

УДК 004.891.3: 004.3

А.В.Красій

Хмельницький національний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ СПЕЦИФІКАЦІЙ

*А.В.Красій. Моделювання процесу прогнозування характеристик програмного забезпечення на основі аналізу специфікацій. Стаття присвячена розробленню математичної моделі специфікації вимог до програмного забезпечення (ПЗ), математичних моделей основних характеристик ПЗ, а також концепції прогнозування характеристик ПЗ на основі аналізу специфікацій та математичної моделі процесу прогнозування характеристик ПЗ, в основі якої лежить штучна нейронна мережа (ШНМ), на входи якої подаються показники специфікації вимог, а вихідними функціоналами є прогнозовані кількісні значення характеристик ПЗ.*

**Ключові слова:** програмне забезпечення (ПЗ), програмний проект, специфікація вимог до ПЗ, кількісні показники специфікації вимог до ПЗ, якісні показники специфікації вимог до ПЗ, експертні кількісні показники специфікації вимог до ПЗ, характеристики ПЗ, штучна нейронна мережа (ШНМ).

**Форм. 17. Табл. 0. Рис. 4. Літ. 7.**

*А.В.Красій. Моделирование процесса прогнозирования характеристик программного обеспечения на основе анализа спецификаций. Статья посвящена разработке математической модели спецификации требований к программному обеспечению (ПО), математических моделей основных характеристик ПО, а также концепции прогнозирования характеристик ПО на основе анализа спецификаций и математической модели процесса прогнозирования характеристик ПО, в основе которой лежит искусственная нейронная сеть (ИНС), на входы которой подаются показатели спецификации требований, а выходными функционалами являются прогнозируемые количественные значения характеристик ПО.*

**Ключевые слова:** программное обеспечение (ПО), программный проект, спецификация требований к ПО, количественные показатели спецификации требований к ПО, качественные показатели спецификации требований к ПО, экспертные количественные показатели спецификации требований к ПО, характеристики ПО, искусственная нейронная сеть (ИНС).

**Форм. 17. Табл. 0. Рис. 4. Лит. 7.**

*A.V.Krasiy. The Modeling of Software Characteristics Prognostication Process on the Basis of Specifications Analysis. The article is devoted to the development of the mathematical model of software requirements specification, of the mathematical models of the main software characteristics, of the concept of prognostication of software characteristics on the basis of specifications analysis, of the mathematical model of software characteristics prognostication process, which is based on artificial neural network (ANN). The inputs of the ANN are indicators of software requirements specification and output functionals are predicted quantitative values of software characteristics.*

**Key words:** software, software project, software requirements specification, quantitative indicators of software requirements specification, qualitative indicators of software requirements specification, expert quantitative indicators of software requirements specification, software characteristics, artificial neural network (ANN).

**Form. 17. Tab. 0. Fig. 4. Lit. 7.**

**Вступ.** Процес розроблення програмного забезпечення (ПЗ) тісно пов'язаний з процесом аналізу та оцінювання значущих характеристик ПЗ: тривалості та моделі життєвого циклу, вартості, ефективності, складності, зручності використання, кросплатформеності, надійності та якості ПЗ.

Наразі все помітнішою стає криза у галузі розроблення ПЗ - великі проекти виконуються з відставанням від графіка або з перевищенням кошторису витрат, розроблений продукт не має необхідних функціональних можливостей, продуктивність його низька, якість програмного забезпечення не влаштовує споживачів [2, 3, 7]. При наявності ряду методів та засобів, залученні кращих фахівців для розроблення технологій та стандартів проектування і розроблення ПЗ, процес розроблення ПЗ, як і раніше, залежить від знань та досвіду розробників.

Критичний вплив на програмні проекти та на успішність їх завершення здійснюють питання, пов'язані із аналізом специфікації [3]. Специфікація – це основа для побудови програмного забезпечення. Аналіз специфікації надає кількісну та якісну інформацію для подальшого визначення основних характеристик ПЗ. Крім того, експерти після опрацювання специфікації можуть надати кількісні оцінки якісної інформації для визначення характеристик ПЗ.

Запропонований підхід дасть змогу прийняти мотивоване та обгрунтоване рішення щодо вибору програмного проекту на основі різних важливих характеристик ПЗ. Отже, аналіз специфікації з метою одержання прогнозованих кількісних оцінок є *актуальним* на етапі проектування [3].

**Постановка задачі.** З результатів попередніх досліджень слідує, що *перспективними напрямками досліджень* наразі є: 1) математичне моделювання специфікації вимог до ПЗ та характеристик ПЗ; 2) побудова концепції та вибір математичного апарату для вирішення задачі

прогнозування характеристик ПЗ; 3) побудова моделі прогнозування характеристик ПЗ на основі аналізу специфікацій.

**Специфікація вимог до ПЗ.** Існує велика кількість специфікацій та стандартів з їх написання. Основною, найбільш повною з точки зору визначення основних характеристик ПЗ, є *специфікація вимог до ПЗ (SRS)*. Згідно [1], специфікація вимог до ПЗ має наступну структуру (рис.1).

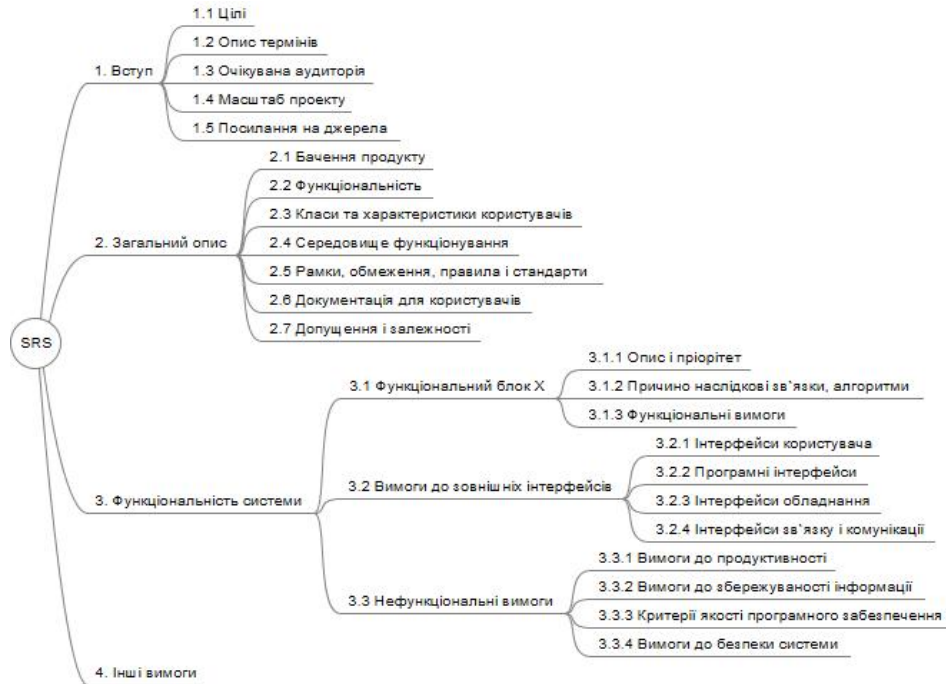


Рис.1. Структура специфікації вимог до ПЗ

Визначимо кількісні показники, які можна одержати із кожного пункту запропонованої стандартної структури SRS [3]: 1.2 – термін виконання, кваліфікація виконавця(ів), кількість виконавців; 1.3 – розмір цільової аудиторії; 1.4 – кількість компонентів системи, розмір кожного компонента, повторюваність; 2.4 – вартість використовуваних операційних систем, баз даних, компіляторів; 2.5 – вартість специфічних засобів розробки; 2.6 – розмір і вартість документації для користувачів; 2.7 – залежність від інших програмних засобів (вартість, складність, надійність); 3.1.1 – перелік всіх функційних вимог, вартість, складність, надійність окремо взятої вимоги; 3.1.2 – складність та надійність окремо взятого алгоритму; 3.1.3 - вартість помилки, реакція на помилку; 3.2.1 – кількість, вартість інтерфейсів користувача; 3.2.2 - кількість, вартість, надійність, складність програмних інтерфейсів; 3.2.3 - кількість, вартість, надійність, складність апаратних інтерфейсів; 3.2.2 - кількість, вартість, надійність, складність інтерфейсів зв'язку і комунікацій; 3.3.1 - перелік всіх нефункційних вимог, вартість, складність, надійність окремо взятої вимоги.

Якісні показники специфікації вимог до ПЗ [3]: 1.3 – профілювання (цільова аудиторія); 2.3 – вміння користувачів працювати із аналогічними продуктами; 2.4 – складність операційних систем, баз даних, компіляторів; 3.1.1 - залежність між вимогами, суперечливість вимог; 3.3.3 – якість програмного забезпечення; 3.3.4 – рівень безпеки програмного забезпечення.

**Математична модель специфікації вимог до ПЗ.** Перш ніж формалізувати специфікацію вимог до ПЗ, введемо декілька визначень.

*Визначення 1.* Кількісними показниками (КП) специфікації вимог до ПЗ або її розділів називатимемо корисні для визначення характеристик ПЗ показники специфікації, які мають точне кількісне значення (наприклад, "кількість виконавців - 7", "середня вартість помилки - 89\$" і т.і.).

*Визначення 2.* Якісними показниками специфікації вимог до ПЗ або її розділів називатимемо корисні для визначення характеристик ПЗ показники специфікації, які виражені лінгвістично (наприклад, "користувачі мають навички роботи із аналогічними продуктами" і т.і.).

*Визначення 3.* Експертними кількісними показниками (ЕКП) специфікації вимог до ПЗ або її розділів називатимемо корисні для визначення характеристик ПЗ показники, які у специфікації виражені лінгвістично, але після опрацювання групою експертів набули кількісного виразу (наприклад, вищенаведений якісний показник перетворений після опрацювання групою експертів у експертний кількісний показник "середня оцінка навичок роботи користувачів із аналогічними продуктами складає 3,8 (за 5-бальною шкалою)" і т.і.).

Представимо тепер специфікацію вимог до ПЗ (SRS) у наступному формалізованому вигляді:

$$SRS = \langle R1, R2, R3, R4 \rangle,$$

(1)

де  $R1$  - множина кількісних та експертних кількісних показників розділу 1 специфікації вимог до ПЗ,  $R2$  - множина кількісних та експертних кількісних показників розділу 2,  $R3$  - множина кількісних та експертних кількісних показників розділу 3,  $R4$  - множина кількісних та експертних кількісних показників розділу 4.

Тоді, враховуючи вищевикладену інформацію, представимо розділи специфікації вимог у вигляді наступних множин:

$$R1 = \{Tv, Qv, Sa, Qcs, SC, Pr of\},$$

(2)

де  $Tv$  - термін виконання,  $Qv$  - кількість виконавців,  $Sa$  - розмір цільової аудиторії,  $Qcs$  - кількість компонентів програмної системи,  $SC = \{sc_1, \dots, sc_{Qcs}\}$  - множина розмірів усіх компонентів ПЗ ( $sc_1$  - розмір компоненту 1,  $sc_{Qcs}$  - розмір компоненту  $Qcs$ ),  $Pr of$  - профілювання, цільова аудиторія (експертний кількісний показник);

$$R2 = \{Cos, Cdb, Cc, Cdt, Sud, Cud, Us, Cxos, Cxdb, Cxc\},$$

(3)

де  $Cos$  - вартість використовуваних операційних систем,  $Cdb$  - вартість використовуваних баз даних,  $Cc$  - вартість використовуваних компіляторів,  $Cdt$  - вартість засобів розроблення,  $Sud$  - вартість документації користувача,  $Cud$  - розмір документації користувача,  $Us$  - вміння користувачів працювати із аналогічними продуктами (експертний кількісний показник),  $Cxos$  - складність використовуваних операційних систем (експертний кількісний показник),  $Cxdb$  - складність використовуваних баз даних (експертний кількісний показник),  $Cxc$  - складність використовуваних компіляторів (експертний кількісний показник);

$$R3 = \left\{ Qfr, CFR, CXFR, RFR, Qa, CXA, RA, Cb, Cui, Qmi, CMI, RMI, CXMI, Qai, \right. \\ \left. \{ Cai, Rai, Cxai, Qci, Cci, Rci, Cxci, Qnfr, CNFR, CXNFR, RNFR, Rr, Ric, Sq, Ssq \} \right\},$$

(4)

де  $Qfr$  - кількість функційних вимог специфікації вимог до ПЗ,  $CFR = \{cfr_1, \dots, cfr_{Qfr}\}$  - множина значень вартості функційних вимог ( $cfr_1$  - вартість функційної вимоги 1,  $cfr_{Qfr}$  - вартість функційної вимоги  $Qfr$ ),  $CXFR = \{cxfr_1, \dots, cxfr_{Qfr}\}$  - множина значень складності функційних вимог ( $cxfr_1$  - складність функційної вимоги 1,  $cxfr_{Qfr}$  - складність функційної вимоги  $Qfr$ ),  $RFR = \{rfr_1, \dots, rfr_{Qfr}\}$  - множина значень надійності функційних вимог ( $rfr_1$  - надійність функційної вимоги 1,  $rfr_{Qfr}$  - надійність функційної вимоги  $Qfr$ ),  $Qa$  - кількість використовуваних алгоритмів,  $CXA = \{cxa_1, \dots, cxa_{Qa}\}$  - множина значень складності використовуваних алгоритмів ( $cxa_1$  - складність алгоритму 1,  $cxa_{Qa}$  - складність алгоритму  $Qa$ ),  $RA = \{ra_1, \dots, ra_{Qa}\}$  - множина значень

надійності використовуваних алгоритмів ( $га_1$  - надійність алгоритму 1,  $га_{Qa}$  - надійність алгоритму  $Qa$ ),  $Сb$  - середня прогнозована вартість помилки,  $Сui$  - вартість інтерфейсів користувача,  $Qmi$  - кількість програмних (міжмодульних) інтерфейсів,  $СMI = \{cmi_1, \dots, cmi_{Qmi}\}$  - множина значень вартості програмних (міжмодульних) інтерфейсів ( $cmi_1$  - вартість програмного інтерфейсу 1,  $cmi_{Qmi}$  - вартість програмного інтерфейсу  $Qmi$ ),  $RMi = \{rmi_1, \dots, rmi_{Qmi}\}$  - множина значень надійності програмних (міжмодульних) інтерфейсів ( $rmi_1$  - надійність програмного інтерфейсу 1,  $rmi_{Qmi}$  - надійність програмного інтерфейсу  $Qmi$ ),  $СXMI = \{cxmi_1, \dots, cxmi_{Qmi}\}$  - множина значень складності програмних (міжмодульних) інтерфейсів ( $cxmi_1$  - складність програмного інтерфейсу 1,  $cxmi_{Qmi}$  - складність програмного інтерфейсу  $Qmi$ ),  $Qai$  - кількість апаратних інтерфейсів,  $Сai$  - вартість апаратних інтерфейсів,  $Rai$  - надійність апаратних інтерфейсів,  $Сxai$  - складність апаратних інтерфейсів,  $Qci$  - кількість інтерфейсів зв'язку та комунікацій,  $Сci$  - вартість інтерфейсів зв'язку та комунікацій,  $Rci$  - надійність інтерфейсів зв'язку та комунікацій,  $Сxci$  - складність інтерфейсів зв'язку та комунікацій,  $Qnfr$  - кількість нефункційних вимог специфікації вимог до ПЗ,  $СNFR = \{cnfr_1, \dots, cnfr_{Qnfr}\}$  - множина значень вартості нефункційних вимог ( $cnfr_1$  - вартість нефункційної вимоги 1,  $cnfr_{Qnfr}$  - вартість нефункційної вимоги  $Qnfr$ ),  $СXNFR = \{cxnfr_1, \dots, cxnfr_{Qnfr}\}$  - множина значень складності нефункційних вимог ( $cxnfr_1$  - складність нефункційної вимоги 1,  $cxnfr_{Qnfr}$  - складність нефункційної вимоги  $Qnfr$ ),  $RNFR = \{rnfr_1, \dots, rnfr_{Qnfr}\}$  - множина значень надійності нефункційних вимог ( $rnfr_1$  - надійність нефункційної вимоги 1,  $rnfr_{Qnfr}$  - надійність нефункційної вимоги  $Qnfr$ ),  $Rr$  - залежність між вимогами специфікації (експертний кількісний показник),  $Ric$  - суперечливість вимог специфікації (експертний кількісний показник),  $Sq$  - очікувана якість програмного забезпечення (експертний кількісний показник),  $Ssq$  - очікуваний рівень безпеки ПЗ (експертний кількісний показник);

$$R4 = \{r_1, \dots, r_{nr}\} \quad (5)$$

- множина додаткових характеристик, які можна одержати із розділу 4 специфікації вимог до ПЗ ( $nr$  - кількість можливих додаткових характеристик, змінна величина для різних специфікацій). Враховуючи той факт, що розділ 4 є необов'язковим, а за наявності має змінну структуру та величину, надалі не враховуватимемо його показники при визначенні характеристик ПЗ.

В такому випадку математичну модель специфікації вимог до ПЗ з точки зору наявності у ній кількісних та експертних кількісних показників, корисних для визначення характеристик ПЗ, представимо наступним чином:

$$SRS = \left\langle \begin{array}{l} \{Tv, Qv, Sa, Qcs, SC, Pr of\}, \\ \{Cos, Cdb, Cc, Cdt, Sud, Cud, Us, Cxos, Cxdb, Cxc\}, \\ \{Qfr, CFR, CXFR, RFR, Qa, CXA, RA, Cb, Cui, Qmi, CMI, RMI, CXMI, \\ Qai, Cai, Rai, Cxai, Qci, Cci, Rci, Cxci, Qnfr, CNFR, CXNFR, RNFR, Rr, Ric, Sq, Ssq\} \end{array} \right\rangle \quad (6)$$

**Математичні моделі характеристик програмного забезпечення.** Визначимо залежність кожної основної характеристики ПЗ від кількісних та експертних кількісних показників специфікації вимог до ПЗ (рис. 1) на основі аналізу характеристик ПЗ [3, 6] із залученням експертів. Зрозуміло, що певні показники специфікації будуть впливати на різні характеристики ПЗ.

Враховуючи одержані залежності між характеристиками ПЗ та показниками специфікації вимог до ПЗ, побудуємо математичні моделі характеристик програмного забезпечення.

Математична модель вартості ПЗ має вигляд:

$$C = f \left( \begin{matrix} Tv, Qv, Qcs, SC, Cos, Cdb, Cc, Cdt, Sud, Qfr, CFR, Cb, Cui, Qmi, CMI, Cai, Cci, \\ Qnfr, CNFR, Pr of, Us, Sq, Ssq \end{matrix} \right).$$

(7)

Математичну модель тривалості життєвого циклу ПЗ представимо наступним чином:

$$LcD = \varphi(Tv, Qv, Qcs, SC, Cud, Qfr, Qa, Qmi, Qai, Qci, Qnfr, Ric, Sq, Ssq).$$

(8)

Математичне рівняння для вибору типу моделі життєвого циклу ПЗ має вигляд:

$$SLcM = \phi \left( \begin{matrix} Qv, Sa, Qcs, Qfr, CFR, CXFR, RFR, CXA, RA, Qnfr, CNFR, CXNFR, \\ RNFR, Pr of, Us, Cxos, Cxdb, Cxc, Rr, Ric \end{matrix} \right).$$

(9)

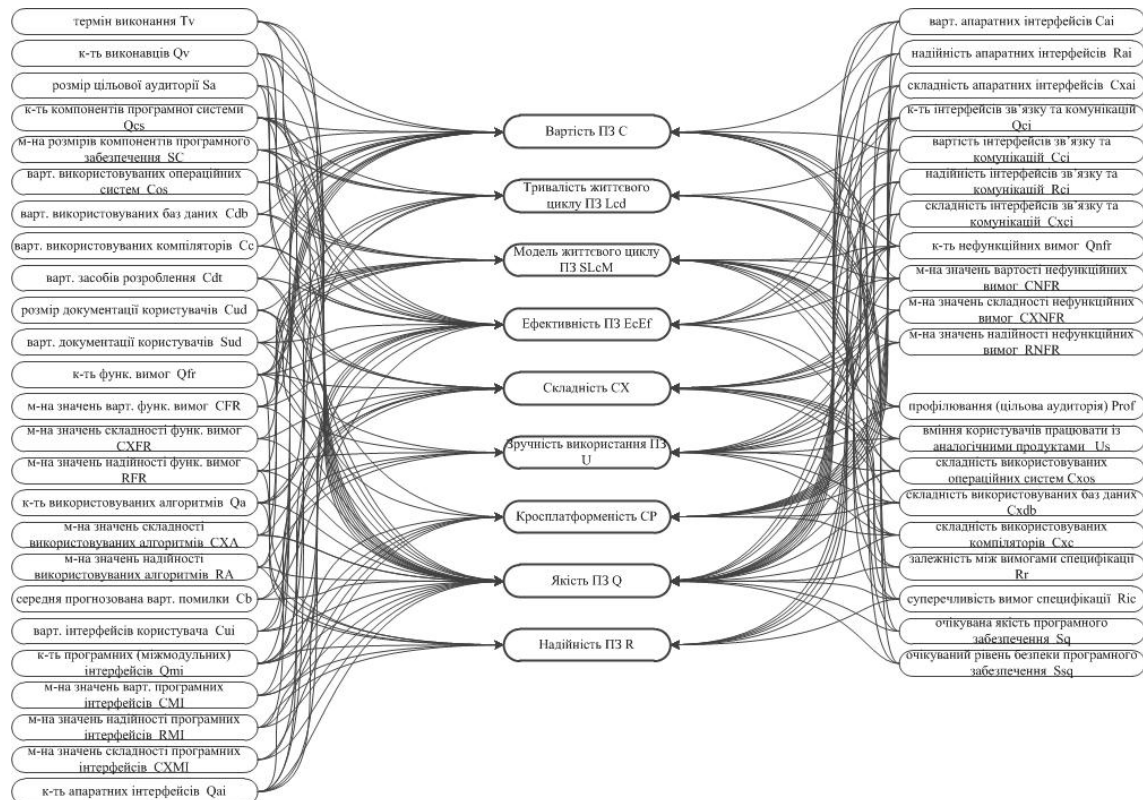


Рис. 2. Вплив КП та ЕКП специфікації на характеристики ПЗ

Математична модель ефективності ПЗ має вигляд:

$$EcEf = \gamma \left( \begin{matrix} Tv, Qv, Sa, Qcs, SC, Cos, Cdb, Cc, Cdt, Sud, Qfr, CFR, Qa, Cb, Cui, CMI, Qmi, \\ Qai, Cai, Qci, Cci, Qnfr, CNFR, Pr of, Us \end{matrix} \right).$$

(10)

Математичну модель складності ПЗ представимо наступним чином:

$$CX = \sigma \left( \begin{matrix} Qcs, SC, Cud, Qfr, CXFR, Qa, CXA, Qmi, CXMI, Qai, Cxai, Qci, Cxci, Qnfr, \\ CXNFR, Cxos, Cxdb, Cxc, Rr, Ric \end{matrix} \right).$$

(11)

Математична модель зручності використання має вигляд:

$$U = \zeta \left( \begin{array}{l} \text{Cud, Sud, RFR, RA, Cui, RMI, Rai, Rci, Qnfr, CNFR, CXNFR, RNFR, Pr of, Us,} \\ \text{CXos, Cxdb, Cxc} \end{array} \right). \quad (12)$$

Математичну модель кросплатформеності ПЗ представимо наступним чином:

$$(13) \quad CP = \xi \left( \begin{array}{l} \text{Qcs, Cdt, Qmi, CMI, RMI, CXMI, Qai, Cai, Rai, Cxai, Qci, Cci, Rci,} \\ \text{Cxc, Cxci, Cxos, Cxdb, Cxc} \end{array} \right).$$

Математична модель якості ПЗ має вигляд:

$$(14) \quad Q = \psi \left( \begin{array}{l} \text{Tv, Qv, Sa, Qcs, SC, Cos, Cdb, Cc, Cdt, Cud, Sud, Qfr, CFR, CXFR, RFR, Qa,} \\ \text{CXA, RA, Cb, Cui, Qmi, CMI, RMI, CXMI, Qai, Cai, Rai, Cxai, Qci, Cci, Rci,} \\ \text{Cxc, Cxci, Qnfr, CNFR, CXNFR, RNFR, Us, Pr of, Cxos, Cxdb, Cxc, Rr, Ric, Sq, Ssq} \end{array} \right).$$

Математичну модель надійності ПЗ представимо наступним чином:

$$R = \omega(Qfr, RFR, Qa, RA, Qmi, RMI, Qai, Rai, Qci, Rci, Qnfr, RNFR, Ric).$$

(15)

В такому разі, маючи специфікацію вимог до ПЗ, можна визначити всі основні характеристики ПЗ за запропонованими формулами. Але проблемою при цьому є визначення, власне, функцій для кожної характеристики (функцій  $f, \varphi, \phi, \gamma, \sigma, \zeta, \xi, \psi, \omega$ ), які враховуватимуть взаємовпливи та різні ступені впливу КП та ЕКП специфікації в межах однієї характеристики.

**Концепція прогнозування характеристик ПЗ на основі аналізу специфікацій.** Отже, для розв'язку задачі прогнозування характеристик ПЗ на основі кількісних та експертних кількісних показників специфікації вимог до ПЗ потрібно розв'язати наступну систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} C = f(X_c) \\ LcD = \varphi(X_{LcD}) \\ SLcM = \phi(X_{SLcM}) \\ EcEf = \gamma(X_{EcEf}) \\ CX = \sigma(X_{CD}) \\ U = \zeta(X_U) \\ CP = \xi(X_{CP}) \\ Q = \psi(X_Q) \\ R = \omega(X_R) \end{array} \right. ,$$

(16)

де  $X_c = \{x_{c_1}, \dots, x_{c_n}\}$  - множина кількісних та експертних кількісних показників специфікації, які впливають на оцінку вартості ПЗ;  $n$  - кількість КП та ЕКП, які впливають на оцінку вартості ПЗ (згідно вищенаведених моделей характеристик ПЗ  $n = 23$ );  $X_{LcD} = \{x_{LcD_1}, \dots, x_{LcD_m}\}$  - множина КП та ЕКП специфікації, які впливають на оцінку тривалості життєвого циклу ПЗ;  $m$  - кількість КП та ЕКП, які впливають на оцінку тривалості життєвого циклу ПЗ ( $m = 14$ );  $X_{SLcM} = \{x_{SLcM_1}, \dots, x_{SLcM_k}\}$  - множина КП та ЕКП специфікації, які впливають на вибір моделі життєвого циклу ПЗ;  $k$  - кількість КП та ЕКП, які впливають на вибір моделі життєвого циклу ПЗ ( $k = 20$ );  $X_{EcEf} = \{x_{EcEf_1}, \dots, x_{EcEf_l}\}$  - множина КП та ЕКП специфікації, які впливають на оцінку ефективності ПЗ;  $l$  - кількість КП та ЕКП, які впливають на оцінку ефективності ПЗ ( $l = 25$ );  $X_{CX} = \{x_{CX_1}, \dots, x_{CX_s}\}$  - множина КП та ЕКП специфікації, які впливають на оцінку складності ПЗ;  $s$  - кількість КП та ЕКП, які впливають на

оцінку складності ПЗ ( $s = 20$ );  $X_U = \{x_{U_1}, \dots, x_{U_s}\}$  - множина КП та ЕКП специфікації, які впливають на оцінку зручності використання ПЗ;  $t$  - кількість КП та ЕКП, які впливають на оцінку зручності використання ПЗ ( $t = 17$ );  $X_{CP} = \{x_{CP_1}, \dots, x_{CP_p}\}$  - множина КП та ЕКП специфікації, які впливають на оцінку кросплатформеності ПЗ;  $p$  - кількість КП та ЕКП, які впливають на оцінку кросплатформеності ПЗ ( $p = 17$ );  $X_Q = \{x_{Q_1}, \dots, x_{Q_a}\}$  - множина КП та ЕКП специфікації, які впливають на оцінку якості ПЗ;  $a$  - кількість КП та ЕКП, які впливають на оцінку якості ПЗ ( $a = 45$ );  $X_R = \{x_{R_1}, \dots, x_{R_b}\}$  - множина КП та ЕКП специфікації, які впливають на оцінку надійності ПЗ;  $b$  - кількість КП та ЕКП, які впливають на оцінку надійності ПЗ ( $b = 13$ ).

Побудувати багатовимірне відображення  $X \rightarrow Y$  означає представити його за допомогою математичних операцій над не більш, ніж двома змінними [4]. Проблема представлення функцій багатьох змінних у вигляді суперпозиції функцій меншої кількості змінних протягом багатьох років розв'язувалась Колмогоровим та Арнольдом, в результаті чого одержано ряд важливих теоретичних результатів [4]: 1) теорема про можливість представлення неперервних функцій декількох змінних суперпозиціями неперервних функцій меншої кількості змінних; 2) теорема про представлення будь-якої неперервної функції трьох змінних у вигляді суми функцій не більше двох змінних; 3) теорема про представлення неперервних функцій декількох змінних у вигляді суперпозицій неперервних функцій однієї змінної і додавання, яка була перероблена Хехт-Нільсеном для нейронних мереж.

Теорема Хехт-Нільсена [4] в неконструктивній формі доводить можливість розв'язку задачі представлення функції довільного вигляду на нейронній мережі і вказує для кожної задачі мінімальні кількості нейронів мережі, необхідних для її розв'язку. З теореми Хехт-Нільсена слідує можливість представлення будь-якої багатовимірної функції декількох змінних за допомогою нейронної мережі фіксованого розміру [4]. Згідно теореми про повноту, будь-яка неперервна функція на замкненому обмеженому просторі може бути рівномірно наближена функціями, які обчислюються нейронними мережами, якщо функція активації нейрона двічі неперервно диференційована і неперервна [4].

Таким чином, штучні нейронні мережі (ШНМ) є універсальними структурами, що дозволяють узагальнити інформацію та виявити залежності між вхідними і результуючими даними, отже, для реалізації вищезазначеної системи рівнянь (16) буде використовуватись саме ШНМ.

Тоді слід розробити ШНМ, яка опрацюватиме множини КП та ЕКП специфікації, здійснюватиме апроксимацію показників та надаватиме прогнозовані оцінки характеристик ПЗ.

Концепцію прогнозування основних характеристик ПЗ на основі аналізу специфікації вимог до ПЗ із використанням штучної нейронної мережі представлено на рис.3.

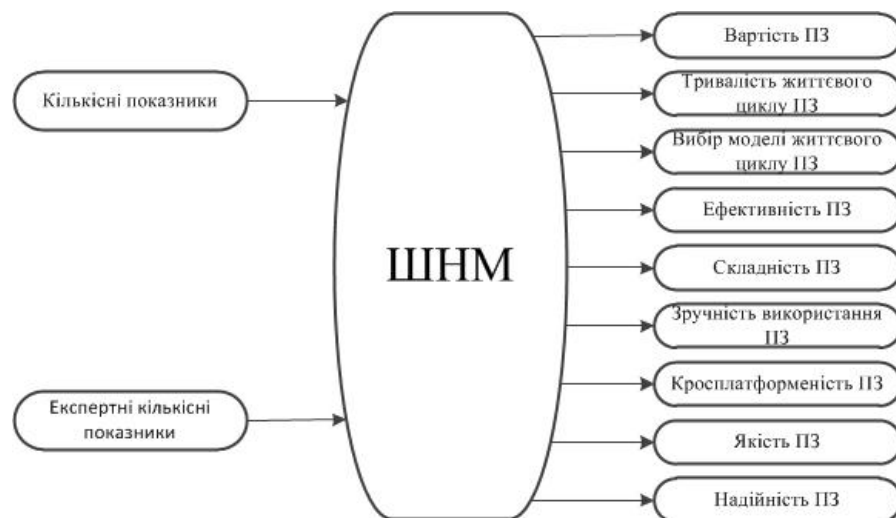


Рис.3. Концепція прогнозування характеристик ПЗ на основі аналізу специфікацій із використанням штучної нейронної мережі

Вибір структури та архітектури нейронної мережі здійснюється відповідно до особливостей і складності задачі. Для розв'язку окремих типів задач вже існують оптимальні конфігурації. Оскільки поставлена задача не може бути зведена до жодного з відомих типів, доводиться розв'язувати проблему синтезу нової конфігурації. При цьому керуватимемось наступними правилами [4]: 1) можливості мережі зростають із збільшенням кількості нейронів мережі, щільності зв'язків між ними та кількості шарів; 2) введення обернених зв'язків поряд із збільшенням можливостей мережі підвищує динамічну стійкість мережі; 3) складність алгоритмів функціонування мережі, введення декількох типів синапсів сприяє посиленню потужності нейронної мережі.

**Нейромережна модель прогнозування характеристик програмного забезпечення на основі аналізу специфікацій (НМПХ).** Використовуючи запропоновану концепцію прогнозування характеристик ПЗ на основі аналізу специфікацій, розробимо математичну модель процесу прогнозування характеристик ПЗ, поклавши в її основу штучну нейронну мережу (ШНМ). Вибір апарату ШНМ мотивований тим, що штучні нейронні мережі за рахунок можливості апроксимацій нелінійних функцій дають можливість враховувати важливість (ваги) кожного показника специфікації, а також взаємний вплив показників специфікації в межах кожної характеристики ПЗ.

Важкоформалізованою задачею прогнозування характеристик ПЗ є визначення ваг та взаємовпливу кількісних та експертних кількісних показників специфікації в межах кожної характеристики ПЗ. Ця задача може бути вирішена за допомогою використання навченої ШНМ.

Перед розробленням нейромережної моделі прогнозування характеристик ПЗ на основі аналізу специфікацій слід виконати вибір архітектури ШНМ, враховуючи запропоновану концепцію прогнозування характеристик ПЗ. Для цього дослідимо найбільш поширені архітектури ШНМ та їх особливості [5]:

1) багат шаровий перцептрон – найпростіша і найбільш досліджена структура, якої достатньо для задачі прогнозування характеристик ПЗ на основі аналізу показників специфікацій;

2) радіальні базисні мережі (РБМ) вимагають великої кількості навчальних векторів та зазнають значних труднощів, коли є велика кількість входів. Для задачі аналізу показників специфікацій та прогнозування характеристик ПЗ важко зібрати велику кількість навчальної інформації через відсутність великої кількості доступних специфікацій; крім того, має місце велика кількість входів;

3) мережі GRNN (регресійні) – один з видів РБМ, використовуються для аналізу числових рядів. В задачі аналізу показників специфікації та прогнозування характеристик ПЗ зв'язків, аналогічних числовому ряду, немає;

4) мережі PNN (імовірнісні) – один з видів РБМ, призначені для розв'язання імовірнісних задач, зокрема, задач класифікації – встановлення приналежності об'єкту до певного класу. В задачі прогнозування характеристик ПЗ немає потреби в класифікації;

5) карта Кохонена – призначена для кластеризації даних. Ця задача під час аналізу показників специфікації та прогнозування характеристик ПЗ не вирішується;

6) мережі для класифікації вхідних векторів (LVQ) – використовуються для кластеризації і класифікації. Ці задачі під час прогнозування характеристик ПЗ не розглядаються;

7) мережі Елмана та Хопфілда – це мережі з динамічними оберненими зв'язками, орієнтовані на опрацювання динамічних моделей, що враховують передісторію процесів, які спостерігаються. Задача прогнозування характеристик ПЗ не містить обернених зв'язків і передісторії.

Аналіз відомих архітектур ШНМ показав, що для вирішення задачі аналізу показників специфікацій та прогнозування характеристик ПЗ найбільше підходить багат шаровий перцептрон. При використанні нейромережі іншого типу для розв'язання цієї задачі її природа буде штучно спотворюватись, в результаті чого результати роботи ШНМ будуть невідповідними.

У багат шаровому перцептроні нейрони містяться у шарах, що розташовані один за одним, і взаємозв'язки між нейронами шарів передбачені тільки у напрямку від входу до виходу ШНМ [4].

Відобразимо зазначений підхід узагальненою складною ШНМ архітектури багат шарового перцептрона типу MLP (multi-layer-perceptron). Структура цієї ШНМ представлена на рис.4.



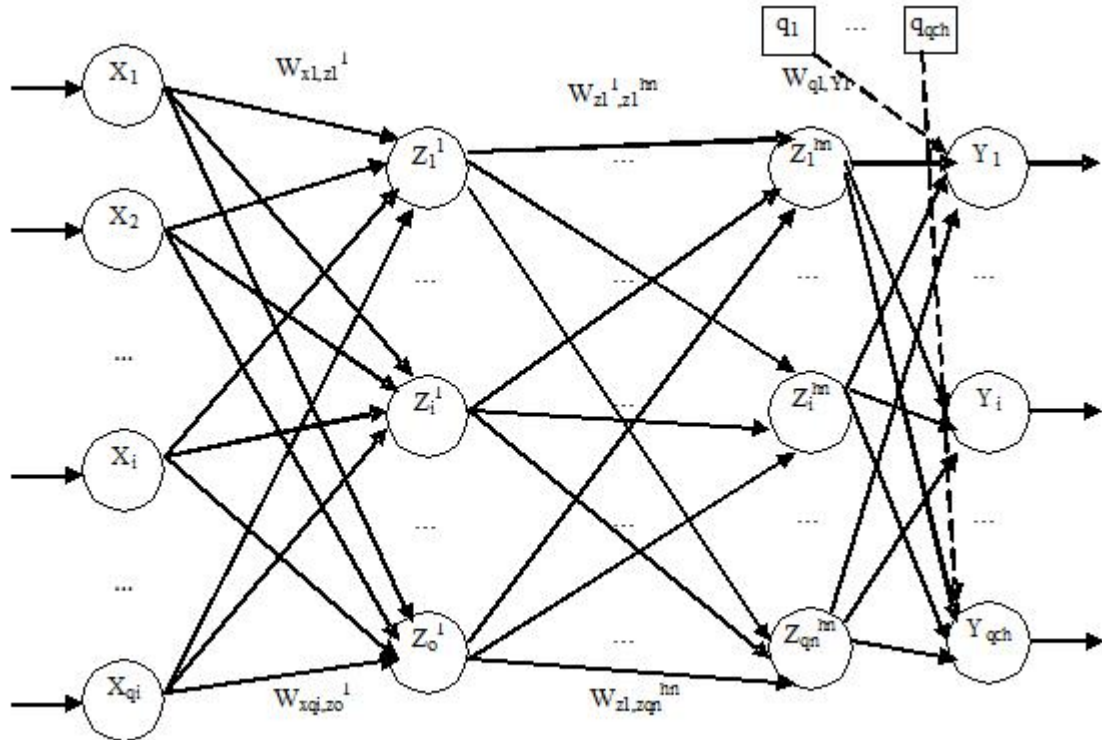


Рис.4. Нейромережна модель прогнозування характеристик ПЗ на основі аналізу специфікацій

Нейрони (і відповідно входи) рецепторного шару визначено множиною  $\overline{X} = \{x_i\}$ ,  $i = (\overline{1, qi})$ , де  $x_i$  -  $i$ -й нейрон (вхід) рецепторного шару,  $qi$  - кількість входів (кількість КП та ЕКП).

Нейрони першого прихованого шару прямонапрявленого перцептрона визначено множиною  $\overline{Z}^1 = \{z_i^1\}$ ,  $i = (\overline{1, o})$ , де  $z_i^1$  -  $i$ -й нейрон шару  $z^1$ ,  $o$  - кількість нейронів першого прихованого шару. Рецепторні входи цього шару визначено множиною:  $\overline{X}^{z^1} = \{x^{z_i^1}\}$ ,  $i = (\overline{1, o})$ , де  $x^{z_i^1}$  -  $i$ -й вхід, пов'язаний з  $z_i^1$ -м нейроном. Нейрони другого прихованого шару прямонапрявленого перцептрона визначено множиною  $\overline{Z}^2 = \{z_i^2\}$ ,  $i = (\overline{1, qn2})$ , де  $z_i^2$  -  $i$ -й нейрон шару  $z^2$ ,  $qn2$  - кількість нейронів другого прихованого шару. Рецепторні входи цього шару визначено множиною:  $\overline{X}^{z^2} = \{x^{z_i^2}\}$ ,  $i = (\overline{1, qn2})$ , де  $x^{z_i^2}$  -  $i$ -й вхід, пов'язаний з  $z_i^2$ -м нейроном. Нейрони  $hn$ -го прихованого шару прямонапрявленого перцептрона визначено множиною  $\overline{Z}^h = \{z_i^{hn}\}$ ,  $i = (\overline{1, qn})$ , де  $z_i^{hn}$  -  $i$ -й нейрон шару  $z^{hn}$ ,  $qn$  - кількість нейронів  $hn$ -го прихованого шару. Рецепторні входи цього шару визначено множиною  $\overline{Z}^{z^h} = \{z^{z_i^{hn-1}}\}$ ,  $i = (\overline{1, qnm})$ , де  $z^{z_i^{hn-1}}$  -  $i$ -й нейрон попереднього ( $hn - 1$ )-го шару, що пов'язаний з  $z_i^{hn-1}$ -м нейроном,  $qnm$  - кількість нейронів ( $hn - 1$ )-го прихованого шару.

Вектор порогових величин зміщень множини нейронних елементів визначено як:  $\overline{q} = \{q_i\}$ ,  $i = (\overline{1, qch})$ , де  $q_i$  - зміщення  $i$ -го нейронного елемента.

Ваги зв'язків відображено ваговими матрицями:  $\overline{W}_{x,z^1} = \langle w_{x_i,z_j^1} \rangle$ ,  $i = (\overline{1, qi})$ ,  $j = (\overline{1, o})$ , де  $w_{x_i,z_j^1}$  - ваговий коефіцієнт зв'язку між  $x_i$ -м входом та  $z_j^1$ -м нейроном першого прихованого шару;

$\overline{W_{z^1, z^2}} = \langle w_{z^1, z^2} \rangle$ ,  $i = (\overline{1, o}), j = (\overline{1, qn2})$ , де  $w_{z^1, z^2}$  - ваговий коефіцієнт зв'язку між  $z^1$ -м нейроном 1-го прихованого шару та  $z^2$ -м нейроном 2-го прихованого шару;

$\overline{W_{z^1, z^{hn}}} = \langle w_{z^1, z^{hn}} \rangle$ ,  $i = (\overline{1, o}), j = (\overline{1, qn})$ , де  $w_{z^1, z^{hn}}$  - ваговий коефіцієнт зв'язку між  $z^1$ -м нейроном 1-го прихованого шару та  $z^{hn}$ -м нейроном  $hn$ -го прихованого шару;

$\overline{W_{z^{hn-1}, z^{hn}}} = \langle w_{z^{hn-1}, z^{hn}} \rangle$ ,  $i = (\overline{1, qnm}), j = (\overline{1, qn})$ , де  $w_{z^{hn-1}, z^{hn}}$  - ваговий коефіцієнт зв'язку між  $z^{hn-1}$ -м нейроном  $(hn - 1)$ -го прихованого шару та  $z^{hn}$ -м нейроном  $hn$ -го прихованого шару;

$\overline{W_{q, Y}} = \langle w_{q, Y} \rangle$ ,  $i = (\overline{1, qch})$ , де  $w_{q, Y}$  - ваговий коефіцієнт зв'язку між  $q$ -м зміщенням та  $Y$ -м нейроном вихідного шару.

Множина вихідних функціоналів ефекторного шару ШНМ становить  $\overline{Y} = \{Y_{ki}\}$ ,  $ki = (\overline{1, qch})$ , де  $Y_{ki}$  -  $ki$ -й функціонал ефекторного шару багатошарового перцептронну,  $qch$  - кількість виходів ШНМ (кількість прогнозованих характеристик ПЗ).

Формула для визначення  $ki$ -го функціоналу ефекторного шару ШНМ  $Y_{ki}$  має вигляд:

$$Y_{ki} = fs \left( fa(z^1) \cdot \left( \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^{qn2} (z_i^1 \cdot w_{z_i^1, z_j^2}) + \dots + \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^{qn} (z_i^1 \cdot w_{z_i^1, z_j^{hn}}) \right) + \dots + fa(z^{hn-1}) \cdot \left( \sum_{i=1}^{qnm} \sum_{j=1}^{qn} (z_i^{hn-1} \cdot w_{z_i^{hn-1}, z_j^{hn}}) \right) + \sum_{i=1}^{qki} (x_i \cdot w_{x_i, z_i}) \right) - q_{ki} \cdot w_{q_{ki}, Y_{ki}}$$

(17)

де  $fa(z^1)$  - активаційна функція нейронів 1-го прихованого шару,  $fa(z^{hn-1})$  - активаційна функція нейронів  $(hn - 1)$ -го прихованого шару,  $fs$  - активаційна функція нейронів ефекторного (вихідного) шару ШНМ,  $qki$  - кількість КП та ЕКП специфікації, які впливають на  $ki$ -й вихід ШНМ (на  $ki$ -у прогнозовану характеристику ПЗ),  $x_i$  -  $i$ -й елемент підмножини КП та ЕКП, які впливають на  $ki$ -й вихід ШНМ.

Активаційною функцією нейронів прихованих (асоціативних) шарів є функція гіперболічного тангенсу. Активаційною функцією нейронів ефекторного шару є лінійна функція. Результати лінійної активаційної функції нейронів ефекторних шарів лежать в інтервалі  $[-1; 1]$ .

**Висновки.** У даній роботі запропоновано математичну модель специфікації вимог до ПЗ, яка відрізняється від існуючих тим, що представляє специфікацію вимог до ПЗ з точки зору наявності у ній КП та ЕКП, корисних для визначення основних характеристик ПЗ.

Також розроблено математичні моделі основних характеристик ПЗ, згідно яких можна визначити характеристики ПЗ на основі аналізу специфікації вимог до ПЗ вже на початку етапу проектування, що є необхідним для прийняття ґрунтовних рішень щодо вибору програмного проекту.

Запропонована автором концепція прогнозування характеристик ПЗ на основі аналізу специфікацій дала можливість автору розробити математичну модель процесу прогнозування характеристик ПЗ, в основі якої лежить штучна нейронна мережа (ШНМ).

Розроблена нейромережна модель прогнозування характеристик ПЗ на основі аналізу специфікацій (НМПХ) відрізняється від існуючих тим, що дає можливість враховувати ваги та взаємовпливи показників специфікації в межах кожної характеристики ПЗ. Вихідні функціонали ШНМ, що відповідають прогнозованим значенням характеристик ПЗ, дають можливість оцінити

сумарний вплив КП та ЕКП специфікації на характеристики розроблюваного за специфікацією ПЗ і зробити висновки щодо обґрунтованого вибору програмного проекту.

Перспективними завданнями для подальших досліджень є: 1) побудова нейромережного методу прогнозування характеристик програмного забезпечення на основі аналізу специфікацій (НМТПХ); 2) реалізація та навчання нейромережної складової НМТПХ; 3) розроблення інтелектуальної системи прогнозування характеристик програмного забезпечення на основі аналізу специфікацій. На вирішення цих завдань і будуть спрямовані подальші зусилля автора.

### Література

1. IEEE 830-1998. Recommended Practice for Software Requirements Specifications – New York: IEEE, 1998
2. Говорущенко Т.О. Аналіз галузі оцінювання якості програмного забезпечення // Вісник НУ "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі" – Львів: Видавництво НУ "ЛП", 2013
3. Говорущенко Т.О., Красій А.В. Визначення характеристик та вибір моделі життєвого циклу програмного забезпечення на основі аналізу специфікацій // Вісник Хмельницького національного університету – Хмельницький: ХНУ, 2013. - №6, с.201-208
4. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика – М.:Горячая линия – Телеком, 2001 – 382 с.
5. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети Matlab 6 / Под общей редакцией к.т.н. В.Г.Потемкина – М.: Диалог-Мифи, 2002. – 496 с.
6. Мищенко В.О., Поморова О.В., Говорущенко Т.А. CASE-оценка критических программных систем. В 3-х томах. Том 1. Качество / Под ред. Харченко В.С. – Харьков: НАУ «ХАИ», 2012. – 201 с.
7. Поморова О.В., Говорущенко Т.О. Сучасні проблеми оцінювання якості програмного забезпечення // Радіoeлектронні і комп'ютерні системи – Харків: НАУ «ХАІ», 2013 – № 5, с.319-327