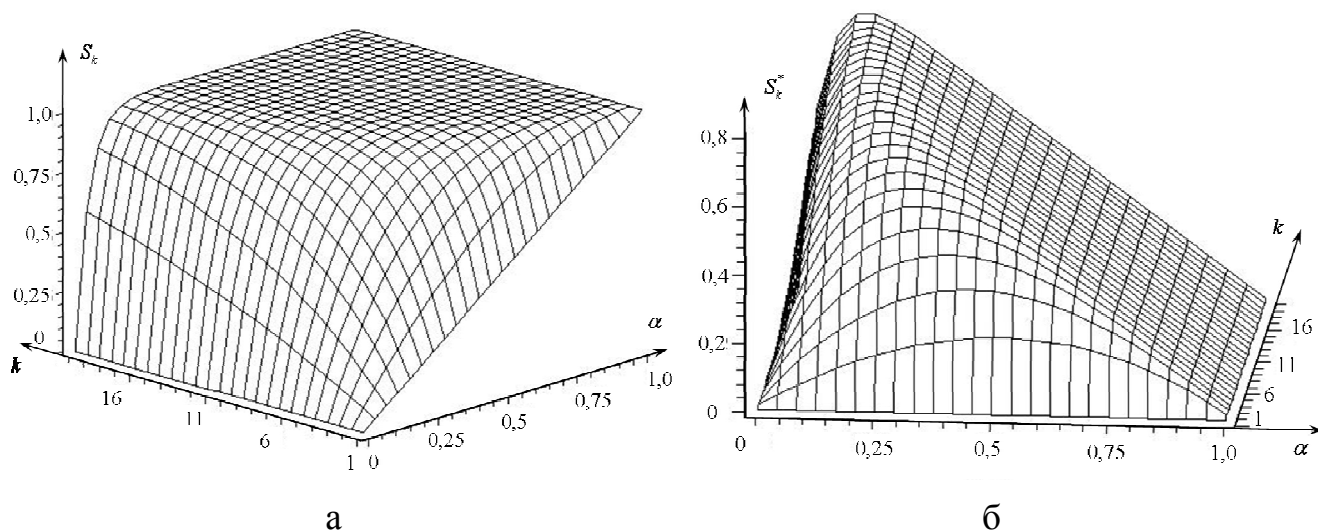


Рисунок 4 – Залежність сум S_k і S_k^* k перших елементів повної (а) і неповної (б) послідовності $\{a_k\}_{k=1}^n$ від параметра згладжування α і кількості елементів k

4. Із рисунка 4, а видно, що сума перших k елементів послідовності (2) $S_k = 1 - (1 - \alpha)^k$ монотонно зростає зі збільшенням α , причому темп зростання тим вищий, чим більшою є кількість елементів у сумі S_k . При цьому другий і всі наступні елементи є немонотонними функціями від α (рисунок 4, б).

5. Розподіл максимумів перерізів S_k^* за α підпорядковується такому закону:

$$\alpha^{**} = 1 - k^{-\frac{1}{k}}, \quad k \geq 2. \quad (5)$$

Залежність (5) можна розглядати як параметричну характеристику фільт-

ра, а параметр k – як довжину пам'яті моделі Брауна, оскільки саме k останніх спостережень максимально враховуються у прогнозі (рисунок 5).

Якість ретроспективних прогнозних оцінок, отриманих для значень часового ряду в минулі відносно t моменти часу має тенденцію до збереження в наступний момент часу. Для апостеріорного розв'язання задачі параметричного синтезу слід сформулювати ретроспективні рівняння такого вигляду:

$$\varepsilon_{t-1}(\alpha) = 100 \cdot \frac{\hat{y}_{t-1}(\alpha) - y_{t-1}}{y_{t-1}} = \frac{100}{y_{t-1}} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n-1} \alpha (1-\alpha)^{i-1} y_{t-i-1} - y_{t-1} \right) = 0. \quad (6)$$

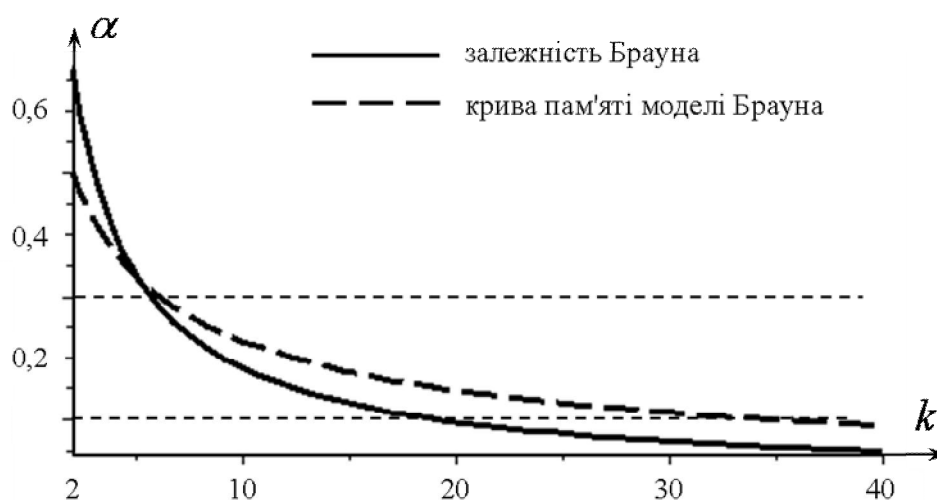


Рисунок 5 – Емпірична залежність і крива пам'яті моделі Брауна

У деяких задачах виникає ситуація, коли одно або декілька значень часового ряду подано в інтервальній формі

$$[y_{t-i}] = [\underline{y_{t-i}}; \overline{y_{t-i}}], \quad (7)$$

де $\underline{y_{t-i}}$ і $\overline{y_{t-i}}$ – нижня і верхня межі інтервального значення параметра y_{t-i} .

У цьому випадку розрахункова формула моделі Брауна набуває вигляду

$$[\hat{y}_t] = \alpha [\underline{y_{t-1}}] + \alpha (1-\alpha) [\underline{y_{t-2}}] + \dots + \alpha (1-\alpha)^{n-1} [\underline{y_{t-n}}] = \sum_{i=1}^n \alpha (1-\alpha)^{i-1} [\underline{y_{t-i}}], \quad (8)$$

а ретроспективне рівняння (6) для часового ряду з інтервальними значеннями –

$$\sum_{i=1}^{n-1} \alpha (1-\alpha)^{i-1} [\underline{y_{t-i-1}}] - [\underline{y_{t-1}}] = 0. \quad (9)$$

Процесну діаграму методу параметричної ідентифікації моделі Брауна показано на рисунку 6. За цим методом можна аналізувати часові ряди двох типів: інтервальні й числові.

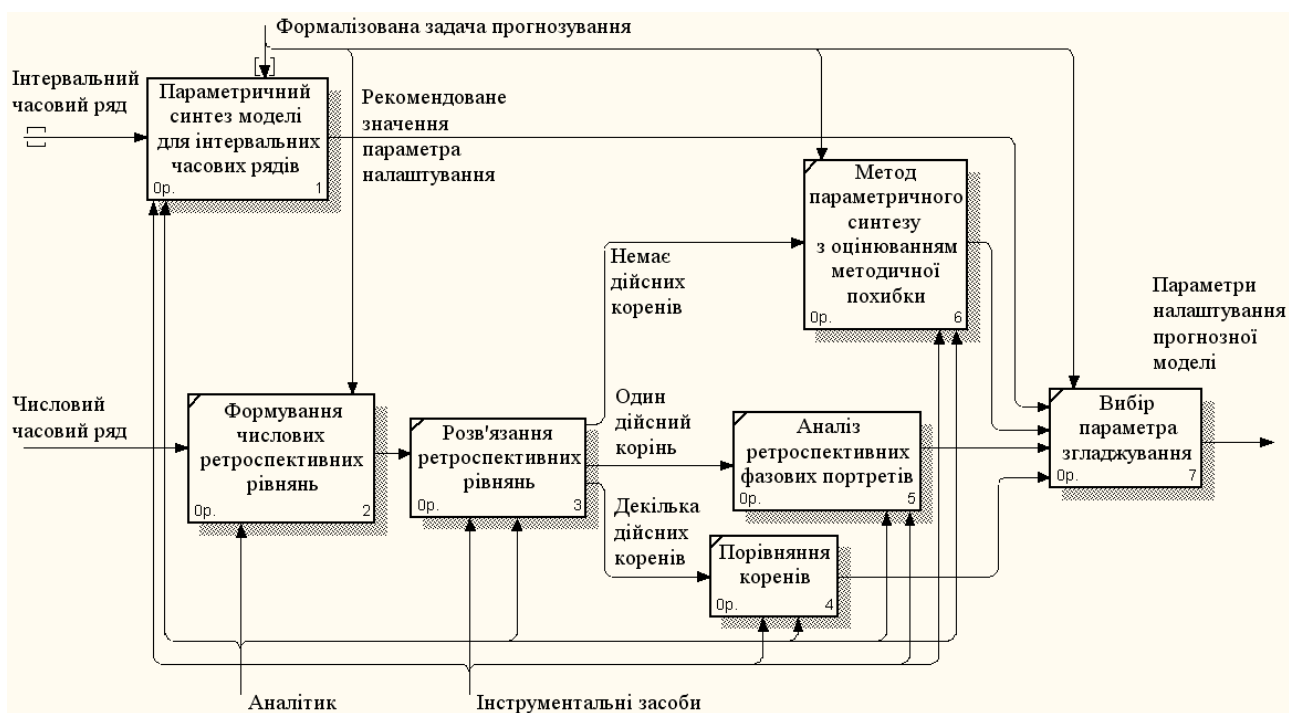


Рисунок 6 – Процесна діаграма методу параметричної ідентифікації прогнозу моделі Брауна

Метод структурно-параметричного синтезу (рисунок 7) містить ідентифікацію часового ряду, яка включає попередній аналіз і оброблення вихідних даних, а саме виділення тренду і формування ряду інтервальних залишків.

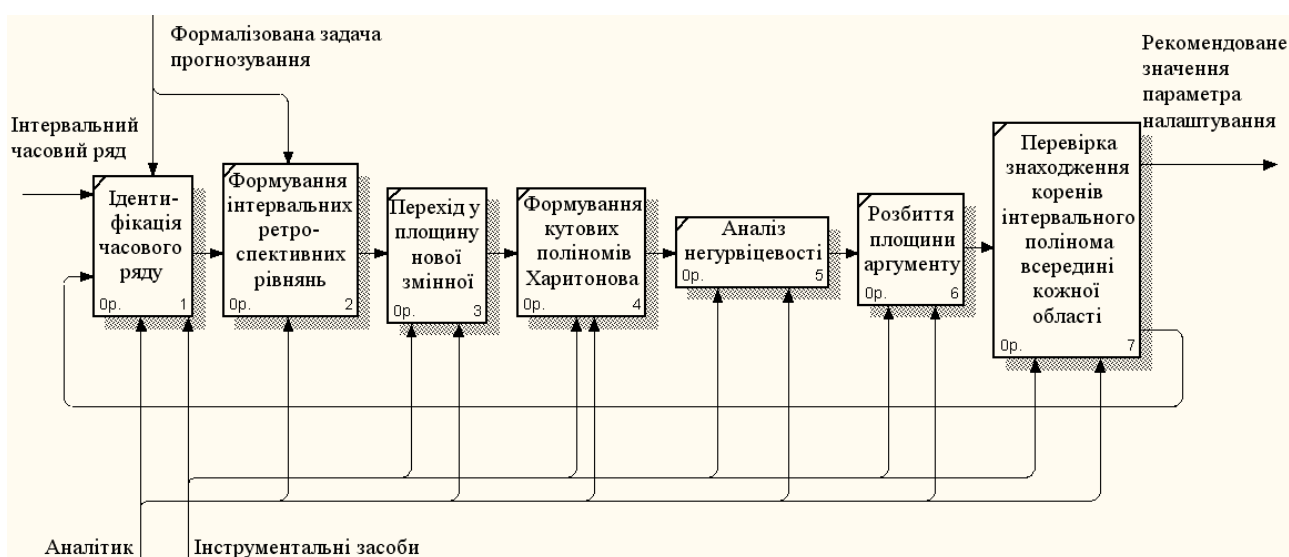


Рисунок 7 – Процесна діаграма методу структурно-параметричного синтезу прогнозу моделі Брауна для інтервальних часових рядів

На базі ідентифікації слід сформуванати одно або декілька інтервальних ретроспективних рівнянь вигляду (9). Для встановлення факту знаходження коренів інтервального полінома (9) в діапазоні $0 \leq \alpha \leq 2$ запропоновано використати білінійне перетворення вигляду

$$\alpha = \frac{2}{1+w}, \quad (10)$$

що відображає одиничний круг з центром у точці $(0;1)$ в площині параметра α у праву півплощину комплексної площини.

Після підстановки виразу (10) у рівняння (9) отримаємо

$$\sum_{i=1}^{n-1} \frac{2}{1+w} \left(1 - \frac{2}{1+w}\right)^{i-1} [y_{t-i-1}] - [y_{t-1}] = 0. \quad (11)$$

Якщо тепер звести рівняння (10) до канонічного вигляду

$$[b_0]w^n + [b_1]w^{n-1} + [b_2]w^{n-2} + \dots + [b_{n-1}]w + [b_n] = 0, \quad (12)$$

де $[b_i] = [b_i; \bar{b}_i]$ – інтервальні лінійні функції від значень вихідного часового ряду $[y_{t-i}]$, то виникне можливість використати теорему Харитонова щодо стійкості інтервального полінома.

Таким чином, оцінивши факт розташування коренів на множині K_{ext} , можна обґрунтовано вибрати значення параметра згладжування α для прогнозування на наступний період.

У разі прогнозування числових часових рядів рівняння вигляду (6) можуть мати різну кількість дійсних коренів на множині K_{ext} . За наявності тільки комплексних коренів можна знайти мінімальну методичну похибку Δ_{t-1} шляхом розв'язання такої послідовності рівнянь:

$$\begin{aligned} y_{t-1} + \Delta_{t-1} &= \sum_{i=2}^n \alpha_{t-1} (1 - \alpha_{t-1})^{i-2} y_{t-i}, \\ y_{t-2} + \Delta_{t-2} &= \sum_{i=3}^n \alpha_{t-2} (1 - \alpha_{t-2})^{i-m} y_{t-i}, \\ &\dots, \\ y_{t-m} + \Delta_{t-m} &= \sum_{i=m}^n \alpha_{t-m} (1 - \alpha_{t-m})^{i-2} y_{t-i}, \end{aligned} \quad (13)$$

де m – глибина ретроспективного аналізу.

Розв'язуючи рівняння (12), маємо дві послідовності для m останніх моментів часу:

$$\{\alpha^*\}_m = \{\alpha_{t-1}^*, \alpha_{t-2}^*, \dots, \alpha_{t-m}^*\}; \quad (14)$$

$$\{\Delta^*\}_m = \{\Delta_{t-1}^*, \Delta_{t-2}^*, \dots, \Delta_{t-m}^*\}. \quad (15)$$

Екстраполюючи тенденцію (14) на момент часу t , можна визначити значення α_t^* для прогнозування на цей момент часу. При цьому послідовність (15), з одного боку, може бути мірою адекватності прогнозної моделі, а з іншого – включена до прогнозу як складова.

У випадку якщо рівняння (6) мають один дійсний корінь на множині K_{ext} , то послідовність коренів рівнянь вигляду (6) для m останніх моментів часу

$$\{\alpha\}_m = \{\alpha_{t-1}, \alpha_{t-2}, \dots, \alpha_{t-m}\} \quad (16)$$

можна розглядати як комплексну характеристику пари «часовий ряд – прогнозна модель» і досліджувати, наприклад, за допомогою інструментів фазового аналізу.

Це передбачає розкладання ретроспективного фазового портрета параметра згладжування прогнозної моделі Брауна $\Phi_2(\Lambda) = \{(\alpha_{t-m+i-1}, \alpha_{t-m+i})\}$, $i = \overline{1, m-1}$, на квазіцикли шляхом візуалізації фрагментів. При цьому слід взяти до уваги характер обертання ланок, які сполучають сусідні точки (α_i, α_{i+1}) , $(\alpha_{i+1}, \alpha_{i+2})$ фрагмента, що візуалізується. Це дає змогу визначити обґрунтовану оцінку параметра згладжування для отримання актуального прогнозу.

У разі, коли рівняння (6) має більше одного дійсного кореня на розширеній допустимій множині K_{ext} , необхідно вибрати той з них, який забезпечує кращу якість ретро-прогнозу.

Для розв'язання цієї задачі запропоновано нормуюче перетворення

$$\alpha = \alpha_j + \Delta\alpha_j = \alpha_j + 0,01\alpha_j\varepsilon_\alpha, \quad j = \overline{1, m}, \quad (17)$$

де α_j – дійсні корені рівняння (6);

$\Delta\alpha_j$ і ε_α – абсолютне і відносне відхилення дійсного кореня α_j .

Це перетворення дає можливість зображувати в єдиній площині параметрів залежності для всіх дійсних коренів ретроспективного рівняння (6) загаль-

ною кількістю m (рисунок 8). Як критерії порівняння запропоновано використовувати чутливість і робастність прогнозних оцінок до змін параметра згладжування.

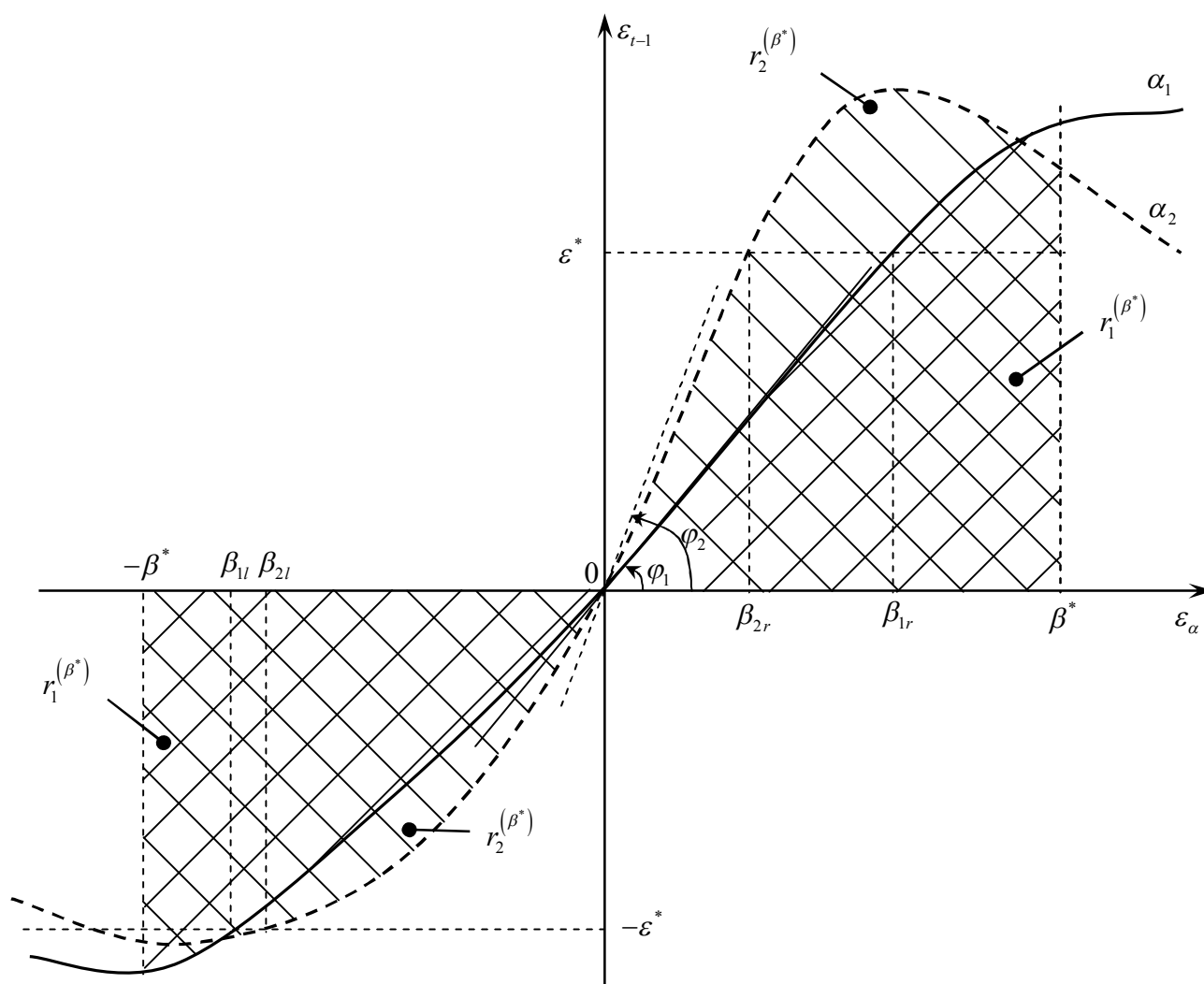


Рисунок 8 – Графоаналітичне порівняння дійсних коренів ретроспективного рівняння (6) в єдиній площині параметрів $(\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_\alpha)$

Чутливість прогнозної оцінки до зміни параметра згладжування трактується як міра зміни точності прогнозної оцінки при невеликих змінах значення параметра згладжування:

$$s_j = \left| \frac{d\varepsilon_{t-1}^{(j)}(\varepsilon_\alpha)}{d\varepsilon_\alpha} \right|_{\varepsilon_\alpha=0} = |\operatorname{tg} \varphi_j|, \quad j = \overline{1, n}. \quad (18)$$

Робастність прогнозної оцінки – це здатність прогнозної моделі зберігати наперед заданий рівень якості прогнозу у максимально широкому діапазоні змін внутрішніх параметрів моделі. Як показники робастності пропонується

група характеристик: β_{jl}, β_{jr} – ліва і права межі інтервалу робастності, що забезпечує збереження точності прогнозової оцінки в діапазоні $(-\varepsilon^*; \varepsilon^*)$;

$\Delta\beta_j = \beta_{jr} - \beta_{jl}$ – ширина інтервалу робастності; $r_j^{(\beta^*)} = \frac{1}{\int_{-\beta^*}^{\beta^*} |\varepsilon_{t-1}^{(j)}(\varepsilon_\alpha)| d\varepsilon_\alpha}$ – міра робастності в діапазоні $(-\beta^*; \beta^*)$ або близькості кривої $\varepsilon_t^{(j)}(\varepsilon_\lambda)$ до осі абсцис.

Таким чином, у третьому розділі вперше розроблено метод параметричної ідентифікації моделі Брауна за результатами ретроспективного аналізу, який на відміну від відомих базується на аналізі конфігурації коренів ретроспективних рівнянь, а також набула подальшого розвитку однопараметрична прогнозна модель Брауна завдяки запропонованому методу структурно-параметричного синтезу, у якому враховується інтервальна невизначеність вихідних даних, що дає можливість розширити межі адекватності прогнозової моделі.

Основні результати цього розділу опубліковано в роботах [1, 4, 6, 8, 9, 12, 19, 20, 26–29, 31, 33, 34, 36, 37, 42, 43, 49, 53, 54, 57–61, 63].

У **четвертому розділі** дисертації розроблено комбіновані прогнозні моделі для часових рядів з критичним обсягом вибірки: інтервальну рекурентну модель часового ряду і модель рядів із сезонною динамікою на базі адитивної моделі Тейла – Вейджа.

При управлінні організаційно-технічними системами, зокрема обслуговуванні сучасних інженерних об'єктів і систем, таких, як комунікаційні й логістичні мережі, може виникнути необхідність планування сервісних заходів. Інформація про об'єкт або процес є доступною у вигляді часового ряду, що складається зі значень деякого показника, що характеризує експлуатаційний аспект стану об'єкта. Нехай значення часового ряду $Z(t) = z(1), z(2), \dots, z(T)$ є доступними в дискретні моменти часу $t = 1, 2, \dots, T$. У момент часу T необхідно визначити прогнозне значення показника $\hat{Z}(t)$ у моменти часу $t = T + 1, T + 2, \dots, T + P$. Потім на горизонті прогнозу завдовжки P слід відшукати варіант розміщення відрізка завдовжки τ , що забезпечує мінімальний інтеграл прогнозової функції $\hat{Z}(t)$ на цьому відрізку:

$$\int_{t^*}^{t^* + \tau} \hat{Z}(t) dt \rightarrow \min, \quad (19)$$

де t^* – момент початку відрізка часу.

Загальну схему дослідження зображено на рисунку 9.

У разі, якщо інформація про процес є доступною у вигляді декількох екс-

плуатаційних показників, тобто його можна описати багатовимірним часовим рядом, то виникає завдання багатовимірної оптимізації. Якщо функція згортки є відомою, то можна описати процес єдиним експлуатаційним показником, майбутні дискретні значення якого $\hat{Z}(t)$ стають відомими внаслідок прогнозування. Тоді вираз (19) можна подати у вигляді скінченної суми

$$S_{\tau}(t^*) = \sum_{i=t^*}^{t^*+\tau-1} \hat{Z}(i) \rightarrow \min, \quad (20)$$

де t^* – момент початку сервісного інтервалу;

$S_{\tau}(t^*)$ – ряд значень скінченних сум довжиною τ із ряду прогнозних значень $\hat{Z}(t)$.



Рисунок 9 – Модель планування сервісних заходів на інженерних об'єктах ОТС

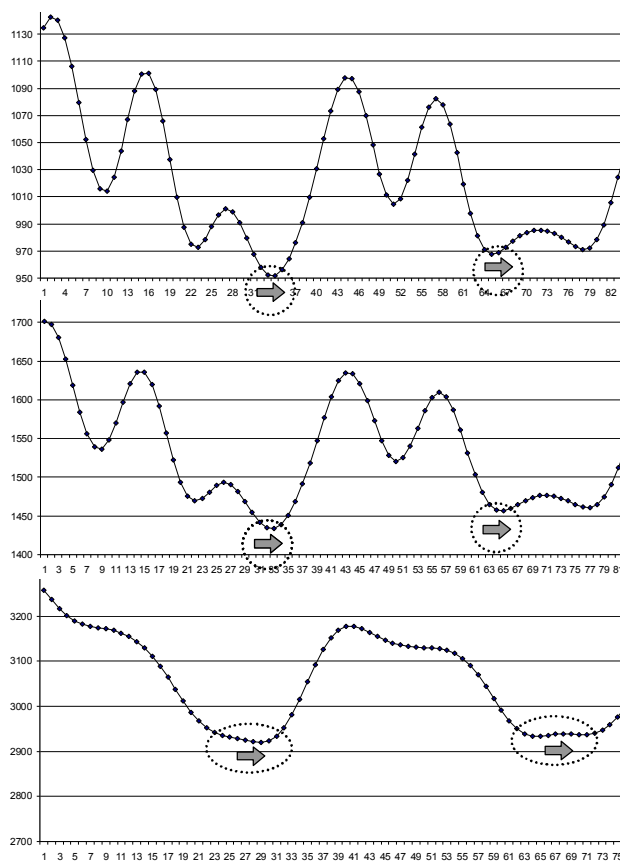


Рисунок 10 – Залежність визначеного інтеграла прогнозної функції від моменту початку сервісних заходів для $\tau = 4$, $\tau = 6$ і $\tau = 12$

При наперед заданому значенні тривалості сервісного інтервалу τ можна визначити залежність $S_{\tau}(t^*)$ від моменту початку сервісного інтервалу t^* (ри-

сунок 10). Момент часу T^* , що забезпечує мінімум $s_\tau(T^*) = \min_{i=T+1}^{T+P-\tau} (s_\tau(i))$, і буде оптимальним часом початку сервісних заходів тривалістю τ .

Ідентифікацію часових рядів, зокрема і значної довжини, з метою виявлення структури ряду можна виконувати методом SSA.

Процедура синтезу інтервальної моделі часового ряду складається з декількох етапів (рисунок 11). При моделюванні процесів апріорна інформація доступна дослідникові у вигляді гіпотез і припущень щодо характеру процесу. За періодограмою ряду можна зробити попередній висновок про те, скільки періодичних складових слід віднести до корисних. Аналіз кожного фрагмента вихідного ряду можна здійснювати методом SSA, який дає можливість визначати головні компоненти за коренями характеристичного полінома (таблиця 1).

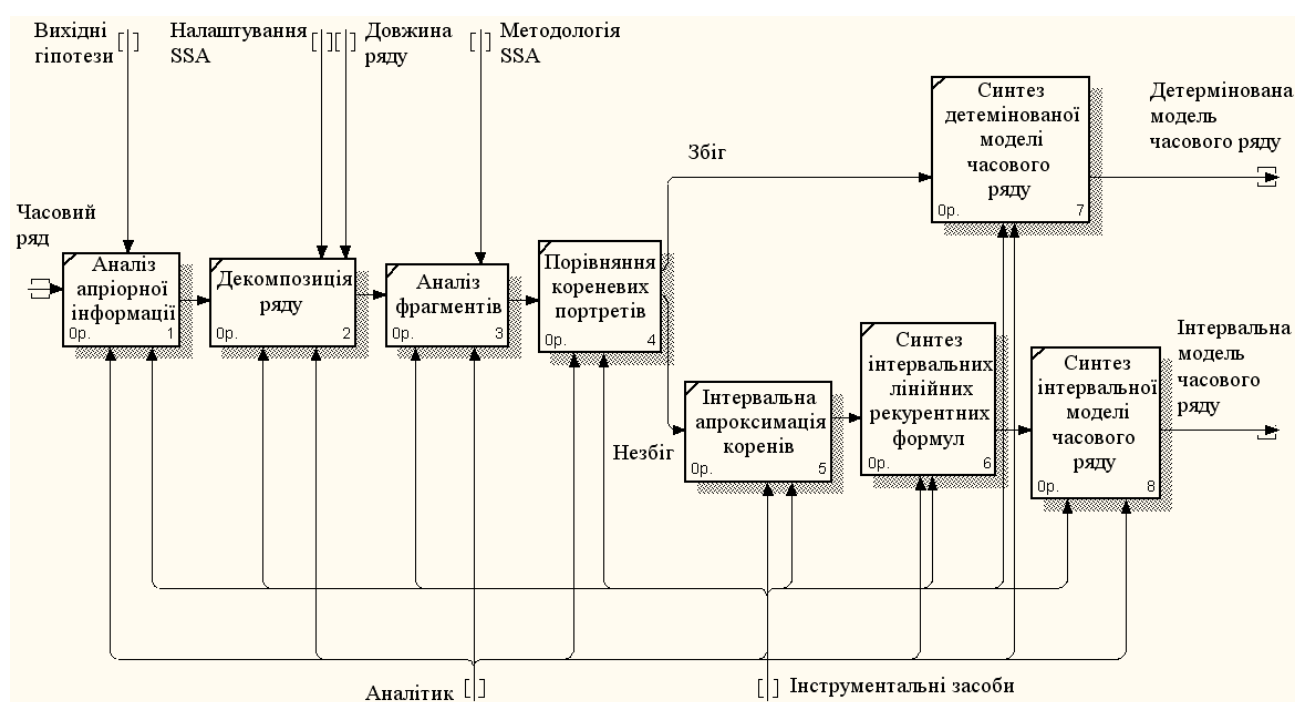


Рисунок 11 – Процедура синтезу інтервальної моделі часового ряду

Таблиця 1 – Розташування коренів характеристичного полінома для модельних рядів

Форма модельного ряду	Розташування коренів
$F = C$	Один корінь $(Re, Im) = (1, 0)$
$F = C_0 + C_1 t + \dots + C_n t^n$	n збіжних коренів $(Re, Im) = (1, 0)$
$F = C \cdot \sin(\omega t + \varphi)$	Два комплексно-спряжені корені $tg \omega = Im/Re$, $T = 2\pi/\omega$, $Re^2 + Im^2 = 1$
$F = C \cdot e^{\alpha t}$	Один корінь $(Re, Im) = (Re, 0)$, $\alpha = \ln(Re)$

Форма модельного ряду	Розташування коренів
$F = (C_0 + C_1 t + \dots + C_{n-1} t^{n-1}) \times \sin(\omega t + \varphi)$	n збіжних комплексно-спряжених коренів $tg\omega = Im/Re, T = 2\pi/\omega, Re^2 + Im^2 = 1$
$F = (C_0 + C_1 t + \dots + C_n t^n) e^{\alpha t}$	n збіжних коренів $(Re, Im) = (Re, 0),$ $\alpha = \ln(Re)$
$F = e^{\alpha t} \sin(\omega t + \varphi)$	Два комплексно-спряжені корені $tg\omega = Im/Re, T = 2\pi/\omega, Re^2 + Im^2 = \ln(Re)$
$F = (C_0 + C_1 t + \dots + C_n t^n) e^{\alpha t} \times \sin(\omega t + \varphi)$	n збіжних комплексно-спряжених коренів $tg\omega = Im/Re, T = 2\pi/\omega, Re^2 + Im^2 = \ln(Re)$

Кореневі портрети фрагментів часового ряду загальною кількістю M , що являють собою розташування головних коренів характеристичного рівняння лінійної рекурентної формули на комплексній площині, або підлягають аналізу на збіг. Повний збіг корневих портретів фрагментів означає, що всі фрагменти ряду повністю відтворюють загальні тенденції процесу.

Таким чином, модель ряду можна подати у вигляді лінійної рекурентної формули з детермінованими коефіцієнтами. Розглядається M наборів із $d/2$ пар комплексно-спряжених коренів, знайдених шляхом розкладання фрагментів вихідного ряду на складові методом SSA, що характеризують прості осцилятори. Апроксимуємо набір комплексно-спряжених коренів

$$\lambda_{1,2}^{(i)} = a^{(i)} \pm j b^{(i)}, j^2 = -1, i = \overline{1, M} \quad (21)$$

двома симетричними відносно дійсної осі прямокутниками (рисунок 12):

$$\lambda_{1,2} = [a] \pm j [b], \quad (22)$$

де $[a] = [a_{min}, a_{max}]$, $[b] = [b_{min}, b_{max}]$ – інтервали, причому

$$a_{min} = \min_{i=1}^M a_i, a_{max} = \max_{i=1}^M a_i, b_{min} = \min_{i=1}^M b_i, b_{max} = \max_{i=1}^M b_i. \quad (23)$$

Невизначеність у розташування пари головних комплексно-спряжених коренів можна виразити в інтервальній формі подання коефіцієнтів лінійної рекурентної формули шляхом відновлення за коренями (22) відповідного характеристичного полінома з інтервальними коефіцієнтами:

$$\begin{aligned}
 P(\lambda) &= \lambda^2 + [c_1]\lambda + [c_2] = \\
 &= \lambda^2 + \left[-\frac{a_{max}}{2}, -\frac{a_{min}}{2} \right] \lambda + \left[(a^2)_{max} + (b^2)_{min}, (a^2)_{min} + (b^2)_{max} \right].
 \end{aligned} \tag{24}$$

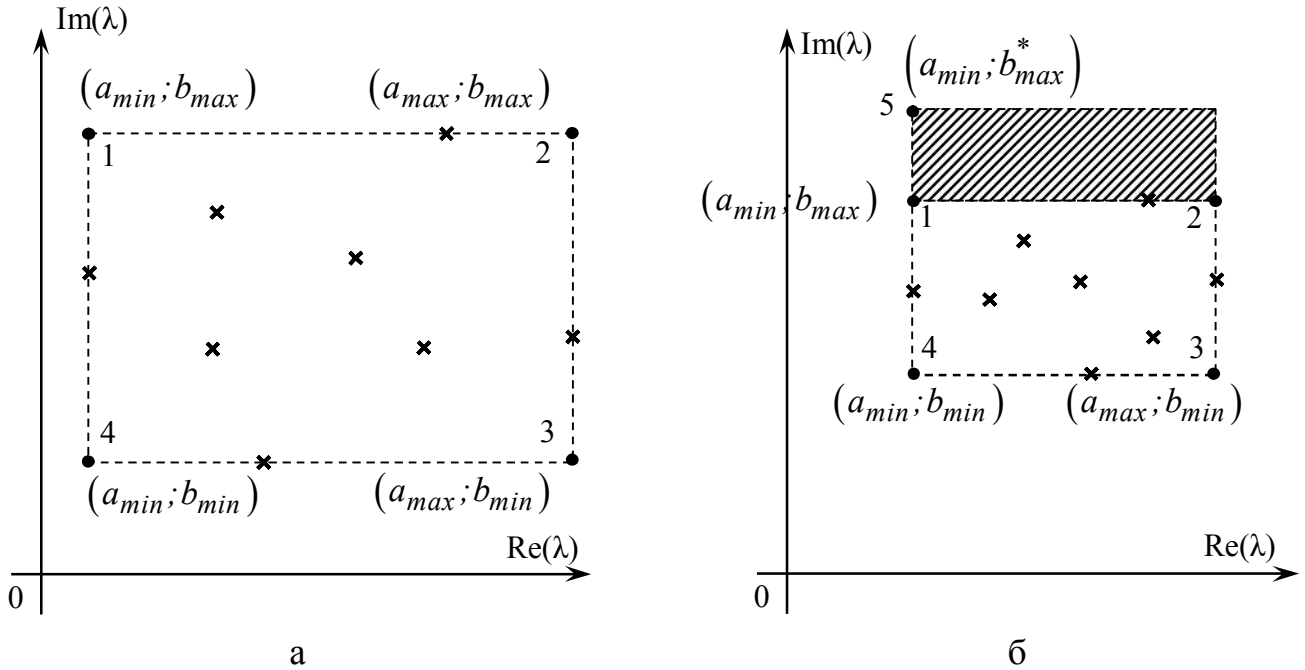


Рисунок 12 – Інтервальна апроксимація набору комплексно-спряжених коренів:
а – повна, б – надмірна

Для випадку, коли умова існування інтервального коефіцієнта $[c_2]$

$$(a^2)_{max} + (b^2)_{min} \leq (a^2)_{min} + (b^2)_{max} \tag{25}$$

не виконується, запропоновано апроксимацію набору коренів надмірною областю, як показано на рисунку 11, б:

$$(a_{max})^2 + (b_{min})^2 = (a_{min})^2 + (b_{max}^*)^2. \tag{26}$$

Тоді інтервальна апроксимація групи комплексно-спряжених коренів набуває вигляду $\lambda_{1,2} = [a_{min}; a_{max}] \pm j[b_{min}; b_{max}^*]$.

Таким чином, для кожної гармонічної складової вихідного ряду можна отримати характеристичний поліном з інтервальними коефіцієнтами вигляду

$$P_2(\lambda) = \lambda^2 - \sum_{k=1}^2 [a_k] \lambda^{2-k} = \lambda^2 + [c_1]\lambda + [c_2], \text{ а отже, і лінійну рекурентну формулу}$$

з інтервальними коефіцієнтами $f_{i+2} = \sum_{k=1}^2 [a_k] f_{i+2-k}$, причому $[a_1] = -[c_1]$, $[a_2] = -[c_2]$.

Після отримання для кожної гармонічної складової вихідного ряду лінійної рекурентної формули з інтервальними коефіцієнтами загальна модель ряду з інтервальними коефіцієнтами набуває вигляду

$$f_{i+2}^{(1)} = \sum_{k=1}^2 [a_k^{(1)}] f_{i+2-k}^{(1)}, f_{i+2}^{(2)} = \sum_{k=1}^2 [a_k^{(2)}] f_{i+2-k}^{(2)}, \dots, f_{i+2}^{(d/2)} = \sum_{k=1}^2 [a_k^{(d/2)}] f_{i+2-k}^{(d/2)}. \quad (27)$$

Для часових рядів, які описують процеси, що характеризуються сезонною динамікою, запропоновано комбіновану модель на базі адитивної моделі Тейла – Вейджа. Труднощі виникають в умовах малої вибірки, коли точне значення періоду сезонності є невідомим. Пропонується використати метод SSA, за допомогою якого можна визначити частоту основної гармоніки навіть при довжині ряду, порівнянній з її повним періодом (рисунок 13), що в деяких випадках дає змогу отримати перевагу у точності комбінованої прогнозної моделі відносно традиційних (рисунок 14).

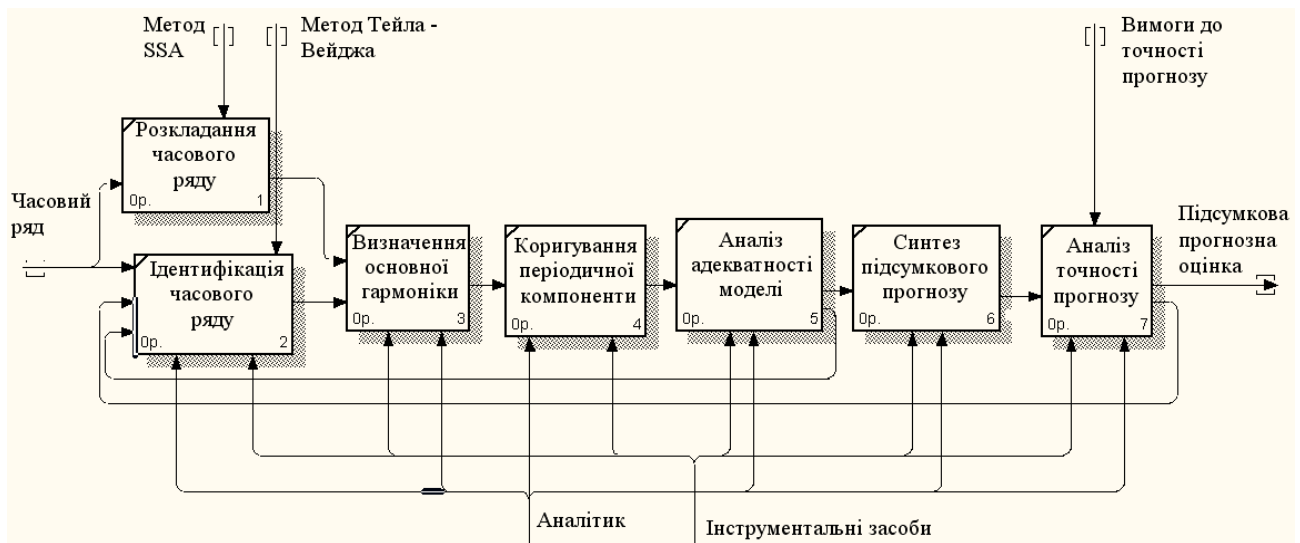


Рисунок 13 – Процедура синтезу комбінованої моделі часового ряду з сезонною динамікою в умовах малої вибірки

Таким чином, у четвертому розділі набули подальшого розвитку модель планування обслуговування в організаційно-технічних системах, яка базується на аналізі інтервальної апроксимації часових рядів експлуатаційних показників, що дає змогу врахувати неповну визначеність характеристик експлуатаційних процесів, а також модель Тейла – Вейджа для прогнозування сезонних процесів в організаційно-технічних системах в умовах обмеженої вибірки даних за раху-

нок синтезу на її основі комбінованої прогнозної моделі з використанням частотних параметрів моделі SSA, що дає змогу забезпечити якість прогнозу в умовах малої статистичної вибірки.

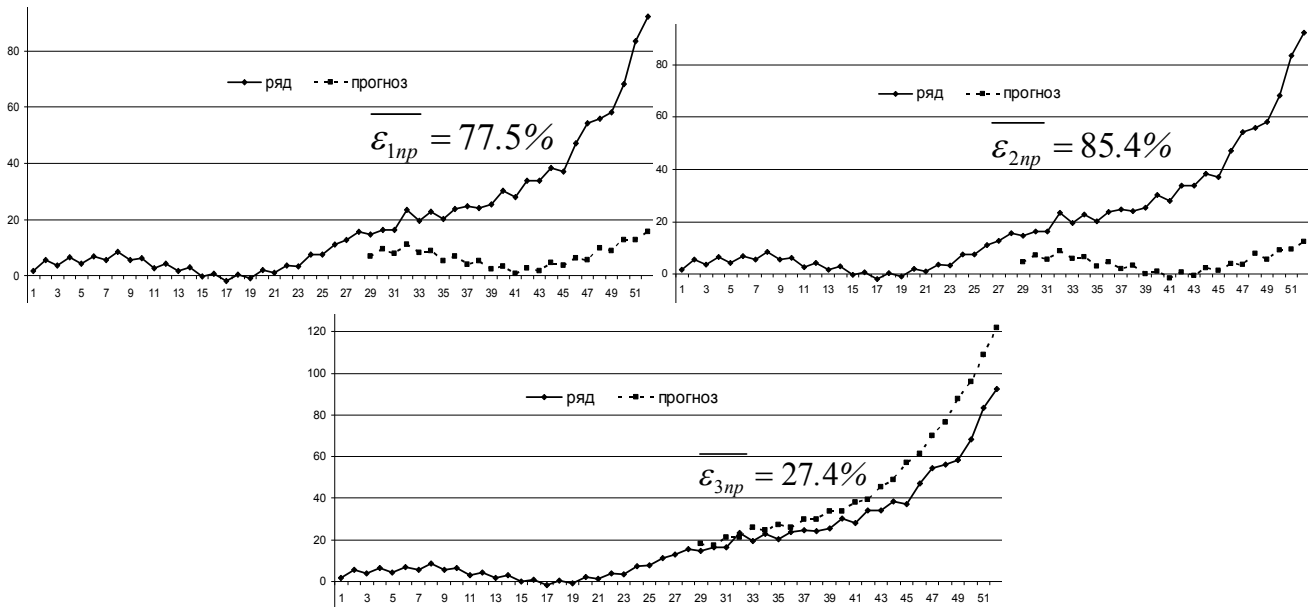


Рисунок 14 – Перевага в точності комбінованої прогнозної моделі порівняно з традиційними

Основні результати цього розділу опубліковано в роботах [1, 16, 23–25, 30, 39–41, 44–48].

У **п'ятому розділі** дисертації розроблено адаптивний метод комплексування прогнозних оцінок для консолідованих прогнозів техніко-економічних показників організаційно-технічних систем. При цьому основною метою є підвищення якості прогнозованої інформації шляхом комплексування оцінок, отриманих декількома методами і (або) з декількох джерел. Дослідник має n прогнозних оцінок $\hat{F}_i[k]$, $i = \overline{1, n}$ відносно деякого показника F на момент часу k , отриманих із n джерел. Підсумковий прогноз $\hat{F}_\Sigma[k]$ на основі комплексування n прогнозних оцінок визначається як зважена сума оцінок:

$$\hat{F}_\Sigma[k] = \sum_{i=1}^n w_i \hat{F}_i[k], \quad (28)$$

де w_i – вагові коефіцієнти; $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Визначення набору вагових коефіцієнтів w_i є основним завданням параметричного налаштування системи комплексування. Пропонуються такі підходи до вирішення цього завдання.

1. Усереднення прогнозів (вагові коефіцієнти є однаковими):

$$\hat{F}_\Sigma[k] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{F}_i[k]. \quad (29)$$

Якщо окремі прогнози є незміщеними (це має забезпечувати джерело), то підсумковий прогноз також буде незміщеним. Похибка підсумкового прогнозу $e_\Sigma[k]$ визначається як середнє похибок окремих оцінок, тобто $e_\Sigma[k] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i[k]$, де $e_i[k]$ – похибка прогнозу, отриманого із i -го джерела.

2. Зважене комплексування прогнозів. Оскільки джерела, які дають менші суми квадратів похибок прогнозів, генерують якісніші прогнози, то логічно прийняти цю міру за основу для визначення вагових коефіцієнтів:

$$w_i = \frac{1}{sse_i} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{sse_i}}, \quad (30)$$

де $sse = \sum_{i=1}^N e^2[k-i]$ – сума квадратів похибок прогнозу, отриманого із i -го джерела.

3. Динамічне комплексування прогнозів. На відміну від попереднього підходу ідея полягає у визначенні вагових коефіцієнтів комплексування не на основі накопичувальної дисперсії sse на навчальній (ретроспективній) вибірці, а на прогнозі дисперсії на наступний момент часу $\hat{e}[N+1]$.

У випадку якщо дослідникові доступні прогнози із n джерел та інформацію про похибку прогнозів подано у вигляді часових рядів абсолютних відхилень за весь період ретроспективної вибірки, то можна сформуванати часові ряди квадратів похибок:

$$\begin{aligned} \{e_1^2\}_N &= \{e_1^2[k-N], e_1^2[k-N+1], \dots, e_1^2[k-1]\}, \\ \{e_2^2\}_N &= \{e_2^2[k-N], e_2^2[k-N+1], \dots, e_2^2[k-1]\}, \\ &\dots, \\ \{e_n^2\}_N &= \{e_n^2[k-N], e_n^2[k-N+1], \dots, e_n^2[k-1]\}. \end{aligned} \quad (31)$$

На основі рядів (31) можна отримати прогнозні оцінки дисперсій $\hat{e}_1^2[k]$, $\hat{e}_2^2[k]$, ..., $\hat{e}_n^2[k]$. Одержані прогнози можна використати для визначення ваго-

вих коефіцієнтів w_i , наприклад, таким чином:

$$w_i = \frac{1}{\hat{e}_i^2[k]} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\hat{e}_i^2[k]}}. \quad (32)$$

та включити таким чином запропонований метод до системи комплексуювання прогнозних оцінок (рисунок 15).

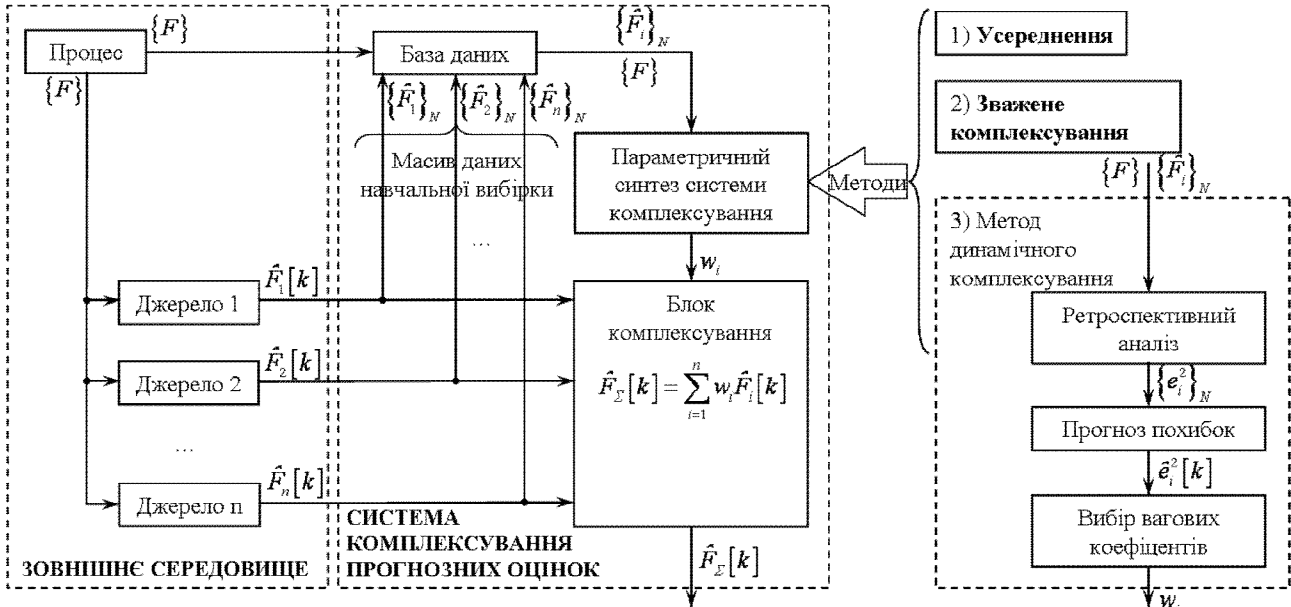


Рисунок 15 – Логічна схема системи комплексуювання прогнозних оцінок

У п'ятому розділі вперше розроблено метод динамічного комплексуювання прогнозних оцінок, який на відміну від існуючих ґрунтується на врахуванні тенденцій змін точності оцінок з альтернативних джерел прогнозу, що дає можливість при формуванні консолідованого прогнозу забезпечити адаптивність до таких змін для коректного оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем.

Основні результати цього розділу опубліковано в роботах [18, 21, 51, 62, 70].

У шостому розділі дисертації створено прикладну інформаційну технологію багаторівневого адаптивного оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем і відображено результати впровадження в практику оцінювання техніко-економічних показників компаній і організацій.

Сукупність моделей і методів, розроблених під час дисертаційного дослідження, стала основою прикладної інформаційної технології багаторівневого адаптивного оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем, логічний рівень якої показано на рисунку 16.

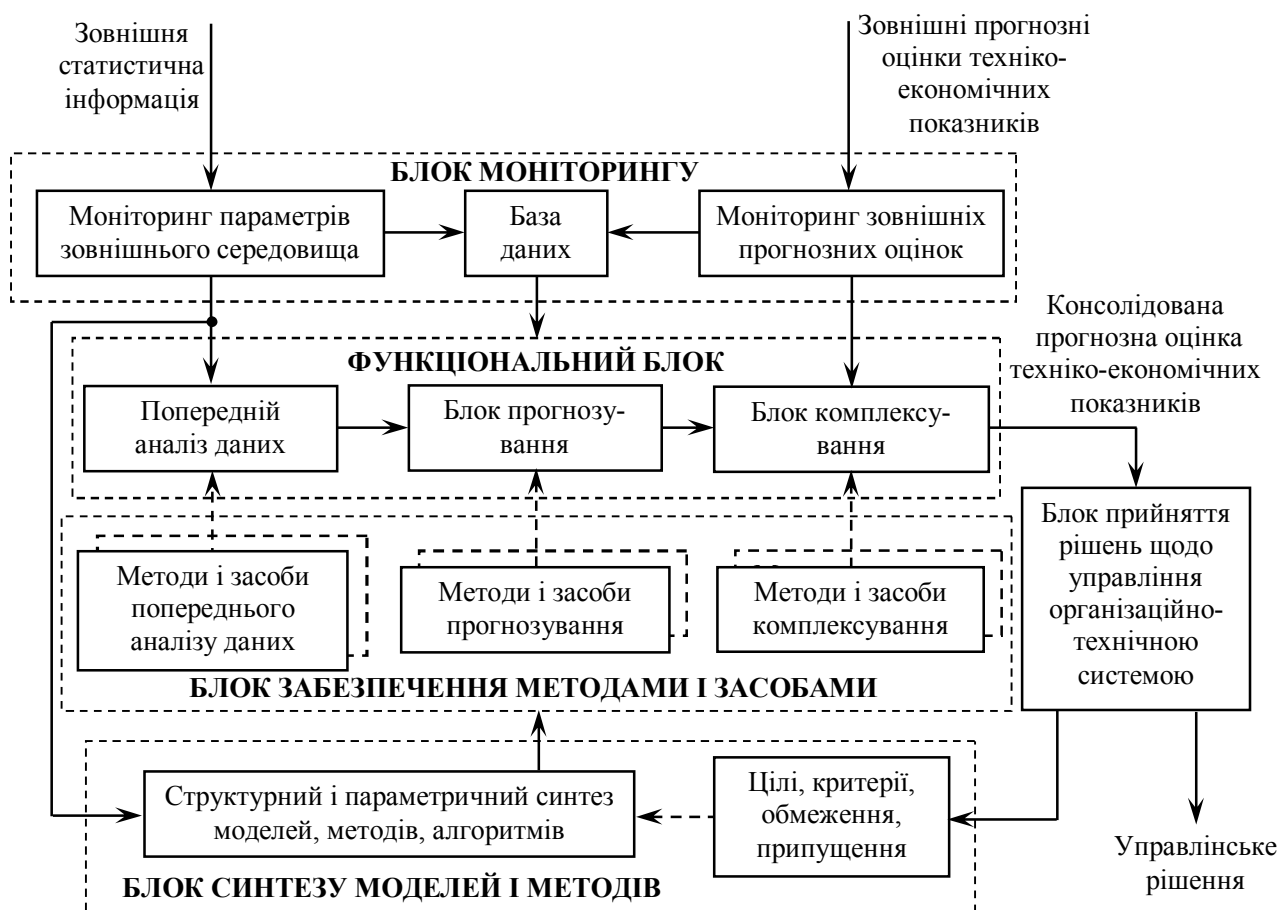


Рисунок 16 – Логічний рівень прикладної інформаційної технології багаторівневого адаптивного оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем

Її елементи, реалізовані у запатентованих комп'ютерних програмах, впроваджено в діяльність таких підприємств і організацій: ДП «Антонов», авіакомпанії «Aerovista», «Волга-Днепр», «Silk Way Airlines», Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України, ПАТ «Вовчанський агрегатний завод», ДП «Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування», компанія «SIGMA Software».

Апробація проводилася при вирішенні таких завдань, як управління конкурентоспроможністю організації, ранжування ризиків проектів, планування сервісних заходів на виробничому підприємстві.

При вирішенні завдання попереджувального управління конкурентоспроможністю організації формується набір векторів X_1, X_2, \dots, X_n , які відображають рівень ефективності n бізнес-процесів організації, а також вектор коефіцієнтів відносної значущості компонент бізнес-процесу:

$$X_1 = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}], A_i = [\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{in}]^T, i = \overline{1, n}, \quad (33)$$

де x_{ij} – ефективність j -ї компоненти i -го бізнес-процесу;

l_1, l_2, \dots, l_n – розмірність векторів X_1, X_2, \dots, X_n ;

α_{ij} – коефіцієнт відносної значущості j -ї компоненти i -го бізнес-процесу,

причому $0 \leq \alpha_{ij} \leq 1, \sum_{j=1}^{l_i} \alpha_{ij} = 1, k = \max_i l_i, i = \overline{1, n}$.

Набори векторів (32) можна подати у вигляді складених матриць

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} [X_1] & 0 & 0 & \dots & 0 \\ [X_2] & 0 & \dots & 0 \\ \dots & & & & \\ [X_k] & & & & \\ \dots & & & & \\ [X_n] & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{A} = \begin{bmatrix} [A_1]^T & 0 & 0 & \dots & 0 \\ [A_2]^T & 0 & \dots & 0 \\ \dots & & & & \\ [A_k]^T & & & & \\ \dots & & & & \\ [A_n]^T & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}. \quad (34)$$

Якщо визначити \mathbf{B} як матрицю розміром $n \times n$, у головній діагоналі якої розташовуються відносні коефіцієнти значущості бізнес-процесів, то в головній діагоналі матриці \mathbf{XAB} будуть розташовані зважені відносні ефективності всіх бізнес-процесів:

$$\mathbf{XAB} = \begin{bmatrix} \beta_1 X_1 A_1 & \beta_2 X_1 A_2 & \dots & \beta_n X_1 A_n \\ \beta_1 X_2 A_1 & \beta_2 X_2 A_2 & \dots & \beta_n X_2 A_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_1 X_n A_1 & \beta_2 X_n A_2 & \dots & \beta_n X_n A_n \end{bmatrix}. \quad (35)$$

Комплексну відносну ефективність бізнес-процесів в організації можна знайти, визначивши слід матриці \mathbf{XAB} :

$$E = tr(\mathbf{XAB}) = \beta_1 X_1 A_1 + \beta_2 X_2 A_2 + \dots + \beta_n X_n A_n = \sum_{i=1}^n \beta_i X_i A_i, \quad (36)$$

або в інтервальної формі

$$[E] = [\underline{E}, \overline{E}] = tr(\mathbf{X}[\mathbf{A}][\mathbf{B}]) = \sum_{i=1}^n [\beta_i] X_i [A_i]. \quad (37)$$

Запропоновано подання набору елементів головної діагоналі матриці \mathbf{XAB} у вигляді нормованої діаграми (рисунок 17).

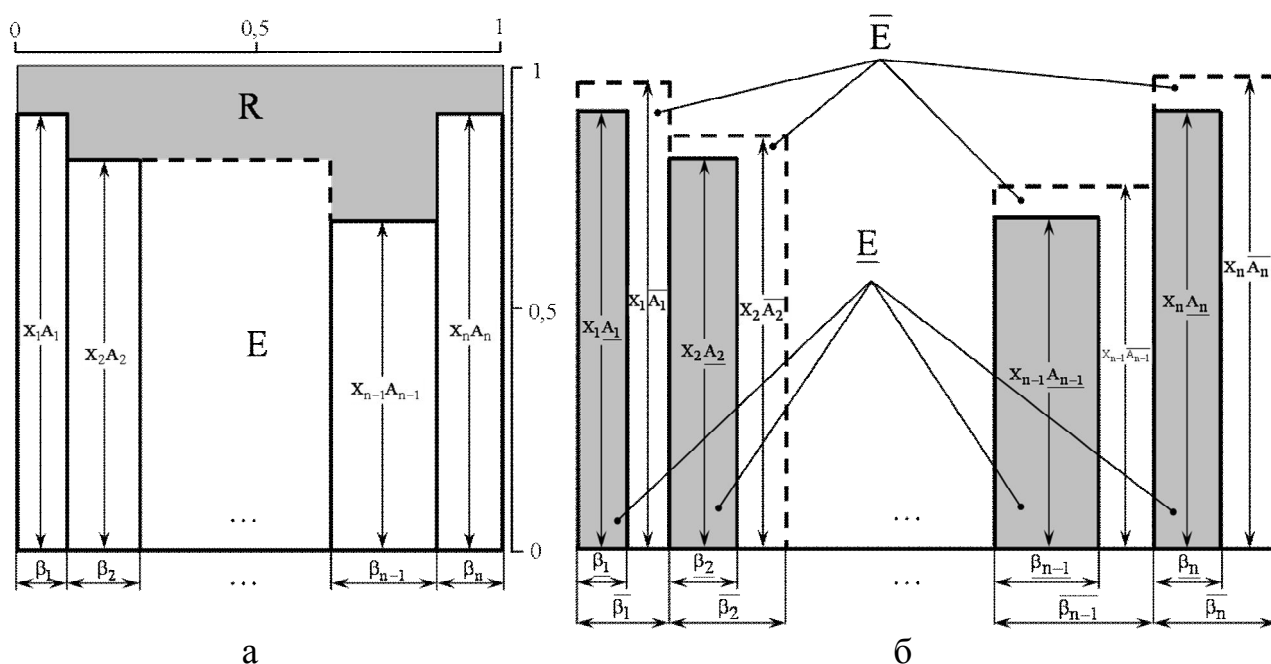


Рисунок 17 – Нормовані діаграми ефективності бізнес-процесів в організації: а – числова; б – інтервальна

При формуванні прогнозної матриці розривів як різниці еталонної матриці й матриці вигляду (35) можна використати прогнозні оцінки показників бізнес-процесів, отримані за допомогою запропонованих у третьому і четвертому розділах моделей і методів.

Таким чином, у шостому розділі вперше розроблено інформаційну технологію багаторівневого адаптивного оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем, яка на відміну від існуючих базується на сформованій множині розроблених методів прогнозування й комплексування прогнозних оцінок, що дає змогу забезпечувати якість прогнозів в умовах невизначеності даних, а також удосконалено метод оцінювання ефективності організаційно-технічної системи за допомогою матричного апарату для оцінювання ефективності ієрархічної системи бізнес-процесів, який здатний обробляти інтервальні експертні оцінки й визначати ефективність багаторівневих організаційно-технічних систем.

Основні результати цього розділу опубліковано у роботах [1–3, 5, 10, 11, 13–15, 17, 22, 27, 29, 50, 55, 56, 65, 67–69].

ВИСНОВКИ

Отримані під час дисертаційного дослідження результати в сукупності вирішують актуальну науково-прикладну проблему забезпечення якості прогнозування в організаційно-технічних системах шляхом створення інформаційної технології багаторівневого адаптивного оцінювання їхніх техніко-економічних показників в умовах невизначеності даних.

Основні результати дослідження:

1. Проведено огляд і аналіз існуючих моделей, методів та інформаційних технологій прогнозування техніко-економічних показників організаційно-технічних систем, а також гіпотез, припущень і обмежень, притаманних їм.

2. Розроблено модель адаптивного багаторівневого оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем в умовах невизначеності даних шляхом створення комплексу моделей, методів і відповідної інформаційної технології.

3. Розроблено метод параметричної ідентифікації моделі Брауна за результатами ретроспективного аналізу, який базується на аналізі конфігурації коренів ретроспективних рівнянь, а також метод параметричного налаштування однопараметричної прогнозу моделі Брауна, у якому враховується інтервальна невизначеність вихідних даних.

4. Розроблено комбіновані прогнозні моделі для часових рядів з критичним обсягом вибірки, а саме: модель планування обслуговування в організаційно-технічних системах, яка основана на аналізі інтервальної апроксимації часових рядів експлуатаційних показників, що дає змогу врахувати неповну визначеність характеристик експлуатаційних процесів, а також комбіновану прогнозу модель для прогнозування сезонних процесів в організаційно-технічних системах в умовах обмеженої вибірки даних з використанням частотних параметрів моделі SSA, що втричі зменшує похибку базових моделей.

5. Розроблено метод динамічного комплексування прогнозних оцінок, який ґрунтується на врахуванні тенденцій змін точності альтернативних джерел прогнозу, що дає можливість при формуванні консолідованого прогнозу забезпечити адаптивність до таких змін для коректного оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем та підвищити точність оцінювання порівняно до класичних методів.

6. Розроблено прикладну інформаційну технологію багаторівневого адаптивного оцінювання техніко-економічних показників організаційно-технічних систем, яка базується на сформованій множині розроблених методів прогнозування й комплексування прогнозних оцінок, що дає змогу забезпечувати якість прогнозів в умовах невизначеності даних.

7. Використання розроблених моделей та методів при вирішенні практичних завдань у діяльності підприємств і організацій дозволило підвищити якість результатів їхньої прогностичної діяльності, зокрема: скоротити час налаштування прогнозних моделей на 27% відносно діючих процедур; підвищити точність оцінювання динаміки техніко-економічних показників у середньому на 13% відносно традиційних методів прогнозування у межах вирішених завдань; гармонізувати систему оцінювання техніко-економічних показників шляхом систематизації діючих та розроблених методів у межах прикладної інформаційної технології відкритого типу; сформулювати передумови для підвищення точності оцінювання ризиків прийняття невірних рішень у процесі планування.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Моделирование динамических процессов по временным рядам [Текст] : моногр. / В. М. Вартамян, Ю. А. Романенков, Д. С. Ревенко, В. Ю. Кашеева. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2012. – 266 с.
2. Системи прийняття рішень в економіці та техніці: від теорії до практики [Текст] : кол. моногр. У 2т. Т2. / П. Д. Андрієнко, М. О. Багорка, В. М. Вартамян, Ю. О. Романенков [та ін.] ; за заг. ред. Л. М. Савчук. – Павлоград : АРТ Синтез–Т, 2014. – 429 с.
3. Дослідження та оптимізація економічних процесів [Текст] : кол. моногр. / С. І. Архієреєв, В. В. Бала, О. Б. Білоцерківський, Ю. О. Романенков [та ін.] ; за ред. О. В. Манойленка. – Харків : НТУ «ХП», 2014. – 517 с.
4. Моделювання процесів в економіці та управлінні проектами з використанням нових інформаційних технологій [Текст] : моногр. / С. В. Бабкін, В. В. Безкоровайний, Д. М. Бугас, Ю. О. Романенков [та ін.] ; за заг. ред. В. О. Тимофєєва, І. В. Чумаченка. – Х. : ХНУРЕ, 2015. – 245 с.
5. Соціально-економічний та технічний розвиток підприємств: проблеми, рішення, оцінка ефективності [Текст] : моногр. / М. В. Адаменко, В. М. Вартамян, Т. Г. Зейнієв, Ю. О. Романенков [та ін.] ; за заг. ред. Л. М. Савчук. – Дн. : Пороги, 2016. – 553 с.
6. *Romanenkov, Yu.* Analysis of the predictive properties of Brown's model in the extended domain of the internal parameter [Text] / Yu. Romanenkov // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2015. – Vol.17, No. 8. – P. 27–34.
7. *Romanenkov, Yu.* Formation of prognostic software support strategic decision-making in an organization [Text] / Yu. Romanenkov, V. Vartanian // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 2/9 (80). – С. 25–34.
8. *Romanenkov, Yu. A.* Технология параметрического синтеза модели Брауна по результатам ретроспективного анализа [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартамян // Проблемы информационных технологий. – 2016. – № 1 (019). – С. 7–17.
9. *Romanenkov, Yu. A.* Технология настройки прогнозной модели на основе ретроспективного анализа собственных фазовых траекторий [Текст] / Ю. А. Романенков // Вісник Національного технічного університету «ХП». Сер. Механіко-технологічні системи та комплекси: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «ХП». – Вип. 36 (1145). – Х., 2015. – С. 47–52.
10. *Romanenkov, Yu. O.* Завдання контуру стратегічного управління ефективністю бізнес-процесів в організації [Текст] / Ю. О. Романенков, Т. Г. Зейнієв // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2015. – № 3. – С 43–47.

11. Методические и инструментальные средства генерации стратегий развития наукоемких высокотехнологичных производств [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартамян, Ю. Л. Прончаков, Т. Г. Зейниев // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 4/2 (24). – С. 40–44.

12. Романенков, Ю. А. Параметрические критерии качества ретроспективных прогнозных оценок [Текст] / Ю. А. Романенков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «ХПІ». – Вип. 1 (1110). – Х., 2015. – С. 85–90.

13. Романенков, Ю. А. Матричный метод оценки уровня относительной эффективности иерархической системы бизнес-процессов в организации [Текст] / Ю. А. Романенков, Т. Г. Зейниев // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – 2014. – Т.6. – № 4. – С. 121–129.

14. Романенков, Ю. А. Оптимизационный механизм выбора стратегий повышения конкурентоспособности организации [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартамян, Т. Г. Зейниев // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2014. – № 4 (68). – С. 150–156.

15. Романенков, Ю. А. Прогностическое обеспечение упреждающего управления эффективностью бизнес-процессов в организации [Текст] / Ю. А. Романенков // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. / Харк. ун-т Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – Вип. 9 (125). – Х., 2014. – С. 193–198.

16. Романенков, Ю. А. Оптимизационная модель планирования сервисных мероприятий на инженерных объектах [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартамян // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. / Харк. ун-т Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – Вип. 1 (117). – Х., 2014. – С. 220–223.

17. Романенков, Ю. А. Интервальная оптимизационная модель распределения ресурсов в системе бизнес-процессов организации [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартамян, Т. Г. Зейниев // Математичне та комп'ютерне моделювання. Сер. Технічні науки : зб. наук. пр. / Ін-т кібернетики імені В. М. Глушкова Нац. академії наук України, Кам'янець-Подільського нац. ун-ту імені Івана Огієнка. – Вип. 13. – Кам'янець-Подільський : К-ПНУ, 2016. – С. 126–138.

18. Шостак, И. В. Информационная технология поддержки принятия экспертных решений в национальных Форсайт-исследованиях [Текст] / И. В. Шостак, М. А. Данова, Ю. А. Романенков // Комунальне господарство міст. Сер. Технічні науки та архітектура : зб. наук. пр. / Харк. нац. ун-т міського господарства ім. О. М. Бекетова. – Вип. 123. – Х., 2015. – С. 58–67.

19. Романенков, Ю. А. Метод параметрического синтеза модели Брауна на основе ретроспективной многокритериальной оптимизации [Текст] / Ю. А. Романенков, Т. Г. Зейниев // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Юрія Кондратюка. Сер. Галузеве маши-

нобудування, будівництво: зб. наук. пр. / Полтав. нац. техн. ун-т. – Вип. 2 (41). – Полтава, 2014. – С. 48–56.

20. Романенков, Ю. А. Параметрический анализ области адекватности адаптивной прогнозной модели Брауна [Текст] / Ю. А. Романенков // Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». Сер. Технічні науки: зб. наук. пр. / Південний філіал Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». – Вип. 162. – Сімферополь, 2014. – С. 228–236.

21. Романенков, Ю. А. Комплексование прогнозных оценок в системе мониторинга показателей состояния бизнес-процесса [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартамян, Д. С. Ревенко // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. / Полтав. нац. техн. ун-т. – № 2(30). – Полтава, 2014. – С. 79–86.

22. Оценка рисков при принятии хозяйственных решений на основе модифицированной матрицы БКГ [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартамян, В. А. Лыба, Т. В. Колесник // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 63. – Х., 2014. – С. 176–184.

23. Романенков, Ю. А. Система количественных оценок локализации корней интервальных полиномиальных моделей [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартамян, В. Ю. Кащеева // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 59. – Х., 2013. – С. 281–287.

24. Вартамян, В. М. Синтез интервальной линейной рекуррентной модели сверхдлинного временного ряда [Текст] / В. М. Вартамян, Ю. А. Романенков, В. Ю. Кащеева // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 52. – Х., 2011. – С. 56–68.

25. Вартамян, В. М. Оценка частотных параметров модели Тейла – Вейджа в задачах краткосрочного прогнозирования [Текст] / В. М. Вартамян, Ю. А. Романенков, В. Ю. Кащеева // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 1/5 (49). – С. 49–54.

26. Необходимые алгебраические условия адекватности полиномиальных интервальных моделей динамических процессов [Текст] / В. М. Вартамян, Ю. А. Романенков, Д. С. Ревенко, В. Ю. Кащеева // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 1/2 (43). – С. 54–57.

27. Параметрический синтез модели экспоненциального сглаживания для статистических рядов интервальных данных [Текст] / В. М. Вартамян, Ю. А. Романенков, В. Ю. Кащеева, Д. С. Ревенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 44. – Х., 2009. – С. 232–240.

28. Вартанян, В. М. Параметрический синтез прогнозной модели экспоненциального сглаживания [Текст] / В. М. Вартанян, Ю. А. Романенков, А. В. Кононенко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сер. Системный анализ, управление и информационные технологии : сб. науч. тр. / Нац. техн. ун-т «ХПИ». – Вып 59. – Х., 2005. – С. 9–16.

29. Алгебраические критерии локализации корней полинома в заданных областях комплексной плоскости [Текст] / В. М. Вартанян, Н. М. Федоренко, Ю. А. Романенков, И. В. Дронова, А. В. Кононенко // Авиационно-космическая техника и технология. – Вып. 3(19). – 2005. – С. 82–87.

30. Красников, В. Н. Комбинированный метод краткосрочного прогнозирования продаж средств сотовой связи [Текст] / В. Н. Красников, А. А. Никишов, Ю. А. Романенков // Економіка: проблеми теорії та практики: зб. наук. пр. / Дніпропетров. нац. ун-т. – Вып. 200. – Дп., 2005. – С. 62–67.

31. Вартанян, В. М. Анализ адекватности моделей прогнозирования экономических показателей предприятий [Текст] / В. М. Вартанян, Ю. А. Романенков, А. В. Кононенко // Бизнес Информ. – № 3–4. – Х., 2007. – С. 103–106.

32. Ревенко, Д. С. Статистическая оценка динамических процессов с неопределенными данными [Текст] / Д. С. Ревенко, В. М. Вартанян, Ю. А. Романенков // Економіка та управління підприємствами машинобудівної галузі: проблеми теорії та практики: зб. наук. пр. Нац. аерокосм. ун-та им. М. Є. Жуковського «ХАІ». – Вып. 4 (4). – Х., 2008. – С. 53–64.

33. Жуков, Н. Н. Системы моделирования социально-экономических систем на основе интервального представления данных [Текст] / Н. Н. Жуков, Ю. А. Романенков // Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Алушта, 12–16 сент. 2005 г. – Х., 2005. – С. 92–93.

34. Вартанян, В. М. Формирование математической модели прогноза с использованием экспоненциального сглаживания [Текст] / В. М. Вартанян, Ю. А. Романенков, А. В. Кононенко // Развитие научных исследований 2005: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Полтава, 7–9 ноября 2005 г. – Полтава, 2005., Т. 9. – С. 33–35.

35. Вартанян, В. М. Удосконалення методів прогнозування економічних показників комерційної діяльності [Текст] / В. М. Вартанян, Ю. О. Романенков // Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Алушта, 11–15 сент. 2006 г. – Х., 2006. – С. 22.

36. Жуков, Н. Н. Использование прогнозной модели экспоненциального сглаживания для анализа временных рядов интервальных данных [Текст] / Н. Н. Жуков, А. В. Кононенко, Ю. А. Романенков // Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Алушта, 10–14 сент.

2007 г. – X., 2007. – С. 35–36.

37. Вартанян, В. М. Постановка задачи параметрического синтеза интервальной прогнозной модели экспоненциального сглаживания [Текст] / В. М. Вартанян, Н. Н. Жуков, Ю. А. Романенков // Актуальные проблемы управления бизнесом, предприятиями и проектами: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., Алушта, 15–21 сент. 2008 г. – X., 2008. – С. 29.

38. Кащеева, В. Ю. Обзор методов прогнозирования показателей бизнес-процессов по временным рядам [Текст] / В. Ю. Кащеева, В. М. Вартанян, Ю. А. Романенков // Стратегії інноваційного розвитку економіки: бізнес, наука, освіта: матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 07–10 квіт. 2010 р. – X., 2010. – С. 361–364.

39. Вартанян, В. М. Оценка устойчивости и надежности прогнозирования методом SSA по косвенным критериям расположения корней характеристического уравнения [Текст] / В. М. Вартанян, Ю. А. Романенков, В. Ю. Кащеева // Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем: матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 8–9 квіт. 2010 р. – X., 2010. – С. 123–125.

40. Вартанян, В. М. Анализ робастности прогнозных оценок методом SSA на основе интервальных полиномов Харитоновна [Текст] / В. М. Вартанян, Ю. А. Романенков, В. Ю. Кащеева // Информационные процессы и технологии «Информатика – 2010»: материалы III Всеукр. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов, Севастополь, 26–30 апр. 2010 г. – Севастополь, 2010. – С. 20–22.

41. Кащеева, В. Ю. Структурный и параметрический синтез прогнозных моделей динамических процессов методом «Гусеница-SSA» [Текст] / В. Ю. Кащеева, Ю. А. Романенков // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали XII Міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 25–29 трав. 2010 р. – К., 2010. – С. 254.

42. Романенков, Ю. А. Алгебраические условия адекватности полиномиальных интервальных моделей динамических процессов [Текст] / Ю. А. Романенков, В. Ю. Кащеева // Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., Алушта, 20–26 сент. 2010 г. – X., 2010. – С. 171.

43. Кащеева, В. Ю. Оценка параметров моделей экспоненциального сглаживания в задачах краткосрочного прогнозирования [Текст] / В. Ю. Кащеева, Ю. А. Романенков, В. М. Вартанян // Системний аналіз. Інформатика. Управління: матеріали II Всеукр. наук.-практ. конф., Запоріжжя, 10–11 берез. 2011 р. – Запоріжжя, 2011. – С. 96–98.

44. Вартанян, В. М. Особенности применения инструментальных средств сингулярного анализа длинных временных рядов [Текст] / В. М. Вартанян, Ю. А. Романенков, В. Ю. Кащеева // Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 7–9 квіт.

2011 р. – X., 2011. – С. 24–27.

45. Вартамян, В. М. Вычислительные особенности анализа сверхдлинных временных рядов методом «Гусеница-SSA» [Текст] / В. М. Вартамян, Ю. А. Романенков // Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Алушта, 12–18 сент. 2011 г. – X., 2011. – С. 19.

46. Вартамян, В. М. Интервальная аппроксимация характеристик модели динамического процесса по его фрагментам [Текст] / В. М. Вартамян, Ю. А. Романенков, В. Ю. Кащеева // Системний аналіз. Інформатика. Управління: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф., Запоріжжя, 14–16 берез. 2012 р. – Запоріжжя, 2012. – С. 49–51.

47. Романенков, Ю. А. Моделирование временных рядов в условиях неопределенности по корневым портретам фрагментов [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартамян, В. Ю. Кащеева // Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами: материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Алушта, 10–16 сент. 2012 г. – X., 2012. – С. 244.

48. Романенков, Ю. А. Вычислительная модификация метода интервального дискриминанта [Текст] / Ю. А. Романенков // Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Рыбачье, 9–13 сент. 2013 г. – X., 2013. – С. 160–161.

49. Романенков, Ю. А. Параметрическая оптимизация прогнозной модели Брауна [Текст] / Ю. А. Романенков // Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., Харьков, 8–12 сент. 2014 г. – X., 2014. – С. 97–99.

50. Романенков, Ю. А. Модель стратегического управления эффективностью бизнес-процессов организации [Текст] / Ю. А. Романенков, Т. Г. Зейниев, Л. С. Зейда // Информационные системы и технологии: материалы III Международ. науч.-техн. конф., Харьков, 15–21 сент. 2014 г. – X., 2014. – С. 75–76.

51. Романенков, Ю. А. Метод динамического комплексирования прогнозных оценок [Текст] / Ю. А. Романенков // Математическое моделирование процессов в экономике и управлении инновационными проектами: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Коблево, 16–21 сент. 2014 г. – X., 2014. – С. 160–162.

52. Романенков, Ю. О. Структурна модель інтелектуального прогнозного комплексу в ланцюзі управління соціально-економічною системою [Текст] / Ю. О. Романенков // Національні моделі економічних систем: формування, управління, трансформації: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Херсон, 10–11 жовт. 2014 р. – Ч.2. – Херсон, 2014. – С. 151–153.

53. Зейниев Т. Г. Постановка задачи синтеза оптимальных робастных прогнозных оценок в модели экспоненциального сглаживания [Текст] / Т. Г. Зейниев, Ю. А. Романенков // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні: тези доп. Всеукр. наук.-техн. конф., Харків, 25–28 листоп. 2014 р. – Т.3. – Х., 2014. – С. 4.

54. Romanenkov, Yu. A. Forecast properties analysis of Braun's model in extended area of inner parameter [Текст] / Yu. A. Romanenkov, V. M. Vartanyan // Проблеми і перспективи розвитку підприємництва: матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 21 листоп. 2014 р. – Х., 2014. – С. 90–91.

55. Романенков, Ю. О. Графоаналітична модель ефективності бізнес-процесів організації [Текст] / Ю. О. Романенков, В. М. Вартанян, Т. Г. Зейнієв // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: матеріали XII Міжнар. наук.-практ. конф., Дніпропетровськ, 19–21 листоп. 2014 р. – Дн., 2014. – С. 202–203.

56. Романенков, Ю. А. Комплексная оценка уровня относительной эффективности бизнес-процессов в организации [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартанян, Т. Г. Зейниев // Дослідження та оптимізація економічних процесів «Оптимум-2014»: матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 2–4 груд. 2014 р. – Х., 2014. – С. 299–302.

57. Романенков, Ю. А. Параметрические диаграммы настройки прогнозных моделей [Текст] / Ю. А. Романенков // Проблеми інформатизації: матеріали IV Міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 9–10 квіт. 2015 р. – К., 2015. – С. 46.

58. Романенков, Ю. А. Параметрический синтез прогнозной модели Брауна на основе фазовых портретов временных рядов [Текст] / Ю. А. Романенков // Інформаційні та моделюючі технології: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., Черкаси, 28–30 трав. 2015 р. – Черкаси, 2015. – С. 54.

59. Романенков, Ю. А. Применение методического аппарата нелинейной динамики в задачах параметрического синтеза прогнозных моделей [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартанян // Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., Одесса, 14–18 сент. 2015 г. – Х., 2015. – С. 135.

60. Романенков, Ю. А. Метод настройки однопараметрических прогнозных моделей на основе анализа фазовых траекторий внутреннего параметра [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартанян // Математическое моделирование процессов в экономике и управлении проектами и программами: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Коблево, 14–20 сент. 2015 г. – Х., 2015. – С. 174–176.

61. Романенков, Ю. А. Метод параметрического синтеза прогнозной модели Брауна на основе анализа ретроспективного фазового портрета внутреннего параметра [Текст] / Ю. А. Романенков // Информационные технологии и сис-

темы: материалы Междунар. науч. конф., Минск, 28 окт. 2015. – Минск, 2015. – С. 126–127.

62. *Романенков, Ю. А.* Комплексирование прогнозных оценок для поддержки принятия экспертных решений в рамках методологии Форсайт [Текст] / Ю. А. Романенков // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні: матеріали Всеукр. наук.-техн. конф., Харків, 24–27 листоп. 2015 р. – Т.3. – Х., 2015. – С. 129.

63. *Романенков, Ю. А.* Анализ прогнозных свойств модели Брауна в расширенной области внутреннего параметра [Текст] / Ю. А. Романенков // Управление информационными ресурсами: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 11 дек. 2015 г. – Минск, 2015. – С. 278–279.

64. *Романенков, Ю. А.* Многоуровневое прогностическое обеспечение систем поддержки принятия решений [Текст] / Ю. А. Романенков // Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., Дніпропетровськ, 29–31 берез. 2016 р. – Дн., 2016. – С. 66.

65. *Романенков, Ю. О.* Графоаналітичний засіб інтервального оцінювання ефективності бізнес-процесів організації [Текст] / Ю. О. Романенков, В. М. Вартамян, Т. Г. Зейнієв // Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації : матеріали VII Міжнар. наук. конф., Кам'янець-Подільський, 21–22 квіт. 2016 р. – Кам'янець-Подільський, 2016. – С. 189–190.

66. *Романенков, Ю. А.* Четырехуровневая модель прогностического обеспечения поддержки принятия стратегических решений [Текст] / Ю. А. Романенков, В. М. Вартамян // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф., Чернігів, 26–29 квіт. 2016 р. – Чернігів, 2016. – С. 326–327.

67. *Романенков, Ю. О.* Модель інтервального оцінювання ефективності системи бізнес-процесів організації [Текст] / Ю. О. Романенков, В. М. Вартамян, Т. Г. Зейнієв // Інформаційні технології в освіті, науці і техніці: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф., Черкаси, 12–14 травня 2016 р. – Черкаси, 2016. – С. 112–113.

68. А. с. 58201 Україна. Комп'ютерна програма «Короткострокове прогнозування макроекономічних процесів в умовах інтервальної невизначеності» / Д. С. Ревенко, В. М. Вартамян, Ю. О. Романенков, А. В. Артёмова (Україна). – № 58201 від 21.01.2015; заявл. 21.11.2014 № 58603.

69. А. с. 58202 Україна. Комп'ютерна програма «Оцінка відносного рівня ефективності ієрархічної системи бізнес-процесів організації матричним методом» / Ю. О. Романенков, В. М. Вартамян, Д. С. Ревенко, Т. Г. Зейнієв (Україна). – № 58202 від 21.01.2015; заявл. 21.11.2014 № 58604.

70. А. с. 58203 Україна. Комп'ютерна програма «Динамічне комплексування прогнозних оцінок в системі управління виробничо-економічними процесами на підприємстві» / Ю. О. Романенков, В. М. Вартамян, Д. С. Ревенко (Україна). – № 58203 від 21.01.2015; заявл. 21.11.2014 № 58605.

АНОТАЦІЯ

Романенков Ю. О. Наукові основи та інформаційна технологія адаптивного прогнозування техніко-економічних показників організаційно-технічних систем в умовах невизначеності даних. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» МОН України, Харків, 2016.

Метою дослідження є забезпечення якості прогнозування в організаційно-технічних системах. Розроблено методи параметричної ідентифікації прогнозної моделі експоненціального згладжування в умовах невизначеності даних, комбіновані прогнозні моделі для часових рядів з критичним обсягом вибірки, а також адаптивний метод комплексування прогнозних оцінок для консолідованих прогнозів техніко-економічних показників організаційно-технічних систем. Створено прикладну інформаційну технологію, елементи якої впроваджено в практику оцінювання техніко-економічних показників компаній і організацій.

Ключові слова: підтримка управлінських рішень, експоненціальне згладжування, часовий ряд, комплексування прогнозних оцінок, інтервальна форма даних.

АННОТАЦИЯ

Романенков Ю. А. Научные основы и информационная технология адаптивного прогнозирования технико-экономических показателей организационно-технических систем в условиях неопределенности данных. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» МОН Украины, Харьков, 2016.

В диссертации решается актуальная научно-прикладная проблема обеспечения качества прогноза технико-экономических показателей в организационно-технических системах, которая заключается в разрешении объективного противоречия между многообразием моделей и методов прогнозирования и отсутствием информационной технологии для адаптации и настройки их на исследуемую организационно-техническую систему.

Объектом исследования является процесс прогнозирования технико-экономических показателей организационно-технических систем, предметом – модели и методы информационной технологии адаптивного прогнозирования технико-экономических показателей организационно-технических систем.

В основу методологии исследования положены принципы системного анализа, методы математической статистики, интервального анализа, теории управления, корреляционного, регрессионного и сингулярного анализа, методы экспоненциального сглаживания.

Разработана информационная технология многоуровневого адаптивного оценивания технико-экономических показателей организационно-технических систем, которая в отличие от существующих базируется на сформированном множестве разработанных методов прогнозирования и комплексирования прогнозных оценок, что позволяет обеспечивать качество прогнозов в условиях неопределенности данных.

Предложен метод параметрической идентификации модели Брауна по результатам ретроспективного анализа, который в отличие от известных основан на анализе конфигурации корней ретроспективных уравнений, что позволяет аналитически определять параметры настройки модели, обеспечивающие точность прогнозных оценок.

Для настройки однопараметрической прогнозной модели Брауна в условиях интервальной неопределенности исходных статистических данных предложен метод структурно-параметрического синтеза, в котором учитываются особенности используемого типа исходных данных, что позволяет обеспечить адекватность прогнозной модели и расширить границы ее применения.

Для прогнозирования сезонных процессов в организационно-технических системах в условиях ограниченной выборки данных разработана комбинированная прогнозная модель на основе модели Тейла – Вейджа с использованием частотных параметров модели SSA, которая позволяет обеспечить качество прогноза в условиях малой статистической выборки.

Для генерации консолидированных прогнозов разработан метод динамического комплексирования прогнозных оценок, который в отличие от существующих основан на учете тенденций изменений точности оценок из альтернативных источников прогноза, что позволяет при формировании консолидированного прогноза обеспечить адаптивность к таким изменениям для корректного оценивания технико-экономических показателей организационно-технических систем.

Усовершенствован метод оценивания эффективности организационно-технической системы с помощью матричного аппарата для оценивания эффективности иерархической системы бизнес-процессов, способного обрабатывать интервальные экспертные оценки и определять эффективность многоуровневых организационно-технических систем.

Предложена модель планирования обслуживания в организационно-технических системах, которая основана на анализе интервальной аппроксимации временных рядов эксплуатационных показателей, что позволяет учесть неполную определенность характеристик эксплуатационных процессов и обеспе-

чить оперативность планирования сервисных мероприятий;

В результате получила дальнейшее развитие методология прогнозирования динамики сложных организационно-технических объектов и систем в направлении многоуровневого адаптивного оценивания их технико-экономических показателей в условиях неопределенности данных путем разработки комплекса моделей, методов и соответствующей информационной технологии;

Результаты исследования внедрены в деятельность таких отечественных и зарубежных предприятий и организаций: ГП «Антонов», авиакомпания «Aerovista», «Волга-Днепр», «Silk Way Airlines», Научно-исследовательский центр индустриальных проблем развития НАН Украины, ПАО «Волчанский агрегатный завод», ГП «Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения», компания «SIGMA Software», а также в учебный процесс на кафедре экономики и маркетинга Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» при проведении лабораторных работ, научно-практических семинаров, в ходе выполнения курсовых и дипломных работ.

Ключевые слова: поддержка управленческих решений, экспоненциальное сглаживание, временной ряд, комплексирование прогнозных оценок, интервальная форма данных.

ABSTRACT

Romanenkov Yu. A. Scientific bases and information technology for adaptive forecast of technical and economic indicators of organizational and technical systems in the data uncertainty conditions. – Manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Engineering Sciences on the speciality 05.13.06 – Information Technologies. – National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute of Department of education and science of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The aim of research is to ensure the quality of forecasting in organizational and technical systems. The methods of parametric identification of the forecast model of exponential smoothing in the data uncertainty conditions, combined forecast models for time series with a critical sample size, as well as the adaptive integration method of forecast estimations for consolidated forecasts of technical and economic indicators of organizational and technical systems are developed. Applied information technology, which elements are put into practice of assessment of technical and economic indicators of enterprises and organizations, is created.

Keywords: decision support, exponential smoothing, time series, aggregation of predictive estimates, interval data form.

коректор А. М. Ємленінова

Відповідальний за випуск С. Ю. Даншина

Підписано до друку 11.01.2017

Ум. друк. арк. 1,0. Замовлення

Наклад 100 пр. Безкоштовно

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>
Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu