

ІНФОРМАЦІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ ПРОГНОЗУВАННЯ РІДКИХ ПОДІЙ

Проаналізовано основні елементи розширеної системи прогнозування рідких подій. Розглянуто умови забезпечення точності прогнозування систем управління технологічними процесами.

Ключові слова: прогнозування, модель, міра адекватності, елімінування, система, апроксимація.

The basic elements of the extended system of rare events forecasting have been analyzed. The article shows the conditions to ensure the forecasting accuracy of the control systems of technological process.

Keywords: forecasting, model, measure of adequacy, elimination, system, approximation.

1. ВСТУП

Реалізація розширеної системи прогнозування вимагає цілий ряд додаткових засобів, які дозволили б пов'язати між собою окремі компоненти та забезпечили б відповідні компоненти додатковою оперативною інформацією в процесі функціонування всієї системи прогнозування (*SP*). Для конструктивного аналізу додаткових засобів, будемо їх розглядати у тісному зв'язку з основними компонентами *SP*.

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

З компонентою, якою є модель зовнішнього процесу $M(ZPr_i)$, що використовує дані прогнозу, зв'язані наступні елементи, що обслуговують відповідну модель, при розв'язуванні системою прогнозування (*SP*) загальної задачі:

- Елементи аналізу даних, що подаються в ZPr_i для використання при розв'язуванні загальної задачі,
- Елементи синхронізації роботи $M(ZPr_i)$ з іншими компонентами системи,
- Елементи, що визначають необхідні модифікації в *SP* у випадку виникнення аномалій в ZPr_i .

³Ужгородський національний університет

З компонентою, якою є певне наближення моделі процесу, що обумовлює виникнення випадкової події VP_i , або обумовлюючого процесу OPr_i , зв'язані наступні елементи:

- Елементи аналізу міри адекватності моделі $M(OPr_i)$ реальним процесам OPr_i , що обумовлюють виникнення VP_i ,
- Елементи, що проводять аналіз вхідних даних, які представляють собою засоби активізації процесів OPr_i , що існують незалежно від того, на скільки відомі механізми реалізації самих процесів типу OPr_i ,
- Засоби, що використовуються для визначення міри адекватності моделей $M(OPr_i)$ по відношенню до самих процесів OPr_i .

Компонента, якою є модель реалізації процесу прогнозування $M(PR)$ і яка є однією з ключових компонент системи SP, потребує досить складних засобів, які на основі даних про $M(OPr_i)$ та на основі вимог, які формуються в рамках $M(ZPr_i)$, дозволяють формувати такі моделі прогнозування, які в найбільшій мірі забезпечують можливість розв'язування задач прогнозування з необхідною мірою повноти та точності опису події, стосовно якої передбачається реалізовувати прогноз. Засоби, що використовує така компонента представляють собою наступні функціонально орієнтовані елементи:

- Елементи визначення міри адекватності $M(OPr_i)$ по відношенню до процесів OPr_i ,
- Елементи узгодження вимог, що формуються в $M(ZPr_i)$, з можливостями, які надає $M(OPr_i)$ та $M(PR)$,
- Засоби реалізації синтезу різних методів елімінації неадекватності $M(OPr_i)$ по відношенню до OPr_i з вимогами, що формуються в рамках моделі $M(ZPr_i)$,
- Засоби формування окремої моделі прогнозування $M(PR)$, яка реалізується на основі даних про результати синтезу засобів елімінації неадекватності $M(OPr_i)$ і OPr_i та засобів узгодження вимог, що формуються в $M(ZPr_i)$ та засоби реалізації зв'язку $M(PR)$ з загальною системою управління процесом прогнозування (USP).

Система управління USP є компонентою, яка не тільки пов'язує між собою приведені вище компоненти $M(OPr_i)$, $M(ZPr_i)$ та $M(PR)$ а і здійснює управління процесом функціонування системи в цілому. Для реалізації такої функції, система USP використовує наступні елементи, що пов'язані з усіма компонентами:

- Елементи формування окремих компонент $M(PR)$, які є, по суті, засобами елімінації виділених невідповідностей між $M(OPr_i)$ та OPr_i , такі фрагменти будемо позначати $\varphi_i[M_i, OPr_i]$, де M_i означає фрагмент $M_i(OPr_i)$, а φ_i визначає відповідні фрагменти OPr_i представлені засобами елімінації неадекватності $M(OPr_i)$ та OPr_i ,
- Засоби аналізу даних процесу прогнозування на відповідність цих даних вимогам, які сформовані в рамках моделі $M(ZPr_i)$,
- Засоби синхронізації процесу сумісного функціонування $M(OPr_i)$, $M(PR)$ та $M(ZPr_i)$ в рамках системи SP ,
- Засоби реалізації оберненого зв'язку між результатами, що отримані, при функціонуванні $M(ZPr_i)$ та вхідними даними $D(OPr_i)$ і, відповідно, $M(PR)$,
- Засоби, що на основі даних результату аналізу оберненого зв'язку, формують оцінку роботи системи SP , або формують додаткові вимоги до модифікації системи в цілому,
- Засоби аналізу еволюційних параметрів системи прогнозування випадкових подій.

В рамках даної роботи приймається, що модель $M(PR)$ тісно пов'язана з $M(OPr_i)$. Це може означати, що уявлення про OPr_i можна описати на певному рівні загальності, якого не достатньо для того, щоб можна було з допомогою відповідної моделі отримувати описи подій, які були б еквівалентними подіям типу VP_i . Загальність, в даному випадку, означає, що в рамках формального представлення OPr_i в $M(OPr_i)$ відсутні явні описи залежностей, що необхідні для того, щоб на основі $D(OPr_i)$ сформулювати дані про події VP_i^* , які є аналогом, або наближенням випадкових подій VP_i . В цьому випадку, $M(PR)$ може представляти собою деяку сукупність інтерполяційних, або апроксимаційних залежностей, які з необхідною мірою точності відображають залежності, що відсутні в рамках $M(OPr_i)$.

Будь яка апроксимація, для своєї реалізації потребує початкових даних [1]. В класичному випадку, такі дані представляють собою множину значень незалежних аргументів x_i і, відповідну їх множину значень функції, яку передбачається апроксимувати [2]. На відміну від таких випадків, апроксимація, про яку йде мова в нашому випадку, повинна ґрунтуватися на множині даних незалежної змінної, які відповідають одній точці на осі часу, відображають різні реалізації такої апроксимуючої функції та множину відповідних значень функції, яку передбачається апроксимувати, при чому, такі значення функції

$y = f(x)$ відповідають кінцевому моменту часу реалізації такого процесу. Цей випадок відповідає підходу до побудови $M(PR)$, який ґрунтується на використанні статистичних даних, що відповідають деякому моменту часу. В більшості випадків має місце ситуація, коли інформація про OPr_i , яка використовується для формування $M(PR)$, стосується початкових даних про OPr_i . Це є підставою для того, щоб можна було сформувати множину текучих даних про OPr_i , при подальших модифікаціях $M(PR)$, яка може здійснюватися на текучих циклах функціонування SP . Завдяки такій інформації є можливим формулювати нові умови, що накладаються на множину $\{x_{i1}, \dots, x_{in}\} \subset OPr_i$. Такі умови можуть полягати у визначенні функцій розподілу ймовірності для множин $X = \{x_{i1}, \dots, x_{in}\}$, визначення оцінок базових моментів відповідного випадкового процесу, наприклад, математичного очікування $M(X)$, дисперсію $\sigma^2(X)$ та інші [3].

Оскільки система SP розглядається в комплексі, в який входять інформація про OPr_i , $M(PR)$, ZPr_i , як основні компоненти, то можна припустити, що процеси OPr_i та ZPr_i пов'язані між собою. Це дозволяє формувати вимоги до змінних y_i , що формуються на виході $M(PR)$. Прикладом найпростіших вимог можуть служити граничні значення для змінних y_i та інші. Формально, приведені взаємозв'язки можна описати наступними співвідношеннями.

$$\{[Pa_i = F(OPr_i)] \& [M(PR) = F(Pa_i, X)]\} \& \{y_i = \Phi[M(PR), U(ZPr_i)]\}, (1)$$

де Pa_i – дані про OPr_i , що відомі на момент формування, або модифікації $M(PR)$, $U(ZPr_i)$ – дані оберненого зв'язку, що можуть виникати після першого циклу функціонування SP . Міра адекватності моделі $M(OPr_i)$ даним про OPr_i , визначається не стільки узгодженістю між даними, що отримані в результаті використання $M(PR)$ та даними, що отримані на основі аналізу OPr_i , а узгодженістю даних, що отримані в результаті реалізації процесів ZPr_i з даними, що використовувались для формування $M(OPr_i)$. Наприклад, якщо використання процесів, що описуються в (2.10) в друкарських технологічних процесах (DTP) приведе до підвищення якості процесу і, відповідно, до підвищення якості продукції, то міра адекватності може визначатися мірою зміни параметрів якості продукції, яка продукується з врахуванням процесів, що описуються в (2.10). Очевидно, що міру адекватності між $M(OPr_i)$ та OPr_i можна визначати на рівні аналізу відповідних складових, але, в кінцевому результаті, цей фактор має свою значимість, при його впливі на кінцевий продукт технологічного процесу.

Процеси OPr_i , в певному сенсі, можна вважати процесами негативними, оскільки вони, приймаються як такі, що приводять до виникнення випадкових подій, що негативно впливають на процес. Відповідні події визначаються як такі, що приводять до виникнення недопустимих відхилень. В цьому випадку, процеси ZPr_i представляють собою засоби протидії відхиленням, що можуть виникати в наслідок дії на DTP випадкових подій типу VP_i . Це означає, що засоби ZPr_i повинні, при виникненні VP_i , функціонувати в режимі реального часу, що означає, що швидкість їх реалізації $V(ZPr_i)$ повинна бути вищою від швидкості реалізації технологічного процесу DTP , яку будемо позначати $V(DTP)$, або повинно виконуватися співвідношення $V(ZPr_i) > V(DTP)$. Для того, щоб забезпечити цю вимогу, необхідно розв'язувати задачу прогнозування виникнення певних значень параметрів процесів OPr_i , які обумовлюють виникнення VP_i , зі швидкістю, яка б забезпечила можливість виконання приведеної вище вимоги. В цьому сенсі, прогнозування VP_i моделлю $M(PR)$ представляє собою процес, який передбачає можливість негативного впливу OPr_i на DTP в цілому. З точки зору реалізації $M(PR)$ та з точки зору функціонування OPr_i , швидкість отримання кінцевих результатів функціонування OPr_i , або $V[M(OPr_i)]$ є вища від швидкості функціонування OPr_i , або $V(OPr_i)$. В цьому випадку, можна говорити, про існування прогнозу виникнення VP_i , завдяки якому можна було би запобігати негативному впливу VP_i на DTP на різних стадіях функціонування OPr_i . Для стадії функціонування OPr_i , коли останній є ініційований, що приводить до виникнення VP_i , яке передбачується $M(PR)$, використовуються засоби протидії, що реалізовані в рамках процесу ZPr_i . Якщо проводити аналіз даних $Da^V(OPr_i)$, які є вхідними даними для процесу, то можна прийняти, що не у всіх випадках буде проводитися ініціація OPr_i , яка може привести до появи VP_i . Для часткового виявлення таких випадків, доцільно використовувати стосовно прості засоби аналізу $Da^V(OPr_i)$, алгоритми яких формуються на основі аналізу OPr_i . Очевидно, що на практиці даних про OPr_i є не достатньо, в протилежному випадку, не було би потреби використовувати моделі типу $M(PR)$. Тому, якщо обмежитися пороговими критеріями, які представляють собою комбінацію порогів різних вхідних змінних, то виникає можливість визначити момент активізації OPr_i . Така можливість існує, якщо прийняти, що $X = \{x_{i1}, \dots, x_{in}\}$, що використовуються як вхідні дані для $M(PR)$, генеруються в рамках OPr_i . В класичних випадках розв'язку задач прогнозування не використовуються уявлення про OPr_i .

Визначення міри адекватності $M(OPr_i)$ по відношенню до OPr_i фактично визначає доцільність використання в схемі (2.10) компоненти $M(PR)$. Виходячи з приведеного підходу, міра адекватності $M(OPr_i)$ процесу OPr_i визначається мірою складності $M(PR)$. Складність $M(PR)$ можна визначити на основі аналізу наступних факторів, що стосуються самої моделі. Складністю функції $f(x)$ у моделі $F(x) = f(x) + \varepsilon$, якщо в якості $M(PR)$ використовується регресійна функція прогнозування. Як відомо, для прогнозування можуть використовуватися оцінки автокореляційних функцій процесу, в рамках якого проводиться прогнозування і т.д. [4,5]. Складність моделі $M(PR)$ може визначатися не тільки структурно, а і на основі параметрів, що її характеризують. Таким параметром, як уже зазначалось, є точність прогнозування, яка може визначатися на основі одного параметру Δt_i , точність прогнозування може визначатися точністю параметрів, що характеризують VP_i і т.д. Можна стверджувати, що міра адекватності $M(OPr_i)$ до процесу OPr_i визначає міру необхідності використання $M(PR)$. Оскільки, практично, $M(OPr_i)$ суміщається з $M(PR)$, то не будемо окремо займатися методами визначення величини цієї міри.

Всі базові компоненти, що використовуються в SP , повинні між собою узгоджуватися не тільки в рамках інформаційного інтерфейса, який забезпечує передачу даних з однієї компоненти до іншої, а і в рамках функціональних вимог до співпраці між собою. Функціональне узгодження реалізується в рамках наступних факторів, які треба узгоджувати:

- Вимог до алгоритмів реалізації взаємодії окремих компонент,
- Синхронізації процесів функціонування компонент в рамках всієї системи управління SP ,
- Виявлення змін у процесах взаємозв'язку з ціллю їх підтримки та розвитку, або з ціллю їх елімінації, якщо останні приводять до порушення взаємодії компонент

Наявність різних компонент в рамках системи обумовлює існування взаємних вимог між компонентами, які необхідно виконувати, при реалізації їх взаємодії. Між такими компонентами існує функціональна ієрархія, яка визначає компоненти, які формують умови взаємозв'язку та компоненти, що повинні такі умови виконувати. Найвищий функціональний рівень в SP має компонента ZPr_i . Ця обставина є природною, оскільки процес ZPr_i є основним споживачем результатів роботи іншої компоненти, якою

є модель прогнозування. До вимог, які можна віднести до ZPr_i , що формуються по відношенню до $M(PR)$, слід віднести наступні:

- Надання даних про VP_i , що сформовані в $M(PR)$, повинно здійснюватися у відповідності з встановленим протоколом передачі даних між компонентами
- Діапазон допустимих значень параметрів повинен перевірятися в рамках засобів контролю, фрагмент яких може бути суміщений з $M(PR)$,
- Крім параметрів, що описують саму подію VP_i , $M(PR)$ повинен передавати до $M(ZPr_i)$ загально системні параметри, наприклад, параметри точності прогнозування, параметр, що визначає час існування VP_i в системі та інші.

Оскільки, всі компоненти в SP працюють сумісно, то їх функціонування повинно певним чином синхронізуватися. Переважно, синхронізація реалізується загальним алгоритмом управління всією системою SP . В даному випадку, найпростішим режимом функціонування є послідовний режим. Він полягає у наступному. На вхід SP подаються дані, які активізують функціонування OPr_i . Якщо в SP існує $M(OPr_i)$, або її фрагмент, то відповідно активізується $M(OPr_i)$, чи $M^*(OPr_i)$. У випадку, коли $M^*(OPr_i)$ суміщено з $M(PR)$, то незважаючи на це будемо вважати, що $M^*(OPr_i)$ активізується першим. В загальному, активізація процесу OPr_i не є актуальною для SP , оскільки SP повинно виявляти ті ситуації, коли OPr_i може сформувати умови виникнення VP_i , яке необхідно передбачити. У зв'язку з цим, в SP проводиться аналіз актуальності вхідних даних, що поступають на вхід $M^*(OPr_i)$ і, відповідно, приводять до активізації OPr_i . Завдяки аналізу актуальності $Da^V(OPr_i)$ можна на окремих циклах роботи SP уникнути активізації всієї системи. Таким чином, узгодження вимог, що формуються в ZPr_i , з умовами функціонування $M(PR)$, реалізується в рамках системи управління SP .

Для визначення методів елімінації неадекватностей між компонентами систем, необхідно визначити типи можливих аномалій, що обумовлюють виникнення невідповідностей. До таких аномалій можна віднести:

- Формування окремими процесами вимог, які не можуть бути виконані моделями, що взаємозв'язані з відповідними процесами, або їх моделями,
- Зміна режиму синхронізації, який не може бути виконаний в силу умов, що виникають в SP ,

- Виникнення даних в каналах обернених зв'язків, які не узгоджені з текучими даними тих компонент, з якими відповідні дані пов'язані.

Методи елімінації неадекватностей можна розглядати як методи усунення аномалій, приклади яких приведені вище.

Перша аномалія може породжуватися процесом ZPr_i , який використовує дані, що формують $M(PR)$. Прикладом відповідних вимог, може служити вимога по наданню додаткових параметрів про VP_i , що генерується $M(PR)$. Наприклад, якщо модуль $M(PR)$ передає в $M(ZPr_i)$ лише ідентифікатор події та інтервал часу Δt_i , а $M(ZPr_i)$ потребує іще параметра, який характеризував би деяку особливість дії VP_i на деякий фактор, що може бути описаний в $M(ZPr_i)$, то виникає аномалія, що полягає у відсутності необхідної інформації про VP_i . Елімінація такої аномалії може полягати у розширенні функціональних можливостей $M(PR)$, які можуть закладатися в самій моделі, або можуть виникати в ній в результаті модифікації моделі $M(PR)$. Окремі механізми реалізації таких розширень, чи модифікації моделі $M(PR)$ суттєво залежать від предметної області, яка в найбільшій мірі описується в $M(ZPr_i)$.

У зв'язку з приведеним вище, розглянемо можливі методи модифікації моделей $M(PR)$ на основі виявлення аномалій. Для того, щоб можна було говорити про модифікацію, яка в даному випадку, повинна відбуватися без участі користувача, то необхідно представити саму модель у вигляді деякої структури $S[M(PR)]$. Одним з прийнятих методів формування деякої структури ґрунтується на використанні засобів математичної логіки [6]. Її використання дозволяє відобразити достатньо складні взаємозалежності, що можуть виникнути в структурі. Математична логіка дозволяє описувати логічні наближення довільних багатофункціональних систем. Це означає, що функціональні зв'язки між окремими компонентами інтерпретуються на множині $\{0,1\}$ і означають функціональну сумісність, чи її відсутність. Будемо позначати окрему компоненту змінною x_i . Якщо компоненти x_i та x_j функціонально сумісні, то це означає, що значення функції $\varphi(x_i, x_j) = 1$. У випадку, коли x_i та x_j функціонально не сумісні, то $\varphi(x_i, x_j) = 0$. З точки зору логічної інтерпретації $\varphi(x_i, x_j)$, останню можна замінити кон'юнкцією, або $\varphi(x_i, x_j) = x_i \& x_j$ (2.11). Така функціональна сумісність означає наявність спільного інтерфейсу, який є двохстороннім. Якщо зв'язок між компонентами односторонній, то відповідна функція $\varphi(x_i, x_j)$ запишеться в явному вигляді наступним чином:

$$\varphi(x_i, x_j) = \neg(\neg x_i \rightarrow x_j). \quad (2.12)$$

Ця функція описує наявність зв'язку, при приведеній інтерпретації логічних змінних лише в тому випадку, коли зв'язок можливий від x_i до x_j , а від x_j до x_i не допустимий. Якщо допустимим є зв'язок між x_j і x_i , а навпаки не допустимий, то в формулі (2.11) x_i і x_j міняються місцями. У випадку розпаралеленої структури, остання запишеться у вигляді:

$$\Psi(x_{i1}, \dots, x_{in}) = \varphi_1(x_{i1}, x_{i2}) \vee \dots \vee \varphi_m(x_{in-1}, x_{ik}).$$

Послідовні фрагменти структур описуються наступним співвідношенням:

$$\Psi(x_{i1}, \dots, x_{in}) = \varphi_1(x_{i1}, x_{i2}) \& \dots \& \varphi_m(x_{in-1}, x_{ik}).$$

Для впровадження синхронізації в активізований процес певної структури, вводяться часові мітки до кожної функції $\varphi_k(x_i, x_j)$, яка описує зв'язок між елементами x_i і x_j . В цьому випадку, фрагмент довільної структури може бути представлений наступним співвідношенням:

$$S(\Psi) = \eta_i \varphi_j(x_{ik}, x_{ij}) \vee \eta_j \varphi_j(x_{ji}, x_{ikj}) \vee \dots \vee \eta_k \varphi_k(x_{ki}, x_{kj}) \& \dots \& \eta_m \varphi_m(x_{mi}, x_{mj}),$$

де η_i – часова мітка в межах виділеного циклу роботи системи SP , або $\eta = 1, 2, \dots, m$. Приведений опис структури передбачає використання цілого ряду компонент. При обговоренні системи SP , мова йде, в першу чергу про три компоненти $M(OPr_i)$, $M(PR)$, $M(ZPr_i)$.

В реальній системі рехнологічного процесу може йти мова про довільну кількість випадкових подій VP_i , які можуть обумовлюватися різними OPr_i і, відповідно, можуть бути орієнтовані на різні процеси ZPr_i . Тому, можна говорити про цілі структури системи прогнозування, що можуть пов'язувати в рамках цієї структури, на логічному рівні, різні випадкові події, які можуть відбуватися в деякій системі.

Очевидно, що в рамках всієї структури системи прогнозування може існувати цілий ряд моделей $M(PR)$, кожна з яких пов'язана з окремим процесом типу OPr_i . Одним з важливих елементів $M(PR)$ є функція прогнозування $f(x)$, яка, в залежності від OPr_i , може мати певні відмінності по відношенню до інших $M(PR)$. Така відмінність може полягати у вигляді та аункціональних можливостях $f(x)$. Наприклад, якщо прогнозування реалізується на основі використання функції регресії, то $f(x)$ може представляти собою лінійний многочлен, вираз $f(x)$ може представляти собою деяку апроксимаційну функцію, що, в більшості випадків, представляє

собою нелінійний многочлен n -го степеня і т.д. Тому, в рамках системи SP , що обслуговує різні OPr_i , можуть розміщатися різні типи функцій прогнозування. В рамках SP модифікація $M(PR)$ залежить від даних про OPr_i , які описуються в формі $M(OPr_i)$. Такі дані можуть представляти собою множини випадкових величин x_i , окремі їх оцінки $E(x_i)$, чи $\sigma^2(x_i)$, або функції, що апроксимують відповідні змінні. Якщо $M(OPr_i)$ є повним описом OPr_i , то вона представляє собою аналітичну модель і VP_i вироджується у визначену подію, або $VP_i \rightarrow WP_i$. Таким чином, $M(PR)$, яке орієнтоване на доповнення $M(OPr_i)$, відповідне доповнення, в залежності від необхідної його величини, реалізується у наступному вигляді. У випадку, коли оцінки множини даних $\{x_{i1}, \dots, x_{in}\}$ відповідають лінійним функціям апроксимації, то доповнення $M(OPr_i)$ є мінімальне і $M(PR)$ представляє собою лінійну функцію регресії. У випадку, коли лінійної функції регресії виявиться не достатньо, то прогнозуюча функція $f(x)$ представляє той, або інший многочлен певного степеня і т.д. Міра доповнення $M(OPr_i)$, яка в певному наближенні описує OPr_i , може полягати в тому, що прогнозується VP_i у вигляді деякої інтегральної оцінки, що інтерпретується як та, чи інша подія VP_i . Така ситуація має місце, коли в якості інтегральної оцінки вибирається спектральна густина потужності, чи оцінка ентропії випадкового процесу, яким є вхідна послідовність для $M(PR)$, що описується в рамках моделі $M(OPr_i)$ [7].

Для реалізації модифікацій тих, чи інших $M_i(PR)$, необхідно, щоб в рамках SP існували обернені зв'язки. Такі обернені зв'язки повинні існувати між $M(ZPr_i)$ та засобами модифікації $M_i(PR)$. До таких засобів можна віднести наступні:

- засоби аналізу даних, що поступають з $M_i(ZPr_i)$,
- засоби ідентифікації певного типу модифікацій, що визначаються на основі даних з $M_i(ZPr_i)$,
- засоби реалізації процесів модифікації $M_i(PR)$.

Інформація від $M_i(ZPr_i)$ по обернених зв'язках передається тільки в тих випадках, коли дані про VP_i виявляються з певних причин не достатніми для нового розв'язку задач, що розв'язуються в рамках $M_i(ZPr_i)$. Оскільки різні ZPr_i тісно пов'язані з конкретними предметними областями, то причини активізації обернених зв'язків будемо розглядати на загальному рівні. До причин активізації обернених зв'язків між $M_i(ZPr_i)$ і SP можна віднести наступні:

- Недостатньо точне визначення Δt_i для VP_i ,

- Відсутність окремих параметрів VP_i , необхідність в яких могла виникнути на текучих циклах функціонування ZPr_i і, відповідно, $M_i(ZPr_i)$,
- Необхідність прогнозування додаткового VP_i^j , який може бути зв'язаний з VP_i , прогнозування якого закладалось, при пректуванні системи SP ,
- Необхідність загальної оцінки SP через деякий період функціонування системи.

3. ВИСНОВКИ

Прогнозування VP_i в більшості випадків пов'язане з визначенням моменту виникнення VP_i , яке є необхідним для ZPr_i . Тому, збільшення точності визначення величини Δt_i тісно пов'язане з об'ємом вхідної виборки, що використовується для прогнозування, яка описується в $M(OPr_i)$, з можливостями моделі прогнозування, які, в основному, залежать від $f(x)$ з $F(x) = f(x) + \varepsilon$. Прийнято вважати, що можливості по забезпеченню точності прогнозування залежать від порядку i , відповідно, від складності функції $f(x) \in F(x)$. Відсутність окремих параметрів VP_i вимагає використання засобів прогнозування, що стосуються метрів, що приводить до необхідності використання $F(\xi) = f(\xi) + \varepsilon$, де ξ – відповідний параметр VP_i .

1. *Вопросы математической теории надёжности. М.: Радио и связь, 1983. -376 с.* 2. *Надёжность технических систем: Справочник. М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.* 3. *Jakubowski J., Sztencel R. Wstep do teorii prawdopodobienstwa. CRIPT, Warszawa, 2001.* 4. *Grabski F., Zaleska-Fornal A. The Model of Non-Renewal Reliability Systems with Dependent Time Lengths of Component. Electronic Jo. 2000.* 5. *Schervish M.J. Theory of Statistics. Springer, NewYork, 1997.* 6. *ШенфилдДж. Математическая логика. М.: Наука, 1975ю – 527 с.* 7. *Шахтарин Б.И. Случайные процессы в радиотехнике: Цикл лекций. М.: Горячаялиния – Телеком. 2010. – 520 с.*