

УДК 004.942

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ДОДАТКОВИХ ЗАСОБІВ, ОРІЄНТОВАНИХ НА ВИКОРИСТАННЯ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУВАННЯ

Б. В. Дурняк<sup>1</sup>, М. М. Кляп<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Українська академія друкарства,  
вул. Підголоско, 19, Львів, 79020, Україна

<sup>2</sup>Ужгородський національний університет,  
вул. Університетська, 14, Ужгород, 88000, Україна

*У статті подано характеристики особливостей побудови додаткових засобів, що орієнтовані на використання в задачах прогнозування. Установлено підходи до формування загального процесу прогнозування, а також підходи до оцінювання величини похибки, яка виникає, при реалізації процесів прогнозування; підтверджено їх взаємозв'язок.*

**Ключові слова:** прогнозування, моделі прогнозування, випадкова подія, неочікувана подія, стійкість, величина похибки.

**Постановка проблеми.** Від точності прогнозування в кінцевому підсумку великою мірою залежить якість виготовлюваного продукту. Для розв'язку задач прогнозування необхідно будувати моделі прогнозування так, щоб максимально адаптувати їх не тільки до вхідних або статистичних даних, використовуваних для побудови моделей прогнозу, а й до умов та особливостей процесів, у рамках яких відбуваються події, що передбачається прогнозувати. Потрібно проводити аналіз відповідних процесів, беручи до уваги всі елементи, які можуть впливати на виникнення події, що надасть можливість виявити особливості тієї події, яку передбачається прогнозувати.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питання особливостей побудови засобів, орієнтованих на використання в задачах прогнозування, розглянуті доволі широко. Прогнозування стану технічних систем здійснює, зокрема, О. Абрамов, С. Смоляк дає оцінку стійким методам прогнозування. Складність генетичного алгоритму оптимізації параметрів моделі прогнозування досліджує в своїх працях Т. Скворцова. Разом із тим теоретичні особливості побудови додаткових засобів, орієнтованих на використання в задачах прогнозування, передусім друкарського процесу, вивчено недостатньо.

**Мета статті.** Теоретично визначити особливості побудови додаткових засобів, орієнтованих на використання в задачах прогнозування; установити підходи до формування загального процесу прогнозування, а також підходи до оцінювання величини похибки, що виникає, при реалізації процесів прогнозування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Прикладом особливості прогнозування з урахуванням усіх елементів, які можуть впливати на виникнення події, може служити випадкова неочікувана подія  $NP_i$ . Формально її можливо описати співвідношенням, яке визначає умову виділення такої події в окремий тип:

$$\begin{aligned} & \{[\forall j][C(OPr_{ij}^k) < C(ZPr_i^e)] \& (x_{ij}^{e+n} \in ZPr_i^{e+n}) \& [ZPr_i^{e+n} \rightarrow x_{ij}^{e+n}(NP_i)] \& \\ & \& (n = am) \& [(a > 1) \& n > m] \& (m > 1)] \& (OPr_{i1}^k \& \dots \& OPr_{ig}^k)\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{NP_i = f[(x_{ik}^k \in OPr_{i1}^k), \dots, (x_{ig}^k \in OPr_{ig}^k)]\} \rightarrow \\ & \rightarrow PR(OPr_{i1}^k, \& \dots \& OPr_{ig}^k) \rightarrow NP_i \} \end{aligned}$$

Визначена умова вирізняється тим, що для її перевірки важливо довести, що в  $ZPr_i^{e+n}$  може існувати змінна  $x_{ij}^{e+n}$ , яка буде залежна від  $NP_i$ ; необхідність прогнозування  $NP_i$  не виникає безпосередньо з опису  $ZPr_i^e$  на циклі  $e+n$ . Крім того, потрібно вивести, що сукупність циклів  $g$  процесів  $OPr_i^k$  може бути аргументами функції  $f$ , яка описує ймовірний взаємозв'язок між цими аргументами та прогнозованою подією типу  $NP_i$ . Очевидно, що в такому випадку під аргументами функції  $f$  слід розуміти як результати відповідних процесів  $OPr_{i1}^k, \& \dots \& OPr_{ig}^k$ . Можливо було б прийняти, що  $f(OPr_{i1}^k, \& \dots \& OPr_{ig}^k)$  може служити моделлю для визначення  $NP_i$ , однак  $NP_i$  є подією випадковою, відповідно, не обов'язково означена функція активізуватиметься при реалізації послідовних циклів  $OPr_{i1}^k, \& \dots \& OPr_{ig}^k$ , які відносяться до обумовлювальних процесів. Формально, факт виведення з  $f(OPr_{i1}^k, \& \dots \& OPr_{ig}^k)$  події  $NP_i$  при використанні змінної  $x_{ij}(NP_i)$ , вказує на потребу реалізації прогнозу  $NP_i$ , який є можливим, якщо відповідне виведення може бути реалізованим. Ця обставина відображає принципову різницю між прогнозуванням виняткової (рідкої) події  $RP_i$  та неочікуваної події  $NP_i$ .

Наведемо визначення неочікуваної події.

*Визначення 1.* Якщо існує процес, що обумовлює виникнення випадкових подій, та зовнішній процес, реалізація якого може потребувати відповідної події, у випадку, коли з моделі або опису зовнішнього процесу  $ZPr_i$  можна вивести, що зовнішній процес повинен використовувати прогнозовану подію, така прогнозована подія називатиметься неочікуваною.

Неочікуваність полягає в тому, що не відомо, чи в зовнішньому процесі  $ZPr_i$ , який використовує прогнозовані події  $PP_i$ , застосовуватиметься окрема конкретна подія, яку будемо називати неочікуваною ( $NP_i$ ). Сутність використання  $NP_i$  подій у тому, що зовнішні процеси, для яких генеруються  $OPr_i$  процесами випадкові події, можуть у явній формі описувати необхідність використання тієї чи іншої події. За такої умови маємо події типів: випадкові — що відбуваються через короткі проміжки часу, або короткотермінові події ( $KP_i$ ); випадкові події типу  $PP_i$ , які відбуваються в межах часу функціонування процесів у рамках одного циклу; випадкові події типу  $RP_i$ , що вважаються нечастими випадковими подіями й можуть виникати один раз протягом кількох циклів процесу функціонування системи.

Якщо в процесі функціонування  $ZPr_i$  виникає можливість довести необхідність використання процесом, окрім усіх інших подій, додаткової випадкової прогнозованої події, маємо неочікувану випадкову подію, яку потрібно спрогнозувати  $NP_i$ . Важливим у прогнозуванні є фактор, що характеризується параметром часу. Його можна визначити такими часовими параметрами, як:

- період прогнозування ( $\Delta T_i$ );
- інтервал прогнозування ( $\Delta t_i$ );
- період актуальності прогнозованої події ( $\tau_i$ ).

Періодом прогнозування  $\Delta T_i$  є інтервал часу, який розпочинається в момент визначення необхідності прогнозування події в процесі функціонування всієї системи. Параметри цієї події характеризуються засобами зовнішнього процесу  $ZPr_i$ . Завершується інтервал часу моментом виникнення прогнозованої події. Це означає, що в деякий момент часу  $t_i$  сформовано умови для вирішення задачі прогнозування. Позначимо такий момент часу символами  $T_i(RP_i)$ .

Наступний проміжок часу  $T_{i+k}$  визначає момент, коли  $ZPr_i$  може використовувати відповідну  $PP_i$ . Момент  $T_{i+k}$  є початком інтервалу часу актуальності даних прогнозу, який позначатимемо  $t_i$ . Можна прийняти, що  $T_{i+k} = t_i$ , а  $\Delta T_i = T_{i+k} - T_i$  — час, упродовж якого  $ZPr_i$  може використовувати  $PP_i$  у межах поточного циклу роботи  $ZPr_i$ ; відповідний період називатимемо періодом актуальності даних прогнозу для  $ZPr_i$ . Закінчення моменту будемо позначати  $t_{i+m}$ , а  $\Delta t_i = t_{i+m} - t_i$ . Після завершення поточного циклу  $ZPr_i$  дані  $PR(OPr_i) \rightarrow PP_i$  можуть бути використані в певних вибраних або всіх циклах функціонування  $ZPr_i$ . Означений фактор визначає інтервал часу, початок якого позначаємо  $\delta t_i$ , а моментом завершення є  $\delta t_{i+g}$ . Відповідно, період актуальності даних  $PP_i$  будемо визначати зі співвідношення  $\tau_i = \delta t_{i+g} - \delta t_i$ . При цьому момент  $\delta t_i$  може дорівнювати  $t_{i+m}$ . Часовий фактор, що визначає процеси прогнозування, можливо представити у вигляді співвідношення:

$$\Delta T_i \rightarrow \Delta t_i \rightarrow \Delta \tau_i \implies T_i \rightarrow T_{i+k} = t_i \rightarrow \Delta t_{i+m} = \tau_i \rightarrow \tau_{i+g},$$

яке графічно можна подати наступним чином (рис.).

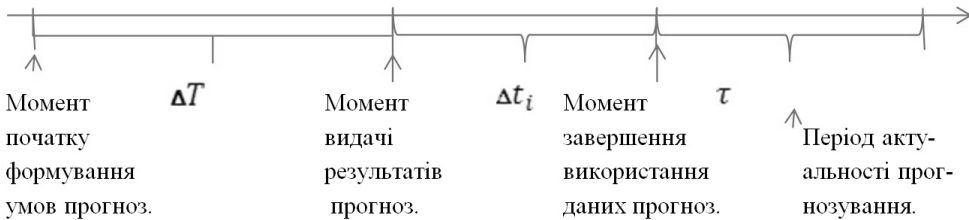


Рис. Схема часового фактора, що визначає процеси прогнозування

У рамках поданого співвідношення прогноз реалізується з участю певних типів процесів:

- процесу  $OPr_i$ , що обумовлює виникнення випадкових подій;
- процесів  $ZPr_i$ , які використовують дані про випадкові події та є зовнішніми у відношенні до процесів  $OPr_i$ ;
- процесів, що реалізують прогнозування випадкових подій, або  $RP_i$  процеси;
- процеси, які виявляють можливість виникнення  $NP_i$  подій.

На відміну від процесів  $PR_i$ , процеси останнього типу повинні суміщатися з процесами  $ZPr_i$ . Виходячи з наведеного аналізу, можна стверджувати, що випадкові події, для яких відомі цілі прогнозування, є прогнозами типу  $KP_i$ ,

$PP_i$  і  $RP_i$ . Прогнози подій типу  $NP_i$  з точки зору класичного підходу до прогнозування не можуть мати відомих цілей, оскільки на момент прогнозування не відомо, чи подія  $NP_i$  відбудеться.

Для розв'язку окресленої проблеми можна використовувати наступні підходи до формування загального процесу прогнозування, який будемо позначати символами  $ZPP$ :

1) на основі аналізу процесів, що використовуються в  $ZPP$ , — ними є  $OPr_i$  і  $ZPr_i$ , визначити, чи ймовірно виникнення подій, які можуть характеризуватися як випадкові події типу  $NP_i$ ;

2) якщо в результаті реалізації  $ZPP$  виникла випадкова подія  $VP_i$ , яка не відноситься до класів прогнозованих подій  $KP_i$ ,  $PP_i$  і  $RP_i$ , потрібно встановити, чи подія  $VP_i$  може бути віднесена до класу  $NP_i$ ;

3) формування окремої моделі прогнозування для виявлення випадкових подій типу  $NP_i$ .

Розглянемо організацію процесу  $ZPP$ , до складу якого входять:

- процеси, що обумовлюють виникнення  $VP_i$ , або  $\{OPr_p, \dots, OPr_n\}$ ;
- зовнішні процеси, які використовують результати прогнозування, або дані про  $VP_i$ , отримані внаслідок прогнозування;
- моделі прогнозування ( $M(PR_i)$ );
- засоби аналізу отриманих прогнозів ( $ZAP$ );
- системи управління засобами  $ZPP$ .

Методи прогнозування використовуються у випадках, коли моделі  $OPr_i$  процесів є приблизними й їх застосування для отримання  $VP_i$  недостатнє або не є можливим. При цьому може частково використовуватися модель  $OPr_i$ , та на основі даних або статистичних даних про функціонування  $OPr_i$  формується модель прогнозування  $M[PR_i(OPr_i)]$ . Якщо використовується ряд  $OPr_i$ , при  $(i=1, \dots, m)$ , з урахуванням першого випадку можна будувати такі типи моделей прогнозування:

$$\Psi(OPr) = M(PR); \Psi(OPr_1, \dots, OPr_m) = M(PR^r).$$

На основі системи синхронізації  $OPr$  і  $ZPr$ , якою є система часу  $\Delta = \{\Delta T, \Delta t, \Delta \tau\}$ , визначається, чи отримана  $VP_i$  відноситься до класів  $KP_i$ ,  $PP_i$  або  $RP_i$ . Виходячи з цього,  $VP_i$  передається відповідним чином до  $ZPr$ . Якщо  $VP_i$  не відноситься до  $KP_i$ ,  $PP_i$  чи  $RP_i$ , визначається можливість використання такої  $VP_i$  в  $ZPr$  — як події типу  $NP_i$ .

Зовнішні процеси  $ZPr$ , на відміну від  $OPr$ , повинні бути повнішими та більш адекватними явищам, які описують відповідні моделі. Такі вимоги ґрунтуються на тому, що  $ZPr$  формуються для достатньо відомих процесів. Саме вони повинні надавати змогу використовувати  $VP_i$ , точність яких може бути меншою від можливої величини точності процесу  $ZPr_i$  є  $m$  разів, де  $m \geq 2$ . Модель  $M(ZPr)$  повинна забезпечувати можливість отримувати дані, достовірність яких є достатньою для обґрунтованого використання результатів, неточність яких через неточність  $VP_i$ , передбачувану в  $M(ZPr)$ , не перевищує допустимі межі похибок. У протилежному випадку відсутній сенс реалізовувати процеси

прогнозування  $PR(OPr)$ . Як правило, дані, отримані в результаті прогнозування, безпосередньо інтерпретуються як критерії прийняття тих чи інших рішень без використання моделей типу  $ZPr$  [1–2].

Перш ніж отриманий прогноз  $VP_i$  передається до  $ZPr_i$ , останній повинен пройти аналіз, метою якого є перевірка відповідності загальним вимогам до  $VP_i$ . Такий аналіз реалізується засобами  $ZAP$ . Необхідність його обумовлена тим, що, в силу випадковості прогнозованої події  $VP_i$ , яка може виявитися, остання не відповідає очікуванням такою мірою, що передача даних про  $VP_i$  у  $ZPr_i$  або в  $M(ZPr_i)$  призведе до виникнення в  $ZPr_i$  непередбачуваних аномалій. Засоби  $ZAP$  становлять реалізацію алгоритмів аналізу  $VP_i$ , тісно пов'язаних із відповідними  $M(ZPr_i)$ . У найпростішому випадку алгоритми  $ZAP$  є реалізацією порогового контролю значень параметрів, які характеризують  $VP_i$ . Засоби  $ZAP$  у рамках  $MPP$ , що складає модель прогнозування, — це компоненти, які виконують функції захисту, передусім  $ZPr_i$ , що може реалізуватися у вигляді  $M(ZPr_i)$ , входячи до  $MPP$ .

Алгоритми засобів  $ZAP$  можуть реалізовувати не тільки пороговий захист, характерний для захисту від відомих небезпек, а й захист від небезпек, які не могли бути передбачені в  $ZPr_i$ . Методи втілення такого захисту тісно пов'язані з окремими реалізаціями  $ZPr_i$ , що відображають процеси функціонування об'єктів, якими передбачається управляти [3; 4]. У нашому випадку такими об'єктами є засоби та пристрої ( $ZPr_i$ ), використовувані в друкарських технологічних процесах. У ролі  $ZPr_i$  можуть розглядатися окремі фрагменти  $DTP$ ; процесами  $OPr_i$  можуть виступати процеси, що реалізуються в суміжних фрагментах  $DTP$  по відношенню до фрагментів, які реалізують  $ZPr_i$ .

Система управління, що реалізує методи прогнозування випадкових подій у  $MPP$ , включає організацію всього процесу прогнозування та використання результатів прогнозу. При реалізації системи управління враховуються всі особливості технологічного процесу, в якому  $MPP$  застосовується, а також береться до уваги специфіка задач, для розв'язку яких використовується прогнозування [5].

Важливою характеристикою процесів прогнозування є величина похибки, яка виникає в окремих процесах системи, способи взаємного впливу окремих похибок у кожній із компонент під час роботи всієї системи прогнозування. На якісному рівні залежності між похибками, що виникають у різних компонентах системи  $MPP$ , полягають у наступному.

Допустима величина похибки та розміри її відхилень визначаються на основі аналізу процесів, що використовують прогнозовані дані, до яких відносяться процеси типу  $ZPr_i$ . Отже, прийmemo, що в результаті аналізу  $ZPr_i$  можна отримати допустимі величини похибок прогнозування, записавши це співвідношенням

$$\mathcal{F}(ZPr_i) \rightarrow (\Delta x_i + \delta_1 x_i)V(\Delta x_i - \delta_2 x_i),$$

де  $\Delta x_i$  — задана точність прогнозування величини  $x_i$ , що входить до складу параметрів, які описують прогнозовану подію  $PP_i$ ;  $\delta_1$  і  $\delta_2$  — допустимі відхилення значень параметрів  $x_i$  від точності прогнозування, що задається величиною  $\Delta x_i$ .

Очевидно, що  $PP_i$  може описуватися рядом параметрів  $\{x_{i1}, \dots, x_{in}\}$ , або наявне співвідношення

$$\mathcal{F}(ZPr_i) = PP_i(x_{i1}, \dots, x_{in}).$$

При цьому попереднє співвідношення буде записано у вигляді:

$$\mathcal{F}(ZPr_i) \rightarrow \{[(\Delta x_{i1} + \delta_{i1} x_{i1})V(\Delta x_{i1} - \delta_{i2} x_{i1}), \dots, (\Delta x_{in} + \delta_{i1} x_{in})V(\Delta x_{in} - \delta_{i2} x_{in})].$$

Необхідність поділу похибки на дві складові, однією з яких є методична похибка, що визначається методом прогнозування, а друга складова — похибка, обумовлювана точністю реалізованих обчислень при використанні процесу прогнозування та точністю, з якою задаються вхідні дані, зумовлюється певними причинами. Загальна величина похибки  $\Delta x_i \pm \delta_{ik} x_i$ , як уже зазначалося, повинна відповідати вимогам процесу  $ZPr_i$ , який використовує дані прогнозування. Зрозуміло, повинно виконуватися співвідношення  $\Delta x_i \geq \delta_{ik} x_i$ , адже для зміни величини  $\Delta x_i$  необхідно певним чином модифікувати  $M(PR_i)$ , або вибирати такий тип процесу реалізації прогнозу  $PR_i$ , який забезпечував би необхідну величину  $\Delta x_i$ . Оскільки модель прогнозування можна інтерпретувати як наближення моделі  $OPr_i$ , методичну похибку можливо пов'язувати з точністю даних про  $OPr_i$ , що можна записати у вигляді  $\delta(OPr_i)$ . Взаємозв'язок між точністю представлення  $OPr_i$  даними  $D(OPr_i)$ , що подаються на вхід  $OPr_i$ , моделлю  $M(PR_i)$  та  $ZPr_i$  можна описати співвідношенням:

$$[\delta(D(OPr_i)) + \delta(OPr_i)] \rightarrow \delta(M(PR_i)) \rightarrow [\delta(D(ZPr_i)) \rightarrow \delta(ZPr_i)]. \quad (1)$$

Елемент  $\delta(D(OPr_i))$  у наведеному співвідношенні встановлює точність вхідних даних, використання яких не призведе до виникнення аномалій у процесі функціонування  $ZPr_i$ . Якісно це означає, що  $\delta(D(ZPr_i))$  визначають точність даних, які допускають прийнятну інтерпретацію процесу  $ZPr_i$ . Розглянемо детально фрагмент співвідношення (1), що стосується

$$[\delta(D(OPr_i)) + \delta(OPr_i)] \rightarrow \delta(M(PR_i)).$$

Зі сторони  $ZPr_i$  встановлено вимоги до точності  $\delta(ZPr_i)$ , які теоретично можуть бути знижені за рахунок  $\delta(D(ZPr_i))$ , якщо відсутня можливість досягти точності  $\delta(ZPr_i)$ . Таким чином, загальне співвідношення можна записати як:

$$\{[\delta(D(OPr_i)) + \delta(OPr_i)] \rightarrow \delta(M(PR_i))\} \& \{[\delta(D(ZPr_i)) \rightarrow \delta(ZPr_i)] \rightarrow \delta(M(PR_i))\} \quad (2)$$

У співвідношеннях (1) і (2) використовуються два типи похибок: похибка вхідних даних  $\delta(D(ZPr_i))$  і  $\delta(D(OPr_i))$  та похибки, що виникають у результаті використання вибраних методів реалізації відповідних моделей  $\delta(ZPr_i)$  й  $\delta(OPr_i)$ , які прийнято називати методичними. Очевидно, що похибки вхідних даних враховуються тільки у випадку, коли  $\delta(D(OPr_i)) > \delta(OPr_i)$  і  $\delta(D(ZPr_i)) > \delta(ZPr_i)$ . Щодо похибки  $\delta(ZPr_i)$  йдеться про зовнішній процес, для якого реалізується процес прогнозування й для здійснення якого необхідні дані, отримані в результаті прогнозування. Точність, яку повинен забезпечувати процес  $ZPr_i$ , задається у вигляді початкової умови, що визначає спосіб реалізації моделі процесу  $ZPr_i$ . Встановлення такої методичної похибки створює умови для коректної інтерпретації моделі  $ZPr_i$  у відношенні до самого процесу  $ZPr_i$ . Отже, похибку  $\delta(ZPr_i)$  можна розглядати як верхню межу допустимої величини похибки. Доцільно

записати, що діапазон зміни величини похибок, які, ймовірно, виникатимуть у системі моделей прогнозування ( $SMP$ ), визначається наступним чином:  $\Delta max(SMP)=[0; \delta(ZPr_j)]$ . При цьому  $\delta(D(ZPr_j)) \in \Delta max(SMP)$ .

Відповідно до (2)  $\delta(D(ZPr_j))$  формується на основі  $\delta(D(OPr_i))$ ,  $\delta(OPr_i)$  та  $\delta(M(PR_j))$ . Оскільки  $OPr_i$  є процесом, що обумовлює виникнення випадкової події, вся інформація про  $OPr_i$  в більшості випадків використовується для побудови моделі прогнозування  $M(PR_j)$ . Якби відомою була модель процесу  $OPr_i$ , фактично будувати  $M(PR_j)$  не поставало би потреби, а випадкова подія  $VP_i$ , яку передбачалось би прогнозувати, представляла б собою результат функціонування відповідної моделі  $M(OPr_i)$ . У такому випадку прийнято вважати, що модель прогнозування  $M(PR_j)$  вироджується в модель процесу  $OPr_i$ , який обумовлює виникнення  $VP_i$ . Відповідно,  $\delta(M(PR_j))$  та  $\delta(OPr_i)$  об'єднаємо в одну похибку, яку будемо відносити до  $M(PR_j)$ . Тоді співвідношення (2) можна записати у вигляді:

$$\{[\delta(D(OPr_i)) \rightarrow \delta(M(PR_i))]\} \& \{[\delta(D(ZPr_i)) \rightarrow \delta(ZPr_i)] \rightarrow \delta(M(PR_i))\}.$$

Оскільки  $ZPr_i$  використовує  $VP_i$ , отриману з  $M(PR_j)$ , вимоги до точності, сформовані в  $ZPr_i$  є ключовими, що допускає інтерпретацію співвідношення між  $\delta(D(OPr_j))$  і  $\delta(ZPr_j)$  у вигляді  $\delta(ZPr_j) \leq \delta(M(PR_j))$  і, таким чином,  $\delta(ZPr_j) < \delta(D(OPr_j))$ . Подане співвідношення означає, що точність прогнозу не повинна бути більшою від точності, необхідної процесу, який використовує дані прогнозування.

Оцінювати величину похибки, що виникає, при реалізації процесів прогнозування можна на основі підходів, які в загальному взаємопов'язані:

- проведення дослідження точності, яку забезпечує модель прогнозування, що найбільшою мірою відповідає похибкам методичним;
- встановлення залежності між загальними параметрами, що характеризують процес прогнозування, й на основі дослідження визначення залежності між похибками різних типів та відповідними параметрами системи прогнозування в цілому;
- вивчення фізичних компонентів процесу прогнозування для виявлення їх впливу на величину похибки.

Перший підхід тісно пов'язаний з типом моделі прогнозування, яку передбачається використовувати. Наприклад, якщо функцією прогнозування виступає многочлен, точність представлення прогнозуючої функції може оцінюватися останнім членом відповідного подання, який не використовується в прогнозуючій функції. При такому підході модель прогнозування розглядається як така, що в певному наближенні відповідає моделі процесу  $M(OPr_j)$ , обумовлюючи виникнення  $VP_i$ . Відповідно, можна проводити оцінку методичної похибки на основі визначення міри адекватності моделі прогнозування  $M(PR_j)$  у відношенні до моделі  $M(OPr_j)$ , яка описує процес, що обумовлює виникнення  $VP_i$ .

Оскільки існує необхідність використовувати модель  $M(PR_j)$ , це означає, що відсутня можливість побудувати модель  $M(OPr_j)$ , яка б з потрібною точністю формувала подію, відповідну до  $VP_i$ . У такому випадку можна використовувати уявлення про допустимі помилки для порівняння точності, з якою

забезпечує  $M(OPr_i)$  формування інформації про  $VP_i$ , з точністю даних про  $VP_i$ , яку вимагає процес  $ZPr_i$  та відповідна модель  $M(ZPr_i)$ .

Другий підхід до оцінки похибки прогнозування полягає у виявленні залежності між  $\delta(M(PR_i))$  та параметрами, які є залежними для всієї системи прогнозування. Один із таких параметрів — інтервал прогнозування  $\Delta t_i$ . Приймаючи, що прогноз полягає в передбаченні деякої події  $VP_i$ , період  $\Delta t_i$  визначає час, через який прогнозується  $VP_i$ . Вважатимемо, що зі збільшенням інтервалу  $\Delta t_i$  точність прогнозу  $\delta(M(PR_i))$ , або величина похибки прогнозу, найчастіше зростає. Це обумовлено природним припущенням, що протягом  $\Delta t_i$  можуть відбуватися процеси, безпосередньо пов'язані з  $VP_i$ , однак  $M(PR_i)$  їх уже не може враховувати, оскільки модель завершила своє функціонування. В більшості випадків залежність між  $\delta(M(PR_i))$  та  $\Delta t_i$  приймається лінійною й може коректуватися лише на основі даних про попередні прогнози, що певною мірою ідентичні поточному прогнозу. Залежність опишемо у вигляді:

$$\delta(M(PR_i)) = \alpha \Delta t_i + \beta, \quad (3)$$

де  $\alpha$  — коефіцієнт пропорціональності, що визначає пропорцію між величиною  $\delta(M(PR_i))$  та  $\Delta t_i$ ;  $\beta$  — величина зміщення, визначає початковий момент відліку  $\delta(M(PR_i))$  і, відповідно,  $\beta$ . З урахуванням (3) при збільшенні  $\Delta t_i$  величина похибки прогнозування  $\delta(M(PR_i))$  може зростати. Період часу  $\Delta \tau_i$ , який встановлює час актуальності  $VP_i$  для  $ZPr_i$ , найбільшою мірою залежить від  $ZPr_i$  і визначається моделлю  $M(ZPr_i)$ . Зауважимо, що  $ZPr_i$  визначає  $\Delta \tau_i$  за умови, що параметри  $VP_i$  протягом часу  $\Delta \tau_i$  відповідатимуть актуальним на період  $\Delta \tau_i$  значенням  $VP_i$ . Таку актуальність будемо називати стійкістю  $VP_i$ , у зв'язку з чим введемо її визначення.

**Визначення 2.** Стійкість  $VP_i$ , або  $S(VP_i)$ , на інтервалі часу  $\Delta \tau_i$  означає, що параметри прогнозованої події  $VP_i$  є адекватними параметрами реальної події  $VP_i^*$ , яка виникла згідно з прогнозом, реалізованим моделлю  $M(PR_i)$ .

Оскільки  $S(VP_i)$  означає відповідність параметрів  $VP_i$  параметрам  $VP_i^*$ , цей параметр також належить до  $M(PR_i)$ . Означений факт опишемо співвідношенням

$$S(VP_i) = F[ZPr_i, M(PR_i)]. \quad (4)$$

Якщо прийняти, що  $\Delta \tau_i$  є величиною скінченною, це означає, що параметри  $VP_i^*$  протягом  $\Delta \tau_i$  змінюватимуться, і в певний момент вони зміняться настільки, що  $ZPr_i$  їх використовувати недоцільно. Зміну параметрів  $VP_i^*$  можна інтерпретувати як збільшення похибки  $VP_i$ , спрогнозованої в кінці інтервалу  $\Delta \tau_i$ , протягом інтервалу  $\Delta \tau_i$ , що можна записати у вигляді:

$$\delta(VP_i) = \delta[VP_i^*(\Delta \tau)] + \delta[M(PR_i)]. \quad (5)$$

Подане співвідношення означає, що похибка  $VP_i$  залежить від  $\Delta \tau_i$  та початкового значення похибки, яку створює методика прогнозування, реалізовувана у вигляді  $M(PR_i)$ . Враховуючи (4) і (5), можна записати співвідношення:

$$\delta[VP_i^*(ZPr_i)] = \delta[VP_i^*(\tau)] + \delta[M(PR_i)],$$

з якого випливає, що похибка  $\delta(VP_i)$ , яка допускає інтерпретацію стійкості прогнозованої події  $VP_i$ , визначається періодом актуальності прогнозу  $\Delta \tau_i$  та збільшується з підвищенням  $\tau_i$ .



Час  $\Delta T$ , який визначає період прогнозування і включає аналіз вхідних даних, вибір або формування моделі  $M(PR)$ , а також час реалізації обчислень, здійснюваних  $M(PR)$ , є важливим параметром, що впливає на величину похибки. Його використовують у тих випадках, коли прогнозування повинно реалізовуватися за певних часових обмежень, наприклад, у режимі реального часу, який задається зазвичай процесами  $ZPr_i$ . Прийmemo, що похибка прогнозування зменшиться при збільшенні  $\Delta T$ . Таке припущення з якісної точки зору є обґрунтованим, оскільки зі зростанням  $\Delta T$  можна застосовувати складніші алгоритми, які реалізують аналіз вхідних даних  $D(OPr_j)$ , та алгоритми, закладені в модель  $M(PR)$ . Таким чином, похибка прогнозування прямо пропорційно зменшується при збільшенні  $\Delta T$ , що формально можна записати співвідношенням:

$$\delta[M(PR)] = \lambda/\Delta T,$$

де  $\lambda$  — коефіцієнт пропорційності. Очевидно, що всі наведені залежності між різними складовими похибок прогнозування можна привести до однієї складнішої залежності.

**Висновки.** Теоретично підтверджено, що аналіз відповідних процесів потрібно проводити з урахуванням усіх елементів, які можуть впливати на виникнення події. Подано визначення неочікуваної події та стійкості.

Встановлено, що для розв'язку задач прогнозування необхідно будувати моделі прогнозування так, щоб максимально адаптувати їх не тільки до вхідних або статистичних даних, використовуваних для побудови моделей прогнозу, а й до умов та особливостей процесів, у рамках яких відбуваються події, що передбачається прогнозувати. Розглянуті алгоритми засобів можуть реалізовувати не тільки пороговий захист, характерний для захисту від відомих небезпек, а й захист від небезпек, які не могли бути передбачені.

Окрім інших характеристик процесів прогнозування, увагу акцентовано на величині похибки, яка виникає в окремих процесах системи, способах взаємного впливу окремих похибок у кожній із компонент під час функціонування всієї системи прогнозування.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов О. В. Прогнозирование состояния технических систем / О. В. Абрамов, А. Н. Розенбаум. — М. : Наука, 1990. — 126 с.
2. Грешилов А. А. Анализ и синтез стохастических систем. Параметрические модели и конфлюентный анализ / А. А. Грешилов. — М. : Радио и связь, 1991. — 320 с.
3. Шурыгин А. М. Прикладная стохастика: робастость, оценивание, прогноз / А. М. Шурыгин. — М. : Финансы и статистика, 2005. — 224 с.
4. Скворцова Т. С. Оценка сложности генетического алгоритма оптимизации параметров модели прогнозирования / Т. С. Скворцова // Математическое программное обеспечение вычислительных систем : межвуз. сб. — М. : Горячая линия – Телеком, 2009.
5. Смоляк С. А. Устойчивые методы оценивания / С. А. Смоляк, Б. П. Титаренко. — М. : Статистика, 1980. — 89 с.

## REFERENCES

1. Abramov A. (1990). *Prognozirovanie sostoiania tehnikeskikh systems* / A. Abramov, A. N. Rosenbaum. M.: Nauka, 126 s. [in Russian]
2. Greshilov A. (1991). Analiz i syntes of stohasticheskikh system. Parametricheskie modeli i konfluentnyi analiz / A. Greshilov. M.: Radio and communications, 320 s. [in Russian]
3. Surygin A. M. (2005). *Prikladnaia stohastika: robastost', ocenivanie, prognoz* / A. M. Šurygin. M.: Finansy i statistika, 224 s. [in Russian]
4. T. Skvortsova, (2009), *Ocenka slozhnosti geneticheskogo algoritma optimizacii parametrov modeli prognozirovania* / T. Skvortsova // *Matematicheskoe programmnoie obespechenie vychislitel'nyh system : mezhvuz. sb.* M.: Gorachaia liniia–Telecom, [in Russian]
5. Smoliak, S. (1980), *Ustoichivye metody ocenivania* / S. Smoliak, B. Titarenko. M.: Statistica, 89 s. [in Russian]

**THEORETICAL FEATURES OF ADDITIONAL FACILITIES DESIGN,  
FOR THE USE IN FORECASTING PROBLEMS**

B. V. Durniak<sup>1</sup>, M. M. Kliap<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pidholosko St., Lviv, 79020, Ukraine*

<sup>2</sup>*Uzhgorod National University,  
14, Universytetska St., Uzhgorod, 88000, Ukraine*

*The article presents characteristic of design peculiarities of additional means, intended to use in problems forecasting. Installed on the approaches to the formation of the overall process of forecasting, as well as approaches to the estimation of the magnitude of the error that occurs when implementing the processes of prediction; confirmed their relationship.*

**Keywords:** *forecasting, forecasting models, random event, an unexpected event, sustainability, the magnitude of the error.*

*Стаття надійшла до редакції 11.05.2015.*

*Received 11.05.2015.*