

УДК 681.3

Г.І. Коваль

ОСНОВНІ ЗАДАЧІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ІНЖЕНЕРІЇ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Запропонований підхід до побудови системи прийняття рішень в інженерії надійності програмних систем (ПС). Розроблені моделі для вирішення задач розподілення цілей надійності по компонентах ПС, пошуку та порівняння альтернативних шляхів досягнення цих цілей, вибору оптимальної стратегії забезпечення надійності ПС при обмеженнях ресурсів проекту та їх контролю. При вирішенні цих задач використовуються сучасні методи: аналіз ієрархій, байєсівські мережі та діаграми впливу.

Вступ

Надійність програмної системи (ПС) є одним з найважливіших показників якості, який характеризує спроможність ПС зберігати працездатний стан протягом заданого періоду часу при визначених умовах її застосування. Вона залежить як від властивостей кожного компоненту ПС, так і від параметрів середовища їх функціонування, включаючи підходи до використання їх користувачами. До інженерії надійності ПС склалося три погляди:

- 1) розробників, що забезпечують такі властивості ПС, як завершеність, відмовостійкість та відновлюваність;
- 2) менеджерів, що керують процесами розроблення ПС з отриманням властивостей ПС, що забезпечують своєчасне усунення помилок розробників та внесених дефектів у робочі продукти;
- 3) користувачів, які чекають отримати надійний програмний продукт з виконанням замовлених функцій в середовищах застосування.

З загальної точки зору інженерія надійності ПС є напрямком програмної інженерії з дисципліною планування процесів розроблення на всіх стадіях життєвого циклу (ЖЦ) [1] та застосування на них методів досягнення заданого рівня надійності ПС, які визначають:

- розподіл цілей надійності по компонентах ПС;
- прогнозування надійності на етапах ЖЦ;
- запобігання появі дефектів шляхом застосування прогресивних методологій і технологій розроблення ПС;

- своєчасне усунення дефектів за допомогою методів верифікації та валідації ПС;
- застосування методів забезпечення відмовостійкості компонентів ПС;
- статистичне тестування зростання надійності ПС у ході системного тестування;
- підтвердження досягнення (або не досягнення) цілей надійності тощо.

Ефективне застосування методів інженерії надійності в програмних проектах значно поліпшується за рахунок інтеграції задач забезпечення надійності в ЖЦ ПС і керованого вирішення процесів ЖЦ з боку менеджера та групи управління якістю проекту.

Враховуючи обмеженість ресурсів проекту і високий рівень невизначеності щодо впливу одних чинників надійності на інші та на якість кінцевого програмного продукту, прийняття рішень, адекватних поточному стану забезпечення надійності, пропонується систематизований підхід до побудови системи підтримки прийняття рішень (СППР) з питань інженерії надійності із залученням сучасних методів та засобів інтелектуального аналізу даних: генетичних алгоритмів, нейронних або байєсівських мереж та діаграм впливу.

В даній статті стисло описані розроблені моделі, методи та задачі, що входять до складу СППР і забезпечують вибір ефективних рішень для досягнення встановлених цілей надійності компонентів ПС починаючи з ранніх стадій ЖЦ виконання проекту.

1. Актуальність проблеми керування надійністю в сучасній парадигмі якості ПС

Сучасна програмна індустрія досягла такого рівня розвитку, на якому вимоги до забезпечення надійності програмних продуктів стали обов'язковою вимогою укладених угод на їх розроблення [2]. Швидкий розвиток процесного підходу до розроблення програмного забезпечення (ПЗ) спричинив зміни у *парадигмі якості* [3] в напрямку *процесності* програмної інженерії, *інтеграції* процесів ЖЦ і *цілеорієнтованого* вимірювання та оцінювання артефактів проекту, які стали ключовими ланками вдосконалення процесів ЖЦ та керування проектом.

Підґрунтям інженерії надійності є сучасні адаптивні моделі та методології розроблення ПС (наприклад, Adaptive Software Development (ASD), Extreme Programming (XP), Lean Development, SCRUM або Crystal), які орієнтовані на мінімізацію процесу при максимальному збільшенні взаємодії між людьми, базові прийоми виконання дій у процесах з змінюванням інтерфейсів між процесами, а також підходи до керування проектом ПС.

Новим у методології адаптивного розроблення ЖЦ на основі каскадної моделі (та похідних від неї) є динамічність ЖЦ за моделлю “Обдумування - Взаємодія – Навчання” [4], орієнтованої на безперервне *навчання*, постійні зміни, повторні оцінки, тісні взаємодії між менеджером, розробниками, групою якості і замовниками.

Сказане свідчить про актуальність задач інженерії надійності, вирішення яких базується на сучасних адаптивних методологіях, процесах ЖЦ ПС, об'єднаних з методами забезпечення надійності ПС, що розробляються.

2. Модель прийняття рішень в інженерії надійності

Процес прийняття рішень стосовно забезпечення надійності ПС в ході керування проектом включає вирішення комплексу задач *особою, яка приймає*

рішення (ОПР) та діє з огляду на власний досвід щодо поточної ситуації в проекті.

Модель прийняття рішень включає задачі інженерії надійності, які розподілені по процесах і виконуються за наступними етапами:

1) визначення цільових кількісних значень показників надійності ПС, які слугуватимуть критерієм відповідності ПС потребам користувачів;

2) прогнозування досяжності встановлених цілей з урахуванням поточного стану виконуваних процесів та розроблених продуктів у програмному проекті. Пошук та аналіз можливих альтернативних рішень для досягнення цілей за умови усунення «слабких місць» у процесах ЖЦ. Якщо цілі недосяжні – їх перегляд та узгодження з замовником ПС (п. 1);

3) вибір найкращого рішення для досягнення цілей надійності та оцінювання можливості його реалізації у проекті з урахуванням обмежених ресурсів. В разі потреби – перегляд цілей (п. 1);

4) визначення стратегії, методів та засобів забезпечення надійності та їх «вбудування» в компоненти ПС. Перевірка правильності вироблених робочих продуктів ПС (документів проекту, коду тощо) на отримання необхідного рівню надійності при обмеженості деяких ресурсів (часу, вартості, виконавців тощо). Збір даних про хід виконання проекту, стан процесів, ресурсів та розроблюваних робочих продуктів ПС для накопичення досвіду;

5) аналіз досвіду, перегляд (уточнення) суджень стосовно важливості тих чи інших чинників успішного досягнення встановлених цілей та коригування стану виконання проекту. В разі потреби - повторне виконання задач (п. 1 або 2).

Склад та послідовність визначених на етапах задач моделі СППР цілком і повністю відображає керований процес забезпечення надійності ПС, що розробляються.

3. Підхід до розподілення цілей надійності по компонентах ПС

Моделювання надійності програмної підсистеми повинно ґрунтуватися на погляді *користувача* на процес її функці-

онування. Для широкого класу ПС відповідним апаратом моделювання процесу функціонування є марківські моделі, операційні сценарії, ієрархічні моделі станів, мережі Петрі, моделі технологічних процесів тощо [5]. Вибір того або іншого підходу зумовлює особливості проблемної області, для якої розробляється ПС, а також підходи до аналізу і проектування програмних систем (зокрема, структурного або об'єктно-орієнтованого).

Моделювання надійності ПС слугує основою для *розподілу цілей* надійності по її компонентах або операційних профілях, а також *прогнозування* надійності по відношенню до встановлених цілей надійності.

Для розподілення цілей по компонентах ПС класу інформаційних систем пропонується модель, що побудована за методом аналізом ієрархій і об'єднує погляди усіх, хто бере участь у інженерії процесів надійності ПС:

- замовника ПС, який сподівається на загальну її якість (так звану "якість у використанні" [7]) та загальну користь від використання у діловому процесі (U);

- користувачів, які визначають множину функцій ПС та їх відносну важливість для підтримання ділового процесу (F_1, \dots, F_f);

- розробників (проектувальників), які визначають множину та відносну важливість розроблюваних програм (програмних застосувань) (P_1, \dots, P_p), призначених для реалізації специфікованих користувачем функцій, а також незалежних модулів (M_1, \dots, M_m), що використовуються у цих програмах і відповідають сучасним концепціям повторного їх використання.

Поняття користі зв'язується з тим, наскільки надійно користувач зможе виконувати різні функції із застосуванням ПС, а міра корисності визначається як функція

$$U = h(F, R),$$

де F - вектор функцій ПС, а R - вектор їх надійності.

Тут h може приймати будь-яку функціональну форму, зв'язуючи відносні ваги функцій і надійність виконання функцій.

Ставиться мета апіорі отримати оптимальний рівень надійності кожного модуля, максимізуючи U і позбуваючи математичного визначення надійності функцій ПС. Для цього дається альтернативне означення користі U як комбінації відносної важливості програм і їх надійності, а надійність програм, у свою чергу, представляється як добуток надійності відповідних модулів. У результаті модель розподілу надійності зводиться до вирішення задачі оптимізації, в якій надійність модулів є невідомими змінними, а обмеження проекту - параметрами оптимізації. Вона випробувана на класі інформаційно-розрахункових систем і включає виконання задач планування і наукового прогнозування, розподілу задач надійності по компонентах цього програмного комплексу з розрахунками техніко-економічних показників дослідно-конструкторських розробок [6].

4. Математичний апарат прийняття рішень в умовах невизначеності

Засоби для побудови непротирічної схеми суджень про надійність з можливістю їх перегляду надає апарат теорії ймовірності, ключову роль в якому з позицій прийняття рішень відіграють *основна теорема* теорії ймовірності, *правило поширення* (множення) ймовірностей та *правило Байєса* [8].

В узагальненому вигляді правило множення ймовірностей має вигляд

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = P(A_1 | A_2, \dots, A_n) \cdot P(A_2 | A_3, \dots, A_n) \cdot \dots \cdot P(A_{n-1} | A_n) \cdot P(A_n) \quad (\text{правило мережі}),$$

де $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ - множина випадкових подій.

Ця формула надає засіб обчислення сумісного розподілення ймовірностей настання подій і покладається в основу побудови *байєсівської мережі (БМ)*, яка є орієнтованим ациклічним графом, між елементами вершин якого існують причинно-наслідкові зв'язки. З кожною вершиною апіорі пов'язуються

параметри, відповідні закону розподілу випадкових величин (які описують події). Дуга між будь-якими двома вершинами A та B встановлює причинно-наслідковий зв'язок “ A спричиняє B ”. У цієї мережі справедливе відношення умовної незалежності вершин: вершина-нащадок B не залежить від вершин-предків, що знаходяться вище вершини батька (тобто A).

Оскільки в мережах багато випадкових величин (ВВ) A_i бувають умовно незалежні, формулу (правило мережі) можна спростити.

Нехай $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ - множина ВВ у вершинах мережі, a_1, \dots, a_n - множина всіх можливих конфігурацій значень множини ВВ, а запис $Предки(A_i)$ означає множину предків вершини A_i . Тоді сумісне розподілення ймовірностей для $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ має вигляд

$$P(a_1, a_2, \dots, a_n) = \prod_{i=1}^n P(a_i | Предки(a_i)).$$

Параметри кожної вершини можуть бути представлені таблицею ймовірностей вершини (для дискретних ВВ), законом розподілу (для неперервних ВВ) або детермінованою функцією від значень ВВ у вершинах-батьках.

Безпосередньо для підтримки прийняття рішень доцільно використовувати *діаграми впливу* (ДВ). Фактично ДВ – це байєсівські мережі, розширені поняттями *корисності* (або, навпаки, *витрат, збитків*) та *рішення*.

На відміну від БМ, що містить лише один тип вершин, які називають вершинами *шансів* (chance) і які відпові-

дають стану ВВ, у ДВ додатково використовуються ще два типи вершин: *рішення* (decision) та *користі* (utility). Вершини рішення асоціюються з множиною альтернативних рішень, які можуть бути прийняті ОПР. У вершині користі міститься функція корисності, що пов'язує конфігурацію стану її вершин-батьків з корисністю. Якщо діаграма впливу містить декілька вершин користі, то обчислюється загальна функція корисності F як сума всіх локальних функцій корисності:

$$f_i \ (i = 1, \dots, s) \text{ у діаграмі}$$

$$F(x_1, \dots, x_n) = \sum_i^s f_i(x_1, \dots, x_n).$$

5. Структура та моделі в підсистемі прогнозування надійності

Для прогнозування досяжності встановлених цілей надійності з огляду на поточний стан виконуваних процесів та робочих продуктів (РП) пропонується використовувати розроблену *прогнозу підсистему* СППР, яка поєднує байєсівську мережу, подану на рис.1, та комплекс моделей зростання надійності (МЗН) [9]. Прогнозування за допомогою цієї підсистеми відноситься до класів пошукових і нормативних [10]. Прогноз є пошуковим, тому що дозволяє оцінити надійність ПС в кінці розроблення виходячи з її поточного стану. Але він є й нормативним, тому що надає можливість оцінити рівень якості процесів *розроблення та перевірки* (зокрема, верифікації) з метою прийняття рішення про доцільність їх вдосконалення.

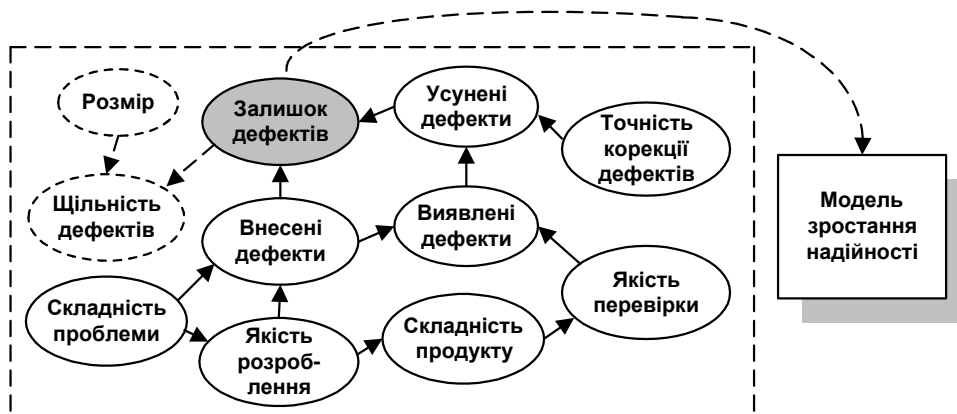


Рис. 1. Структура прогнозної підсистеми СППР

Байєсівська мережа дозволяє моделювати *кількість* (або щільність) *дефектів* у робочому продукті ПС на поточній фазі його створення. Розмір ПС, використовуваний для визначення щільності дефектів, пропонується оцінювати за однією з моделей в методології FPA [11].

Підкреслимо, що існує немало мультиплікативних моделей дефектів, прийнятних для використання, наприклад модель RLM (розробка Rome Laboratory), Гефні - Девіса, Путнама [12], а також Малаї - Дентона [13], Боєма - Чулані [14] тощо. Загальні їх недоліки полягають у тому, що, по-перше, вони не орієнтовані на адаптивні методології розроблення ПС (в них чітко зафіксовані стадії ЖЦ за каскадною моделлю), а по-друге, не допускають невизначеності відносно значень параметрів моделі.

Запропонована БМ використовується як для цілей прогнозування, так і для діагностичних цілей, тобто визначення «вузьких місць» у проекті, які не дозволяють досягти запланованого рівня надійності. Отримане за моделлю значення кількості дефектів використовується для оцінки параметра однієї з моде-

лей зростання надійності, що дає можливість вже на самих *ранніх стадіях* ЖЦ оцінювати надійність ПС.

Діагностичні можливості БМ дозволяють грубо оцінити «достатню» якість робіт у процесах ЖЦ («висока», «низька») та перейти до прийняття рішення до їх вдосконалення.

6. Застосування діаграм впливу для вибору ефективних рішень з керування проектом

В СППР пропонується виконувати дві діаграми впливу: для оцінювання економічної доцільності покращення якості виконання робіт з розроблення ПС (рис. 2) та робіт з перевірки робочих продуктів (рис. 3). При цьому ОПР визначає, що дешевше – просто «підсилити» групу виконавців, наприклад, включаючи в неї нових спеціалістів чи підвищуючи зарплату, або витратити гроші на вдосконалення методів їх роботи (зокрема, навчання прийомам інженерії надійності). Ці діаграми подібні за структурою. В них овальні вершини є вершинами шансів, ромбічні – вершинами користі, а прямокутна – вершиною рішення. Вершина «потужність процесу» використовується як індикатор якості впрова-

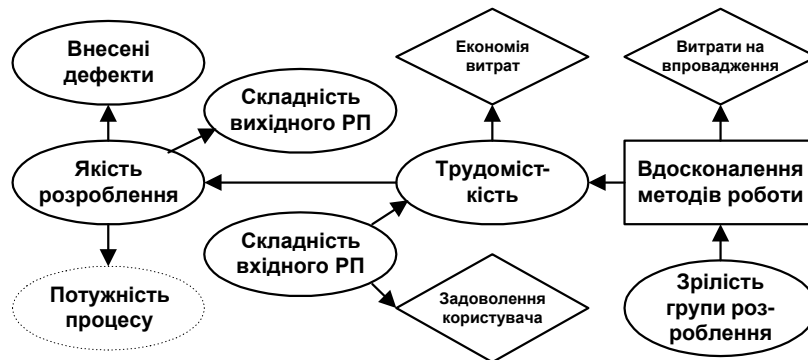


Рис. 2. Діаграма впливу на оцінку процесів розроблення

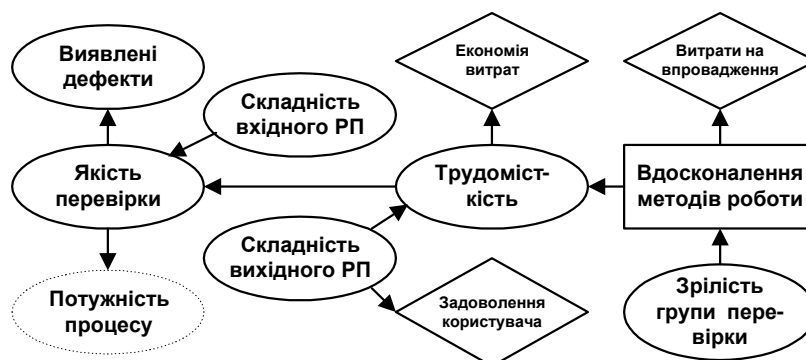


Рис. 3. Діаграма впливу на оцінку процесів перевірки

дженого процесу без рогляду рівня досконалості групи виконавців.

Рішення приймаються на кожному етапі робіт з урахуванням складності трансформації вхідного робочого продукту, який є «спадком» попереднього етапу, у вихідний РП, а також рівня зрілості групи. Застосовується шкала «низький», «середній», «високий». Оскільки вхідний РП для процесів розроблення та вихідний РП для процесів перевірки є документами або версією коду, що посталяється користувачам для апробації, навчання або узгодження, в діаграмі впливу введена вершина користі «Задоволення користувача».

7. Програма забезпечення надійності ПС

Вдосконалення робіт групи програмного проекту, створеної для розроблення ПС з встановленими цілями надійності, може здійснюватися шляхом впровадження та наступного виконання Програми забезпечення надійності (ПЗН) [2]. В ній визначається перелік заходів з інженерії надійності, які треба здійснювати для досягнення цілей надійності. Задача ОПР (менеджера та/або групи якості) полягає у виборі з множини задач інженерії надійності, визначених у [1], найбільш прийнятних для даного проекту, та їх впорядкуванні за стратегією, яка забезпечить на кожній стадії ЖЦ покращення робочих продуктів, виконуваних процесів та досягнення надійності кінцевого ПП.

Висновки

Керування проектом є сферою діяльності, якій властива велика невизначеність. Найбільш зручною є така схема або модель керування, яка розглядає його як процес навчання. Процес керування включає прийняття рішення, виконання дій і навчання на основі отриманого досвіду методам більш ефективної діяльності в майбутньому. При вирішенні задач, пов'язаних з прийняттям рішень в умовах невизначеності, пропонується використовувати апарат байєсівських мереж та діаграм впливу. Подані в статті моделі калібровані за даними літератури, розроблені за допомогою НАРІ Hugin Lite 6.5

та проходять апробацію в програмних проектах ІПС НАН України.

1. Мороз Г. Б., Коваль Г. И., Коротун Т. М. Определение целей и задач инженерии надежности программного обеспечения // Проблемы программирования. – 1997. – № 2. – С. 98 – 106.
2. Планирование обеспечения надежности информационных систем / Г.И. Коваль, Т.М. Коротун, Т.Л. Яблокова, Л.И. Куцаченко // Там же. – 2001. – №3–4. – С. 40 – 47.
3. Парадигма качества программного обеспечения / Ф.И. Андон, В.Ю. Суслов, Т.М. Коротун, Г.И. Коваль // Там же. – 1999. – №2. – С. 51 – 62.
4. Highsmith J. Retiring Lifecycle Dinosaurs // Software Testing & Quality Engineering. – 2000. -May/June. – <http://www.stqemagazine.com>
5. Мороз Г.Б., Коваль Г.И., Коротун Т.М. Концепция профилей в инженерии надежности программных систем // Математичні машини і системи. – 2004. – №1. – С. 166 – 184.
6. Подход к тестированию и оценке надежности ПО при управлении проектом / Г.И. Коваль, Т.М. Коротун, Т.Л. Яблокова, Л.И.Куцаченко // Проблемы программирования. – 2000. – №.3–4.– С. 82 – 88.
7. Основы инженерии качества программных систем / Ф. И. Андон, Г. И. Коваль, Т. М. Коротун, В. Ю. Суслов – К.: Академперіодика, 2002. – 504 с.
8. Коваль Г.И. Байєсівські мережі як засіб оцінювання та прогнозування якості програмного забезпечення // Проблеми програмування. – 2005. – №2.– С. 15 – 23.
9. Мороз Г.Б., Лаврищева Е.М. Модели роста надежности ПО. – Киев, 1992. – 25 с. – (Препр. / АН Украины. Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова; 92 – 38).
10. Клебанова Т.С., Иванов В.В., Дубровина Н.А. Методы прогнозирования // Харьков, ХТЭУ, 2002. – 372с
11. Коваль Г.И. Методы определения размера ПО // Проблемы программирования. – 1999. – №1.– С. 63 – 71.
12. Коваль Г.И. Подход к прогнозированию надежности ПО при управлении про-

ектом // Там же. –2002. – № 1 – 2. – С. 282 . 290.

13. *Malaiya Y.K., Denton J.* What do the Software Reliability Growth Model Parameters Represent // Proc. IEEE–CS Int. Symposium on Software Reliability Engineering ISSRE. – Nov. 1997. – pp. 124 – 135.
14. *Chulani S.* Constructive Quality Modeling for Defect Density Prediction: COQUALMO // Intern Symp. on Softw. Rel. Eng. (ISSRE'99), Boca Raton. – 1999. - Nov. 1–4. – <http://www.research.ibm.com/softeng/comm/Pubs.htm>

Отримано 22.06.05

Про автора

Коваль Галина Іванівна,
старший науковий співробітник

Місце роботи:

Інститут програмних систем
НАН України,
Просп. Академіка Глушкова, 40,
03680, Київ–187, Україна
тел. 526 4579,
e–mail: galia@isofts.kiev.ua