

УДК 656.7(045)

С.М. Подреза, канд. екон. наук

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ АВІАРЕМОНТНИХ ПОСЛУГ

Інститут економіки та менеджменту НАУ, e-mail: eco@nau.edu.ua

*Розглянуто задачі планування та методи прогнозування обсягів авіаремонтного виробництва в умовах ринкової економіки.***Вступ**

Авіаремонтні заводи є базовими підприємствами технологічної системи цивільної авіації з ремонту повітряних суден (ПС) і авіаційних двигунів, робота яких тісно пов'язана з діяльністю цивільної авіації в цілому. Економічна ефективність авіаремонтного виробництва сприяє підвищенню ефективності і рентабельності повітряних перевезень.

Техніко-економічний розвиток ремонтних підприємств залежить не тільки від результатів їх виробничої діяльності, але і від потреби та можливостей замовників – транспортних підприємств цивільної авіації.

Авіаційна промисловість поставляє повітряному транспорту авіаційну техніку (АТ) з відносно великим технічним ресурсом, але гарантує її роботу до першого капітального ремонту тільки приблизно на 20 % від технічного ресурсу. Ресурс, який залишився, АТ відпрацьовує після заводських ремонтів, що забезпечує гарантію її справності на рівні 80 %.

Перехід до ринкової економіки, розпад єдиної системи цивільної авіації колишнього СРСР на самостійні авіапідприємства, розвиток міжнародних авіаперевезень поклали початок формуванню ринку авіаремонтних послуг в Україні і країнах СНД. Визначення характеристик цього ринку, аналіз і прогноз його розвитку дозволить розробити стратегію планування і реформування системи авіаремонтних послуг, адекватних новим умовам функціонування авіаремонтних підприємств.

Задачі планування авіаремонтного виробництва

Планування є об'єктивно необхідною, невід'ємною частиною регулювання ринкової економіки, відповідає насущним потребам як виробників, так і споживачів. Сутність системи планування можна охарактеризувати за допомогою чотирьох головних аспектів:

- внесок планування в досягнення поставлених цілей і задач;
- провідна роль планування;
- повсюдність планування;
- ефективність планів.

Через високу нестабільність економіки для успішної діяльності підприємство повинне адекватно відповідати умовам, які постійно змінюються, а його система планування повинна не створювати строго зафіксований план, а взаємно узгоджувати задачі, ресурси, шляхи розвитку, методи досягнення поставлених цілей і можливості підприємства, що відкриваються перед ним на ринку.

Планування в умовах ринку докорінно відрізняється від директивної системи планування.

По-перше, планування виступає не обов'язковим, а внутрішньонеобхідним інструментом керування господарством, що доповнює інші елементи ринкової економіки.

Відповідно до цього відсутня необхідність у наскрізній системі планування, що поєднує всі рівні національної економіки в єдину жорстко задану систему. Кожен рівень економіки має свою систему планування, обумовлену сферою впливу і відповідальності відповідного органа керування. Три блоки планування (підприємство, територія і країна в цілому) тісно пов'язані між собою через визначені параметри функціонування, однак не носять одне для іншого директивного характеру.

По-друге, головною й основною ланкою планування стає підприємство, причому роль його підвищується і набуває нового якісного змісту. Особливо необхідно відзначити нову для наших умов філософію планування, коли підприємство розглядається як відкрита система, залежна від зовнішнього середовища: споживачів, конкурентів, суспільних і державних інститутів. Планування діяльності підприємства здійснюється самостійно.

Можна виділити такі основні вимоги до системи планування в умовах ринкової економіки.

1. Планування повинне бути орієнтоване на споживача, тобто на своєчасне і точне за кількістю і якістю задоволення попиту на ремонт і технічне обслуговування, що дозволяє ефективно функціонувати авіаремонтному підприємству в умовах ринку й існуючої конкуренції.

Тому планування спрямоване на певний рівень ефективності виробництва і передбачає комплекс заходів, що сприяють досягненню поставлених цілей.

2. Система планування повинна враховувати велику невизначеність діяльності підприємств, що властива ринковій економіці. Планування пов'язане з вибором деякого курсу дій із сукупності можливих альтернатив, які повинні носити реальний характер, тобто базуватися на відомих або прогнозованих даних і тенденціях. Особлива увага повинна приділятися фактору конкуренції, оскільки його можна віднести до розряду найважливіших за ступенем формування політики підприємства. Оскільки вихідні дані мають імовірний характер, одержуваний прогноз є не фіксованим планом, а гнучкою програмою дій, для чого розробляється як мінімум у трьох варіантах: песимістичному, реалістичному і оптимістичному.

3. Планування повинне носити системний характер, тобто охоплювати всі сторони функціонування економічної системи і збалансовувати діяльність її складових.

4. Процес планування повинен бути безперервним у часі, оскільки підприємства існують і діють у постійно мінливому навколишньому середовищі. Система планування призначається не стільки для створення формально плану, скільки для взаємозв'язку цілей підприємства, ресурсів, що є в його розпорядженні, і можливостей, які вже існують або відкриваються перед ним на ринку.

5. При плануванні в умовах ринкової економіки повинні бути виділені пріоритетні напрями через обмеженість ресурсів, що знаходяться в розпорядженні підприємства. Процес планування пов'язаний з формуванням подій сьогодення і у майбутньому шляхом розміщення ресурсів у просторі і часі. Це означає, що повинен бути знайдений компроміс між найкращими рішеннями з погляду короткострокових і довгострокових перспектив. Визначення того, які саме повітряні судна й авіаційні двигуни в якому обсязі і з якою часткою прибутку можуть ремонтуватися, в якому напрямку повинно розвиватися авіаремонтне підприємство, здійснюється не за задалегідь заданим вище організацією планом, а відповідно до ринкової кон'юнктури, тобто запитів на авіаремонтні послуги з боку своїх та іноземних авіакомпаній. Виявлення цих запитів є однією з найважливіших функцій планування.

6. В умовах ринкової економіки змінюється сама система планованих показників функціонування підприємства: зростає роль показників, прибутку, витрат на виробництво, строку окупності; з'являються нові показники – норма прибутку на весь капітал або обсяг продажу, готівка (вільні кошти, межа чистого доходу, ліквідність). Замість звичайних показників валової продукції, товарної і реалізованої продукції застосовується

показник обсягу продажу. Нові показники вимагають нових розробок методик розрахунку і перебудови статистичної бази даних, нової психології мислення у працівників економічних служб і керівників підприємства.

Структура ринку авіаремонтних послуг, його межі та прогноз розвитку визначаються технологією виробництва та попитом на продукцію, тобто базуються на аналізі галузі й конкуренції всередині неї. На рис. 1 наведено структуру основних задач, які треба вирішити для планування обсягів авіаремонтного виробництва.

Для прогнозування обсягів авіаремонтних послуг необхідним є попередній прогноз на авіатранспортні перевезення з урахуванням структури відправлень за дальністю та типами ПС, що, в свою чергу, базується на прогнозі попиту населення на авіатранспортні перевезення, авіатранспортної діяльності і розвитку самих авіакомпаній. При цьому треба враховувати зовнішні аспекти, пов'язані з питаннями державної підтримки літакобудівної галузі, вводу в експлуатацію нових типів літаків (Ан-140, Ту-334-100, Ан-38-100, Ан-74ТК, Ан-148), взаємодії певних вітчизняних авіакомпаній з іноземними партнерами, інвесторами, замовниками, конкуренції з боку іноземних компаній. У той самий час достатньо велику частину ринку авіаремонтних послуг для літаків українського виробництва надають ремонтним заводам іноземні авіакомпанії.

Методи і системи прогнозування авіаремонтних послуг

За оцінками вітчизняних і зарубіжних систематиків прогнозування в даний час нараховується понад 150 методів прогнозування. За ступенем формалізації їх можна розділити на інтуїтивні (експертні) і формалізовані (фактографічні). Інтуїтивні методи прогнозування можна також розділити на групи індивідуальних і колективних експертних оцінок. До групи індивідуальних експертних оцінок включені метод інтерв'ю, аналітичні доповідні записки, написання сценарію, до групи колективних оцінок – анкетування, методи комісій, “мозкових” атак (колективної генерації ідей). Формалізовані методи також поділяють на методи екстраполяції, системно-структурні, асоціативні методи і методи випереджальної інформації. До методів екстраполяції можна включити методи найменших квадратів (МНК), експоненціального згладжування, ймовірного моделювання й адаптивного згладжування, до системно-структурних методів – методи функціонально-ієрархічного моделювання, морфологічного аналізу, матричний, сільового моделювання, структурної аналогії.

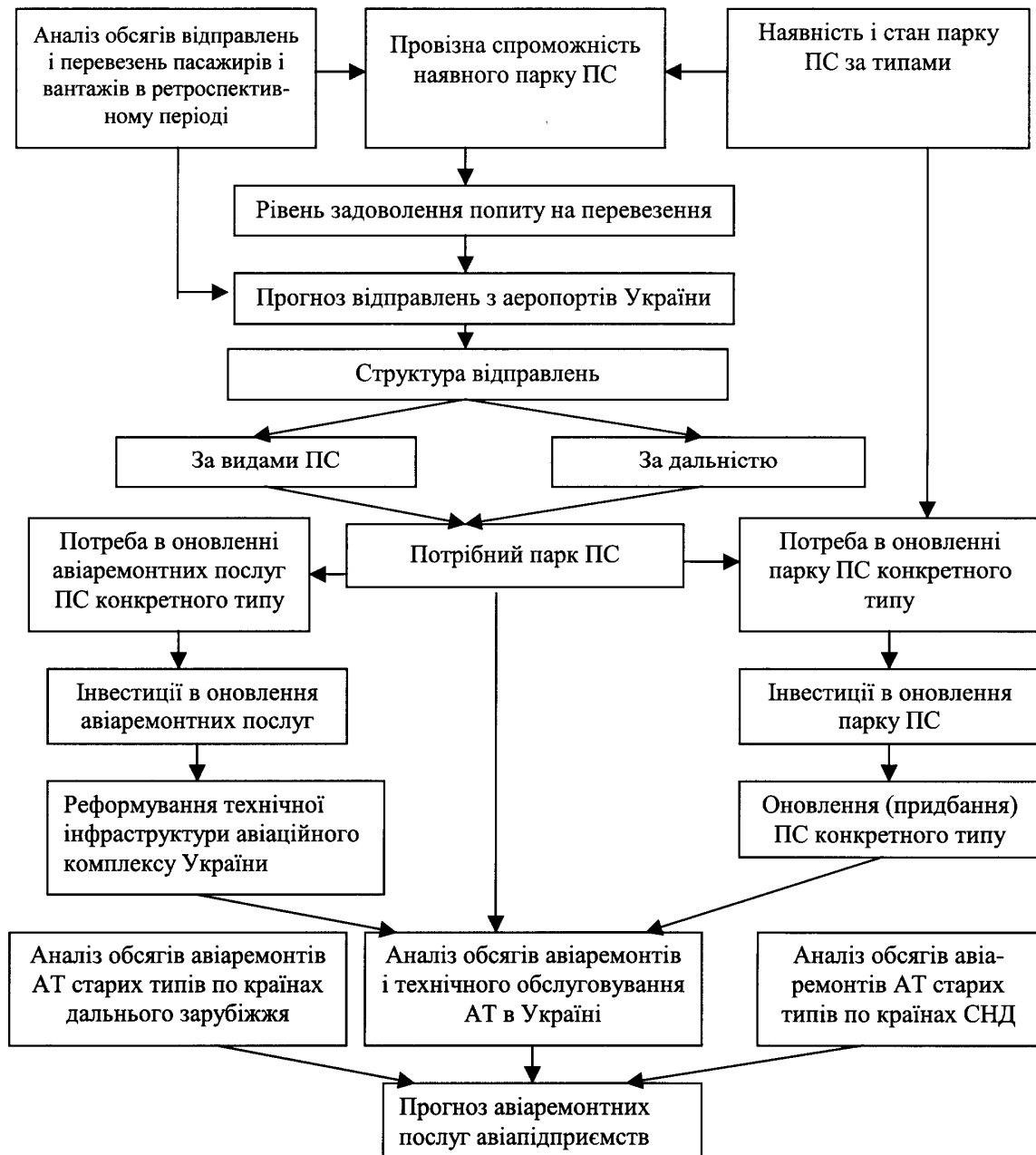


Рис. 1. Планування обсягів авіаремонтних послуг

Асоціативні методи можна розділити на методи імітаційного моделювання й історико-логічного аналізу.

До методів випереджальної інформації можна включити методи аналізу потоків публікацій, оцінки значимості винаходів і аналізу патентної інформації.

Формалізовані методи прогнозування вважаються діючими, якщо глибина прогнозу укладається в рамки еволюційного циклу. При виникненні в межах прогнозного періоду "стрибка" у розвитку об'єкта прогнозування необхідно використовувати інтуїтивні методи як для визначення величини стрибка, так і для оцінки часу його

здійснення. У цьому випадку формалізовані методи застосовуються для оцінки еволюційних ділянок розвитку до і після стрибка.

Організація розробки прогнозів з великих проблем має, як правило, три стадії: ретроспекцію, діагноз і проспекцію.

На стадії ретроспекції задачі формування опису об'єкта прогнозу в минулому і остаточного формування й уточнення прогнозування вирішуються за три етапи:

1) на етапі прогнозного аналізу об'єкта уточнюється перелік характеристик і параметрів об'єкта, оцінюються попередньо їхня важливість і взаємні зв'язки;

2) на підставі передпрогнозного аналізу і завдання на прогноз визначаються й оцінюються джерела інформації, порядок і організація роботи з ними, остаточно формується постановка задачі;

3) відповідно до встановленого порядку здійснюється збирання ретроспективної інформації і розміщення її на ПЕОМ у форматі системи прогнозування.

На стадії діагнозу задачі розробки моделі об'єкта прогнозу і вибору методу прогнозування вирішуються за чотири етапи:

1) на підставі прийнятої структури об'єкта й отриманої ретроспективної інформації розробляється формалізований опис об'єкта, що часто зводиться до математичної моделі об'єкта;

2) на підставі джерел інформації визначаються поточні значення характеристик об'єкта, перевіряється ступінь адекватності моделі об'єкта прогнозу;

3) здійснюється вибір методу прогнозування, адекватного класифікації об'єкта, характеру його розвитку і задачі прогнозу;

4) відповідно до сценарію розробляється алгоритм і робочі програми прогнозування і їхнє налагодження.

На стадії проспекції задачі одержання результатів прогнозу вирішуються за три етапи:

1) на заданому періоді випередження проводиться розрахунок прогнозованих параметрів;

2) відповідно до прийнятих правил, здійснюється стикування і синтез окремих прогнозів;

3) виконується верифікація прогнозу і встановлення ступеня його точності.

Такі етапи розробки прогнозів звичайно характерні при використанні методів прогнозування, заснованих на математичному моделюванні об'єктів. У випадку експертних методів прогнозування обсягів авіаремонтних послуг склад і зміст етапів можуть змінюватися.

Складність сучасних технічних і економічних систем обумовила широке використання комплексних систем прогнозування (КСП).

Для прогнозування розвитку досліджуваного об'єкта залучаються різні методи. Так, використання методів екстраполяції дає можливість оцінити динаміку визначених показників об'єкта на перспективу за умови незмінності впливу на об'єкт зовнішніх факторів. Застосування евристичних методів на основі експертних оцінок дозволяє одержати оцінки динаміки в умовах можливої якісної зміни процесів. Але оцінювана вірогідність результатів у цьому випадку свідомо нижче. У КСП можливо об'єднання прогнозних результатів, синтез прогнозних оцінок з метою одержання комбінованого прогнозу. Сполучення методів прогнозування обсягів авіаремонтних

послуг використовується не тільки для одержання прогнозних результатів у рамках однієї оцінки, але і для знаходження альтернативних (паралельних) оцінок розвитку об'єкта різними методами. При цьому виникають задачі встановлення області, усередині якої прогнозні результати, отримані за допомогою різних методів, можуть вважатися погодженими, і встановлення такого співвідношення між прогнозними результатами, що найбільше адекватно відбивало б їхній зв'язок з найбільш імовірним результатом прогнозування. При реалізації комбінованого прогнозу необхідно проводити статистичний чи логічний аналіз з погляду їх суперечливості і можливості спільного використання. Якщо ця умова виконана, то синтез прогнозів буде полягати у визначенні середньозважених оцінок прогнозів, отриманих різними методами з урахуванням їх вірогідності. При цьому чим менше достовірний результат, тим менше його вага і внесок в остаточний прогноз.

Одержуючи будь-який прогноз, важливо знати його точність, тобто провести верифікацію прогнозу. Якщо для оцінки точності апроксимації існують цілком надійні критерії (середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт кореляції, кореляційне відношення, критерії Фішера і Стьюдента, критерії регуляризації), то для прогнозних оцінок більш правомірні інші критерії, види верифікації (пряма, непряма, інверсна, консеквентна верифікації, верифікації повторним опитуванням, опонентом, урахуванням помилок, компетентним експертом). Тут застосовуються процедури, засновані, зокрема, на теорії навчання машин, що використовують навчальну і перевірку вибірки.

У такий спосіб рішення задач довгострокового прогнозування в рамках КСП будується на системному аналізі і припускає використання всього складу як інтуїтивних, так і фактографічних методів, котрі доповнюють один одного і надають додаткову інформацію. Прогноз будується на основі динамічної моделі об'єкта з урахуванням усіляких внутрішніх і зовнішніх зв'язків за активною участю фахівців (експертів) необхідних галузей знань.

Для довгострокового прогнозування економічних і технічних процесів можна використовувати такі методи екстраполяції, як метод обвідної кривої, метод покрокової регресії, метод селекції моделей, метод групового врахування аргументів [1]. У методі обвідної кривої враховуються скачкоподібні зміни процесу, що чергуються з його монотонними ділянками. Методами екстраполяції можна описувати ці дві складові

процесів спільно. Методи покрової регресії, селекції моделей і метод групового урахування аргументів дозволяють не тільки визначати коефіцієнти апроксимуючих рівнянь моделей процесів, але і формувати структуру моделі шляхом підбору опорних (координатних) функцій, що найбільш точно описують процеси на основі критеріїв селекції (добору). Так, для короткострокового прогнозу як критерії селекції використовуються критерії регулярності, що визначаються за точками перевіркою послідовності, які не беруть участь в одержанні оцінок коефіцієнтів. Для середньострокових прогнозів для цих цілей використовуються критерії незсуненості, а для довгострокового прогнозу – критерій балансу змінних, тобто мінімізації суми квадратів непогодженостей самих значень проміжних змінних та їхніх модельних (розрахункових) значень.

Методи експертного аналізу

Система експертного прогнозування включає задачі формування і ведення баз даних експертів, прогнозних експертних оцінок, що необхідні під час проведення експертного аналізу, а також модулі математичної обробки результатів експертизи різноманітними методами.

База даних експертів включає дані про експертів і напрями їхньої діяльності, а її система обробки дозволяє вирішувати задачі пошуку і добору експертів для прогнозування за їхньою тематичною спрямованістю. База даних прогнозних експертних оцінок забезпечує формування, контроль і збереження оцінок експертів у вигляді, зручному для наступного аналізу. Система обробки експертних оцінок проектів забезпечує пошук, добір і обробку експертних оцінок за різноманітними методиками, сортування прогнозів за рангами, допомогу у прийнятті рішень при виборі кращих прогнозів, розподілі заданих ресурсів, а також формуванні поправок в оцінках експертів, що знижують рівень їхніх систематичних помилок, а також визначення коефіцієнтів компетентності експертів [2].

Як оцінки при прогнозуванні використовуються абсолютні, нормовані за вагами, по експертах, рангові, багатокритеріальні і комплексні оцінки критеріїв, на базі яких можна побудувати статистично виправдані, зважені прогнози.

Абсолютні оцінки розраховуються на підставі оцінок, проставлених експертами, з кожного критерію без урахування вагових коефіцієнтів або, що те ж саме, при рівності вагових коефіцієнтів. Абсолютні оцінки прогнозів можуть бути усередненими по експертах і критеріях.

Нормовані оцінки, крім усереднення по експертах і критеріях, здійснюють зведення критеріїв за їхніми ваговими коефіцієнтами. При норму-

ванні за вагами критеріїв у розрахунку оцінок використовуються індивідуальні вагові коефіцієнти, усереднені по експертах, що проводили експертизу.

При нормуванні за вибіркою вагові коефіцієнти критеріїв усереднюються за всіма прогнозами, що сприяє більш точній оцінці значимості критеріїв у рамках даної тематичної направленості, тому що у формуванні вагових коефіцієнтів беруть участь усі спеціалісти в цій галузі знань.

Для виключення систематичних відхилень в оцінках експертів (нормування за експертами) вихідні оцінки зміщуються на величину поправкових коефіцієнтів, пропорційних розрахунковим відхиленням, в оцінках експертів і залежать від кількості експертиз, в яких експерт брав участь і рівня компетентності експерта.

Рангові оцінки застосовуються у випадку, коли необхідно порівняти декілька альтернативних прогнозів. Для одержання оцінок при цьому необхідно, щоб проводилися експертиза всіх прогнозів тими самими експертами або нормування оцінок за експертами. У результаті аналізу розраховується місце (ранг), зайняте прогнозом серед альтернативних, і рівень достовірності оцінки, коефіцієнт погодженості (коефіцієнт конкордації).

Для порівняльного аналізу прогнозів можна застосувати методи рішення багатокритеріальних задач, що використовують або не використовують інформацію про значимість (корисність) критеріїв. Методи порівняння і вибору варіантів прогнозів у цьому випадку будуються на основі формальних правил опрацювання векторних оцінок. Як метод рішення багатокритеріальної задачі для аналізу прогнозів застосовується метод порівняння на основі порядкової шкали оцінок, де як вихідну векторну оцінку використовують абсолютні і нормовані за вибіркою й експертами оцінки.

Комплексні оцінки будують на базі розглянутих оцінок. Процедура комплексного аналізу аналогічна методиці одержання рангових оцінок, тільки замість оцінок експертів використовують оцінки, отримані різноманітними методами прогнозування. Коефіцієнт конкордації застосовується для оцінки ступеня погодженості різноманітних методів і для оцінки ступеня погодженості думок експерта при використанні декількох методів одночасно.

Крім експертизи прогнозів, у системі провадиться оцінка компетентності експертів, заснована на аналізі відхилень оцінок, проставлених експертом, від усереднених оцінок прогнозів, в яких експерт брав участь і на базі яких провадиться нормування за експертами.

У системі також здійснюється оцінка кількості експертів, необхідних для прогнозування. У тих випадках, де думки експертів збігаються й оцінки проставлені ними за всіма критеріями близькі, їхня кількість може бути мінімальна. У протилежному випадку необхідно призначення додаткового експерта.

Як оцінки прогнозів можна використовувати оптимальні зважені оцінки результатів прогнозування характеристик об'єкта і прогнозного фону, що засновані на критеріях теорії прийняття технічних рішень: мінімаксного, Баєса-Лапласа, Севіджа, розширеного мінімаксного критерію, критерію Гурвіця, Ходжа-Лемана, Гермейера, BL (MM)-критерію, критерію добутку, а також критеріїв із прямокутними конусами переваги (MM-критерій, G-критерій, функція переваги азартного гравця, критерій із прямими перевагами) і похідних від них критеріїв (HL-критерій P-критерій, HW-критерій) [3].

Екстраполяційні методи прогнозування авіаремонтних послуг

У методичному плані основним інструментом прогнозування є екстраполяція, в якій розрізняють формальну та прогнозу екстраполяцію. Формальна базується на припущенні про збереження в майбутньому минулих і теперішніх тенденцій розвитку аналізованого процесу. При прогнозній екстраполяції фактичний розвиток погоджується з гіпотезами про динаміку досліджуваного процесу з урахуванням у перспективі його фізичної і логічної сутності.

Основу екстраполяційних методів прогнозування становить вивчення часових рядів, які являють собою впорядковані в часі набори вимірів характеристик процесу. Часовий ряд має вигляд:

$$x_t = f(t) + \varepsilon_t,$$

де $f(x)$ – детермінована не випадкова компонента процесу; ε_t – стохастична випадкова компонента процесу.

Задача прогнозу полягає у визначенні виду екстраполюючих функцій $f(x)$ і ε_t на основі вихідних емпіричних даних.

Першим етапом екстраполяції є вибір оптимального виду функцій, що описують часовий ряд. Для цього проводиться попередня обробка і перетворення вихідних даних з метою полегшення вибору виду тренда шляхом згладжування і вирівнювання часового ряду, визначення функцій диференційного росту, а також формального і логічного аналізу особливостей процесу. Наступним етапом є розрахунок параметрів вибраної екстраполяційної функції.

Найбільш поширеними методами оцінки параметрів залежностей є МНК та його модифікації: метод експоненціального згладжування, метод гармонічних ваг, метод зважених відхилень, метод адаптивного згладжування, метод прогнозування з урахуванням сезонних ефектів, метод прогнозування, заснований на моделях авто-регресії і ковзного середнього тощо.

Прогнозування за методом найменших квадратів

Сутність МНК полягає в пошуку параметрів моделі тренда, які мінімізують відхилення від точок вихідного часового ряду, тобто

$$S = \sum_{i=1}^n (x_p(t_i) - x_i)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $x_p(t_i)$ – розрахункове значення вихідного ряду; x_i – фактичне значення вихідного ряду; n – кількість спостережень.

Якщо модель тренда подати у вигляді функції однієї змінної

$$x_p(t) = f(t, a_1, a_2, \dots, a_k),$$

де t – час; a_1, a_2, \dots, a_k – параметри моделі, то, щоб знайти параметри моделі, які б задовольняли умову (1) необхідно прирівняти до нуля перші похідні величини S по кожному з коефіцієнтів a_j та розв'язати систему рівнянь з k невідомими.

У практичних дослідженнях як моделі тренда найбільш часто використовують лінійні відносно параметрів функції:

- лінійну $x = a + bt$;
- квадратичну $x = a + bt + ct^2$;
- кубічну $x = a + bt + ct^2 + dt^3$;
- гіперболічні $x = a + b/t$, $x = a + b/t + c/t^2$;
- ірраціональні $x^2 = a + bt$, $x^2 = a + bt + ct^2$;
- експонентні $\log(x) = a + bt$, $\log(x) = a + bt + ct^2$;
- логарифмічні $x = a + b \log(t)$,
 $x = a + b \log(t) + c (\log(t))^2$,
- змішані $x = a + bt + c/t$, $x = a + bt + c \log(t)$

та інші моделі, які можна привести до лінійних. В економічних дослідженнях досить часто зустрічаються нелінійні моделі, які не допускають прямого використання МНК.

У табл. 1 наведені найбільш використовувані для прогнозування економічних показників моделі та їх перетворювальні функції для зведення до лінійної форми. Наведені функції найбільш часто застосовують при вивченні попиту на авіаційні перевезення, авіатехнічні послуги, зокрема для прогнозування обсягів технічного обслуговування та ремонту. Для деяких з цих залежностей один із параметрів необхідно задавати, виходячи з логіко-економічних міркувань.

Таблиця 1

Нелінійні моделі тренда

Назва функції	Аналітичний вираз функції	Перетворення функції
Степенева	$x = at^b$	$\log x = \log a + b \log t$
Показникова	$x = ab^t$	$\log x = \log a + t \log b$
Показниково-степеневая	$x = at^b c^t$	$\log x = \log a + b \log t + t \log c$
Логістична	$x = \frac{a}{1 + b \exp(-ct)}$ $x = \frac{a}{1 + \exp(-ct)}$ $x = \frac{a}{1 + \left(\frac{b}{t}\right)^c}$	$\log\left(\frac{a}{x} - 1\right) = \log b - ct \log e$ $\log\left(\frac{a}{x} - 1\right) = b \log e - ct \log e$ $\log\left(\frac{a}{x} - 1\right) = c \log b - c \log t$
Функція Гомперця	$\log x = \log(a + bc^t)$	$\log(\log a - \log x) = \log(-b) + t \log c$
Ірраціональна	$x = \sqrt{a + bt + ct^2}$	$x^2 = a + bt + ct^2$
Гіперболічна	$x = \frac{1}{a + bt}$	$\frac{1}{x} = a + bt$
Обернена квадратному тричлену	$x = \frac{1}{a + bt + ct^2}$	$\frac{1}{x} = a + bt + ct^2$
Дробово-раціональна	$x = \frac{t}{a + bt + ct^2}$	$\frac{t}{x} = a + bt + ct^2$
Джонсона	$\log x = -\frac{a}{b+t} + c$	$\frac{1}{\log x - c} = -\frac{b}{a} - \frac{t}{a}$
Модифікована експоненціальна	$x = a \exp(bt)$	$\log x = \log a + bt \log e$
Функція Торнквіста: першого типу	$x = \frac{at}{b+t}$	$\frac{1}{x} = \frac{b}{at} + \frac{1}{a}$
другого типу	$x = \frac{a(t-b)}{t+c}$	$\frac{t-b}{x} = \frac{t}{a} + \frac{c}{a}$
третього типу	$x = \frac{ax(t-b)}{t+c}$	$\frac{t-b}{x} = \frac{1}{a} + \frac{c}{at}$

Так, параметр a логістичних функцій указує на рівень насичення. Найбільші труднощі в цьому випадку викликають оцінки параметрів a логістичних функцій та функції Гомперця, параметра c функції Джонсона та параметра b функції Торнквіста. У будь-якому випадку необхідно виходити з економічного аналізу прогнозованого явища.

Для прогнозування тенденцій зміни параметрів екстраполяційними методами на основі МНК важливим є також вибір методу розв'язання задачі та критеріїв мінімізації.

Стандартний підхід, який використовується при апроксимації та регресійному аналізі, засно-

ваний на зведенні функції тренда до лінійного відносно параметрів моделі, змінює відносну вагу кожної точки вихідної вибірки. Тому параметри моделі, отримані для зведеної функції, відрізняються в гірший бік від параметрів моделі, які були б визначені прямим шляхом для моделі (1) з допомогою методів мінімізації функцій багатьох змінних.

Прямий метод більш трудомісткий з обчислювальної точки зору, але моделі, отримані за допомогою цього методу, краще описують експериментальні дані, з меншим значенням дисперсії помилки, а вага кожної точки рівнозначна, що припускає рівноцінність вихідної інформації.

Спеціально розроблене програмне забезпечення для прогнозування тенденцій параметрів методами екстраполяції підтверджує це твердження. На рис. 2 наведено дані прогнозування обсягів випуску товарної продукції авіаремонтного заводу (АРЗ) 410 ЦА за 1991–2001 рр. [4] прямим способом та за допомогою перетворення функцій.

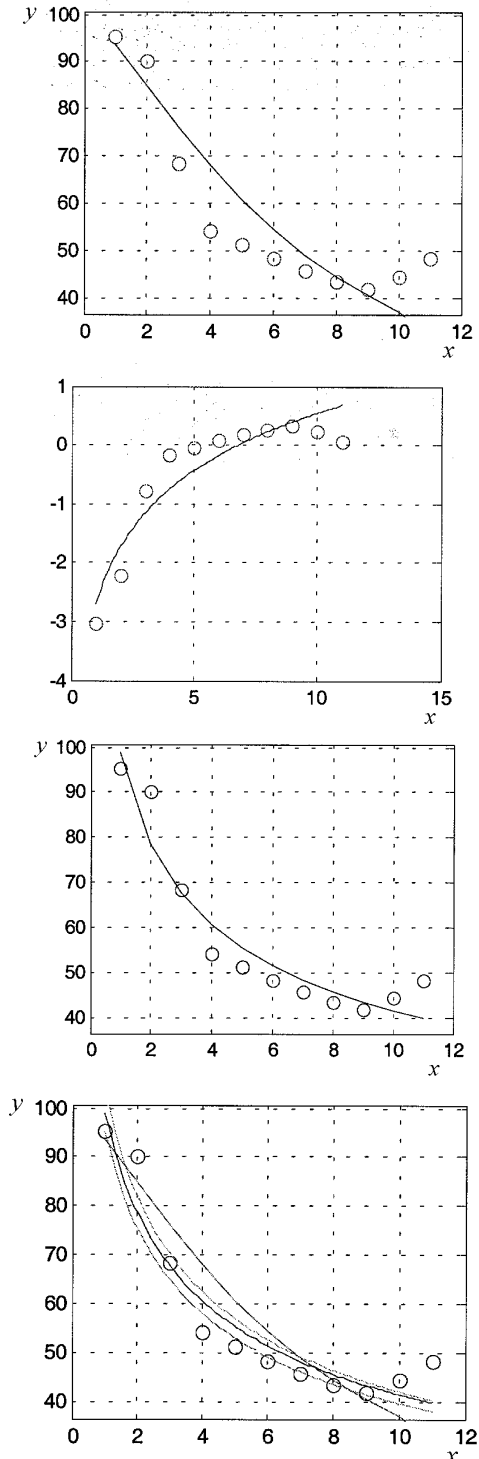


Рис. 2. Порівняльний аналіз результатів апроксимації МНК стандартним і прямим способом:
 а – $a_0/(1+(a_1/x)^a)^2$; б – $\log(100/f-1)=1, \log(x)$;
 в – $a_0/(1+(a_1/x)^a)^2$ -Min; з – $a_0/(1+(a_1/x)^a)^2$ -1-Min, 2-Pre

На рис. 2, б показано графік, отриманий для перетвореної моделі логістичної функції, на рис. 2, а – модель з тими самими параметрами, зведена до вихідного вигляду, на рис. 2, в – модель, отримана методом мінімізації функцій багатьох змінних за критерієм середньоквадратичної помилки, на рис. 2, з – дві останні моделі та графіки моделей для лінійного абсолютного і мінімаксного критеріїв мінімізації.

Вибір моделі в кожному конкретному випадку можна здійснювати за цілим рядом статистичних критеріїв, наприклад, за стандартною похибкою (середньоквадратичним відхиленням), середнім лінійним абсолютним відхиленням, мінімумом максимального відхилення, середньою відносною похибкою, середньоквадратичним відносним відхиленням, мінімумом максимального відносного відхилення, кореляційним відношенням, індексом кореляції тощо.

Перші три критерії середньоквадратичного відхилення, середнього лінійного відхилення та мінімуму максимального відхилення мають вигляд

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - f(t_i))^2}{n - k}} \rightarrow \min;$$

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - f(t_i)|}{\sqrt{n(n-1)}} \rightarrow \min;$$

$$M = \max(x_i - f(t_i)) \rightarrow \min,$$

де n – кількість спостережень; k – кількість параметрів моделі, які визначаються.

Названі критерії є критеріями апроксимації, а не прогнозу. Але, беручи до уваги гіпотезу про стабільність процесу в майбутньому, можна припускати, що в цих умовах модель найбільш достовірна при апроксимації, буде найкращою і для прогнозу. Крім того, за критерії вибору можна взяти критерії регулярності, мінімуму зміщення, або балансу, які використовуються саме для прогнозування в методі групового врахування аргументів (табл. 2). Для їх застосування вихідні дані (вибірку) розбивають на дві частини – навчальну N_A та перевіірочну N_B ($N=N_A+N_B$), які використовуються при формуванні експериментальних f_t і модельних (розрахункових) f_t^M, f_t^A, f_t^B значень функцій.

Метод найменших квадратів широко застосовується для одержання конкретних прогнозів, що пояснюється його простотою і легкістю реалізації на ПЕОМ. Недолік методу полягає в тому, що модель тренда жорстко фіксується і за допомогою МНК можна одержати надійний прогноз тільки на невеликий період випередження. Тому МНК відноситься головним чином до методів короткострокового прогнозування.

Таблиця 2

Критерії регуляризації (точності)

Найменування критерію	Аналітичний вираз критерію
Критерій регулярності	$\Delta^2(B) = \frac{\sum_{t \in N_B} (f_t^M - f_t)^2}{\sum_{t \in N} f_t^2} \rightarrow \infty$
Коефіцієнт кореляції	$K_{f^M f} = \frac{\sum_{t \in N_B} f_t f_t^M}{\sqrt{\sum_{t \in N_B} f_t^2 \sum_{t \in N_B} f_t^{M2}}} \rightarrow \max$
Індекс кореляції	$\rho_{f^M f} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{t \in N_B} (f_t - f_t^M)^2}{\sum_{t \in N_B} (f_t - M_f)^2}} \rightarrow 1, \quad M_f = \frac{1}{N_B} \sum_{t \in N_B} f_t$
Критерій регулярності (симетричний)	$\Delta^2(AB) = \sum_{t \in N_B} (f_t^A - f_t)^2 + \sum_{t \in N_A} (f_t^B - f_t)^2 \rightarrow \min$
Критерій мінімуму зсування	$n_{CM}^2 = \frac{\sum_{t \in N} (f_t^A - f_t^B)^2}{\sum_{t \in N} f_t^2} \rightarrow \min$
Критерій мінімуму зсування 1	$n_{CM1}^2 = \frac{1}{n} \sum_{t \in N} (f_t^A - f_t^B)^2 \rightarrow \min$
Критерій мінімуму зсування 2	$n_{CM2}^2 = \frac{2 \sum_{t \in N} f_t^A f_t^B}{\sum_{t \in N} (f_t^{A2} - f_t^{B2})^2} \rightarrow \max$
Комбінований критерій мінімуму зсування	$n_{CMK}^2 = \sum_{t \in N} (f_t^A - f_t^B)^2 + \mu \left[\sum_{t \in N_A} (f_t^A - f_t)^2 + \sum_{t \in N_B} (f_t^B - f_t)^2 \right], \quad \mu \approx 0,5$

На рис. 3 і в табл. 3 наведені результати прогнозування обсягів продукції АРЗ 410 ЦА за 1990–2001 рр. в порівняльних цінах за допомогою різних видів кривих.

Класичний МНК припускає рівноцінність вихідної інформації в моделі. На практиці майбутній розвиток процесу більшою мірою визначається більш пізніми спостереженнями, ніж ранніми. Це можна врахувати шляхом уведення в модель (1) деяких ваг $\beta_i < 1$. Тоді модель, яка враховує дисконтування, набуває вигляду

$$S = \sum_{i=1}^n \beta_i (x_p(t_i) - x_i)^2 \rightarrow \min.$$

Коефіцієнти β_i можуть задаватися в числовій формі або у вигляді функціональної залежності таким чином, щоб в міру просування в минулі часи ваги зменшувалися $\beta_i = a^i$, $a < 1$.

Прогнозування за методом гармонічних ваг

Основна ідея методу гармонічних ваг спостереження часового ряду полягає в тому, що більш пізнім спостереженням надаються більші ваги. Переваги методу гармонічних ваг у порівнянні з іншими методами, в яких також використовується зважування рівнів часового ряду, полягають у тому, що при його застосуванні не треба робити ніяких припущень щодо вигляду тренду.

Обчислювальна схема реалізації методу гармонічних ваг підрозділяється на два незалежних етапи:

- згладжування часового ряду будь-яким з методів (ковзним середнім, експоненціальним, медіанним тощо);
- екстраполяція отриманого тренда.

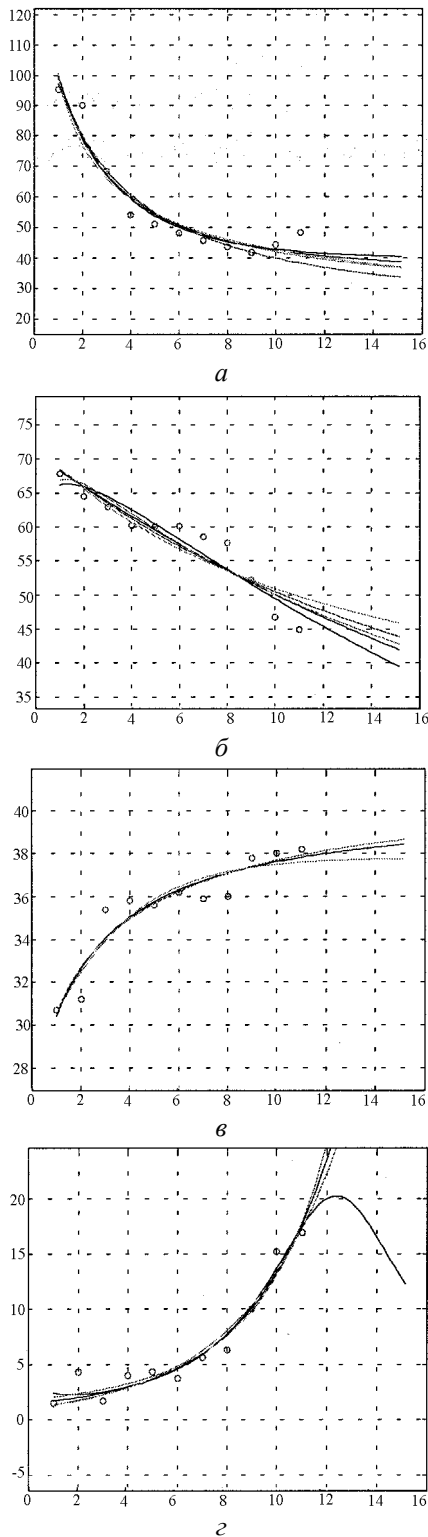


Рис. 3. Приклад прогнозування обсягів продукції АРЗ 410 ЦА за 19990–2001 рр.:

Нехай часовий ряд задано масивом $\{x(t), t = \overline{1, n}\}$, який можна розкласти на не випадкову функцію часу (тренд) і стаціонарний випадковий компонент $x_t = f(t) + \varepsilon_t$.

Потрібно визначити величину показника $x(t)$, $x(t+1)$, де $l = \overline{1, L}$, та оцінити помилку прогнозу. Прогноз показника $x(t)$ складається в цьому випадку з прогнозу тренда $f(x)$ і прогнозу за випадковою компонентою ε_t .

У разі відсутності досить достовірної апріорної інформації про закономірності зміни досліджуваного явища, проста екстраполяція за трендом може призвести до значних помилок. У такій ситуації умовно можна прийняти, що певним наближенням $f^*(x)$ правдивого тренда $f(x)$ є ламана лінія, що згладжує задану кількість точок часового ряду $x(f)$.

Зміна положень окремих відрізків ламаної лінії описує неперервні зміни в досліджуваному процесі, тобто його окремі фази. Провівши екстраполяцію за ковзним трендом (аналогічно відомим в статистиці ковзним середнім), зважуючи при цьому окремі точки ламаної лінії за допомогою гармонічних ваг (це дозволяє надати більш пізнім спостереженням більшої значимості) і, будуючи на підставі нерівності Чебишева довірчий інтервал для прогнозованих оцінок (причому зі збільшенням періоду прогнозу довірчий інтервал розширюється), отримують досить точний прогноз.

Для визначення окремих фаз руху ковзного тренда обирають число за умови $k < n$. Кожна фаза цього руху описується рівнянням

$$x_i(t) = a_i + b_i t, i = \overline{1, n-k+1},$$

причому $t = \overline{1, k}$ для $i = 1$,

$$t = \overline{2, k+1}; \dots \text{ для } i=2,$$

$$t = \overline{n-k+1, n} \text{ для } i = n-k+1.$$

Параметри рівнянь a_i, b_i ланки тренда можна визначити МНК за ковзним сегментом з використанням такої процедури:

1) обчислюють ковзне середнє :

$$\bar{x}_i = \frac{1}{k} \sum_{t=i}^{i+k-1} x_t;$$

2) знаходять час:

$$\bar{t}_i = \frac{1}{k} \sum_{t=i}^{i+k-1} t;$$

3) розраховують час для непарних k :

$$t_i = i + \frac{1}{2}(k-1);$$

для парних k :

$$t_i = i + \frac{1}{2}(k-1) - \frac{1}{2};$$

Таблиця 3

Динаміка обсягів продукції АРЗ 410 ЦА за 1990–2001 рр. в порівняльних цінах

Назва рівняння	Вид функції	СКВ	N	a0	a1	a2
Обсяг товарної продукції, млн.грн (рис. 3, а)						
Гомперця	$\exp(\log(a_0)+a_1*a_2^t)$	4.4310	8	39.8228	1.2168	0.7560
Логістична-1	$a_0/(1+a_1*\exp(-a_2*t))$	4.7949	5	36.2643	-0.7477	0.1617
Торнквіста-2	$a_0*(t-a_1)/(t+a_2)$	4.9568	16	25.0671	-9.5741	1.6687
Джонсона	$\exp(-a_0/(a_1+t)+a_2)$	5.1445	13	-11.5996	6.2244	2.9725
Показниково-степенева	$a_0*t^a_1*a_2^t$	5.4262	3	100.1118	-0.3886	1.0042
Питома вага ремонту планера ПС, % (рис. 3, б)						
Показниково-степенева	$a_0*t^a_1*a_2^t$	2.1659	3	69.5058	0.0652	0.9521
Показникова	$a_0*a_1^t$	2.3443	2	70.6572	0.9661	0
Дробово-раціональна	$t/(a_0+a_1*t+a_2*t^2)$	2.4427	12	0.0011	0.0132	0.0007
Гіперболічна	$1/(a_0+a_1*t)$	2.5379	10	0.0140	0.0006	0
Торнквіста-2	$a_0*(t-a_1)/(t+a_2)$	2.7895	16	23.2999	-40.250	12.9896
Питома вага ремонту авіаційного двигуна, % (рис. 3, в)						
Джонсона	$\exp(-a_0/(a_1+t)+a_2)$	0.7933	13	0.8525	2.0063	3.6983
Торнквіста-2	$a_0*(t-a_1)/(t+a_2)$	0.7934	16	40.3924	-1.6158	2.4746
Показниково-степенева	$a_0*t^a_1*a_2^t$	0.7998	3	30.5925	0.1070	0.9962
Логістична-2	$a_0/(1+\exp(a_1-a_2*t))$	0.8246	6	37.8155	-1.0655	0.3696
Логістична-1	$a_0/(1+a_1*\exp(-a_2*t))$	0.8246	5	37.8155	0.3445	0.3696
Питома вага ремонту іншої продукції, % (рис. 3, г)						
Обернена квадратному тричлену	$1/(a_0+a_1*t+a_2*t^2)$	1.0846	11	0.6896	-0.1035	0.0042
Показниково-степенева	$a_0*t^a_1*a_2^t$	1.1354	3	1.7368	-0.5908	1.4044
Гомперця	$\exp(\log(a_0)+a_1*a_2^t)$	1.1380	8	0.4262	1.4355	1.0908
Показникова	$a_0*a_1^t$	1.2305	2	1.0441	1.2905	0
Логістична-2	$a_0/(1+\exp(a_1-a_2*t))$	1.2644	6	110.5710	4.7470	0.2767

Примітка: СКВ – середньоквадратичне відхилення; N – номер рівняння; a0, a1, a2 – коефіцієнти рівняння.

4) визначають зважене середнє:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{t_i - i + 1} \sum_{i=1}^{t_i} x_i ;$$

5) обчислюють параметри ланки:

$$\hat{a}_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}; \quad \hat{b}_i = \bar{x}_i - a_i t_i .$$

На підставі отриманих параметрів формують масив згладжених даних $\{\bar{x}_i, i=1, n\}$.

Екстраполяція тренда здійснюється згідно з обчислювальною схемою прогнозування випадкових процесів як трендових, так і стаціонарних з обмеженням на 1–3 кроки вперед за такою процедурою:

1) знаходять приріст функції тренда:

$$W_{t+1} = \bar{x}_{t+1} - \bar{x}_t, \quad t = \overline{1, n-1} ;$$

2) визначають ваги приросту:

$$C_{t+1}^n = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^t \frac{1}{n-i} ,$$

при цьому $C_{t+1}^n > 0, \quad \sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^n = \frac{m_{t+1}}{n-1}$

або $C_{t+1}^n = \frac{m_{t+1}}{n-1}, \quad m_{t+1} = \sum_{i=1}^t \frac{1}{n-i}, \quad \sum_{t=1}^{n-1} m_{t+1} = n-1,$

де m_2, \dots, m_n – гармонічні ваги;

3) обчислюють гармонічну середню приросту:

$$\bar{W} = \sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^n W_{t+1} ; \tag{2}$$

4) на підставі рівняння (2) визначають прогнозні значення $x_p, \quad p = \overline{n+1, l},$

$$\tilde{x}_p = \tilde{x}_{p-1} + \bar{W},$$

де $\tilde{x}_n = \bar{x}_n ;$

5) призначають довірчий інтервал на прогнозні значення

$$\tilde{x}_p - d(l)S_W \leq x_p \leq \tilde{x}_p + d(l)S_W ,$$

де $S_W^2 = \sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^n (W_{t+1} - \bar{W})^2 ;$

$$d(l) = d \sum_{t=1}^{l+1} C_{n-t+1}^n, \quad l = \overline{0, n-1}$$

$d \approx t_{\alpha/2, \nu}$ – квантиль t -розподілу Стюдента;
 $\nu = k(p-n) - 2$.

На рис. 4 показані результати прогнозування обсягів продукції АРЗ 410ЦА за 1990–2001 рр. методом гармонічних ваг

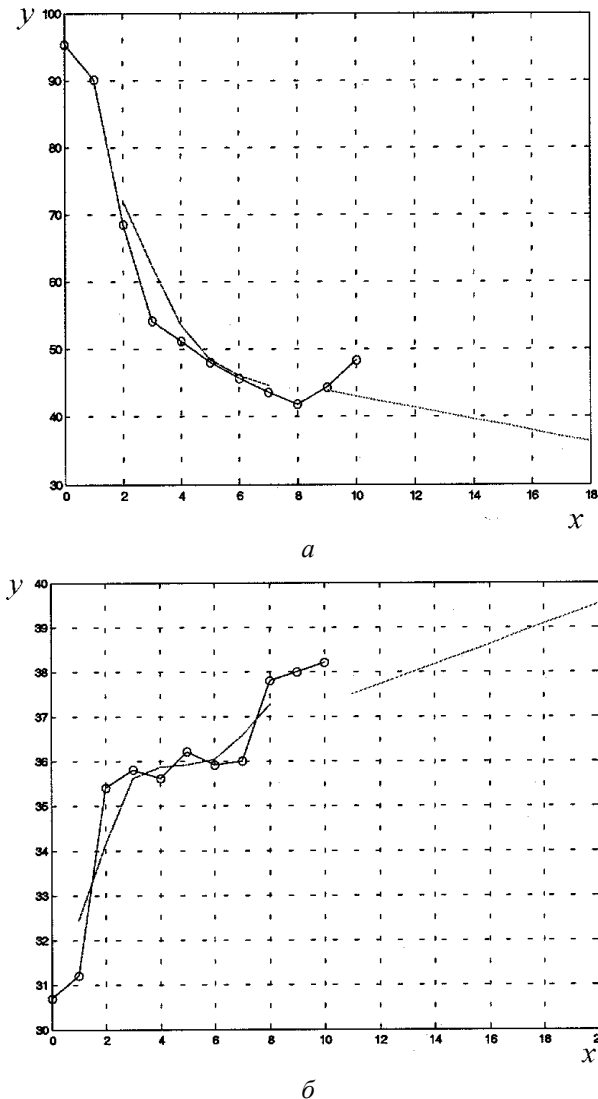


Рис. 4. Результати прогнозування обсягів продукції АРЗ 410ЦА:
 а – обсяг товарної продукції, млн. грн; б – питома вага ремонту авіаційного двигуна, %

С.М. Подреза

Методы прогнозирования объемов авиаремонтных услуг

Рассмотрены задачи планирования и методы прогнозирования объемов авиаремонтного производства в условиях рыночной экономики.

S.M. Podreza

Methods of forecasting of volumes of output of airrepair services

The tasks of planning and methods of forecasting of volumes of output of airrepair production in conditions of market economy are considered.

Для сезонних моделей метод гармонічних ваг має обмеження, яке полягає в тому, що його реалізація можлива лише на висхідних або спаданих лініях тренда. Наступна обчислювальна процедура визначає коефіцієнти сезонності k_{jt} , одержані шляхом порівняння суми фактичних значень показника за період сезонності з аналогічним показником вирівняним за методом гармонічних ваг. Обчислюючи

$$\Delta x_{jp} = k_{jt} \bar{x}_p - \bar{x}_p,$$

де \bar{x}_p – середнє значення результуючого показника, визначають прогнозне значення функції з урахуванням сезонності:

$$\tilde{x}_p = \tilde{x}_{p-1} + \bar{W} + \Delta x_{p-1}.$$

Практична реалізація процедури гармонічних ваг показує, що при великій кількості спостережень процедура може бути реалізована без попереднього згладжування.

Висновки

Проведені теоретичні дослідження методів прогнозування обсягів авіаремонтних послуг і практичні розрахунки дозволяють прогнозувати основні показники авіаремонтного виробництва та створюють базу для стратегічного планування і реформування системи авіаремонтних послуг в умовах ринкової економіки.

Список літератури

1. Ивахненко А.Г., Мюллер Й.А. Самоорганизация прогнозирующих моделей. – К.: Техніка, 1895, Берлін: ФЭБ Ферлаг Техник, 1984. – 223 с.
2. Кучер А.Г., Тамаргазин А.А. Независимая экспертиза проектов в задачах коллективного принятия решений / Проблемы эксплуатационной надежности авиационной техники: Сб. науч. тр. – К.: КМУГА, 1997. – С. 31–39.
3. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений: Пер. с нем. – М.: Мир, 1990. – 208 с.
4. Подреза С.М. Економічний механізм реформування і розвитку авіаремонтного виробництва України / Відп. ред. чл.-кор. НАН України Л.К. Безчасний. – К.: Ін-т економіки НАН України, 2003. – 179 с.

Стаття надійшла до редакції 21.06.04.