

УДК 681.3.06

О.О. Слабоспицька

ТЕХНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА СІМЕЙСТВ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Проаналізовано потреби вітчизняної програмної індустрії в уніфікованому процесі автоматизованого виробництва прикладних програмних систем (ПС). Обґрунтовано його побудову на засадах генерувального програмування і керування варіабельністю – здатністю ПС до зміни, налаштування чи конфігурування для застосування в певному контексті, яка обумовлює створення сімейства ПС. Процес подано композицією спеціальних функцій обґрунтованого керування варіабельністю в адекватному модельному середовищі згідно з генерувальною моделлю, визначеною у термінах його елементів (з просторів проблеми й рішень). Побудовано технологічну модель процесу, відповідну запропонованому поданню.

Вступ

Розбудова індустрії конкурентоспроможних програмних продуктів є наразі одним з пріоритетів інноваційного розвитку держави [1]. Директивні документи [1, 2] фіксують шляхи розбудови:

- а) розвиток двох складових індустрії – для зовнішніх та внутрішніх ринків;
- б) перехід від продажу інтелектуальних послуг або компонентів – до продажу прикладних програмних застосунків;
- в) сприяння виходу на зовнішні ринки малих і середніх фірм-експортерів;
- г) гнучке врахування динаміки ринкового попиту і пропозицій;
- д) створення організаційних засад управління програмною індустрією.

Аналіз досвіду організації програмної індустрії [3–5] висвітлює потребу в розгортанні процесу автоматизованого виробництва сімейств (АВС) програмних систем (ПС) для реалізації цих шляхів. Сімейство – це низка ПС з однаковими функціями, але різними деталями реалізації (мовою, інтерфейсом, методами тощо) для споживачів у різних функціональних сегментах предметної області (ПрО).

Зазначений аналіз демонструє два механізми інженерії сімейств ПС (СПС). Перший – це обґрунтоване кількісне керування варіабельністю у СПС [6–8]. Другим є генерувальне програмування: автоматизоване створення ПС – членів СПС з інформаційних ресурсів повторного використання (РПВ), накопичуваних у репози-

торії інтегрованого середовища розроблення (ІСР), за генерувальною моделлю СПС [9, 10] і описом підтримуваних потреб споживачів у ПрО.

Однак зіставлення підходів до розвитку механізмів [6–10] засвідчує їх розмежування: технологічні й реалізаційні засоби забезпечення варіабельності – для першого; мови опису ПрО в генерувальній моделі – для другого. Проблема узгодженої реалізації механізмів на єдиних теоретичних засадах залишається поза увагою.

На підтримку вирішення цієї проблеми для розбудови програмної індустрії, пропонується технологічна модель процесу АВС. Він поданий композицією спеціальних функцій обґрунтованого керування варіабельністю в адекватному модельному середовищі [7] за генерувальною моделлю, визначеною елементами середовища.

Проблему досліджено в рамках проекту «Розробка теоретичного фундаменту генеруючого програмування та інструментальних засобів його підтримки», що виконується в Інституті програмних систем НАН України під керівництвом д-ра фіз.-мат. наук, проф. К.М. Лавріщевої [9].

Кількісне керування варіабельністю

Функції керування варіабельністю. Визначальною особливістю процесу розроблення СПС для певної ПрО є взаємодія двох складових – процесів інженерії ПрО та інженерії програмних за-

стосунків. Вона показана на рис. 1 (згідно з відомою моделлю К. Похла [6]).

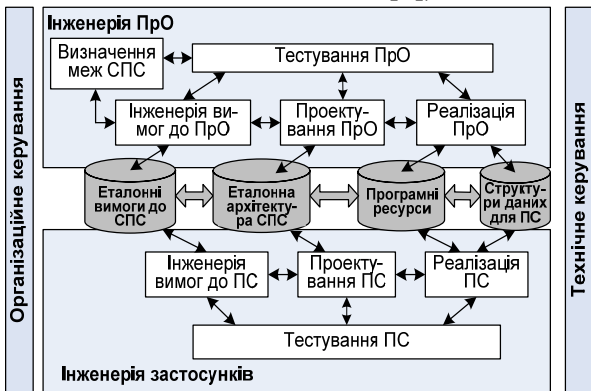


Рис.1. Модель процесу розроблення СПС

У процесі інженерії ПрО реалізується варіабельність структури СПС – її здатність до визначення спільних і потенційно розбіжних характеристик ПС – та припустимого діапазону розбіжності (з позицій функціональних і нефункціональних вимог до якості, архітектури, середовища експлуатації тощо). Створюються також артефакти, які є реалізаціями спільних характеристик ПС і забезпечують варіабельність СПС, необхідну для породження множини ПС за потребами споживачів у ПрО. Артефакти, що є РПВ, піддаються тестуванню і утворюють платформу СПС. Ця платформа поряд з програмними РПВ включає моделі вимог, архітектури, тестів тощо. Для систем оброблення даних, яким властиві складні структури даних у ПрО і ведення великих обсягів інформації, платформа також охоплює моделі даних для ПС з СПС.

Процес інженерії застосунків призначений для створення ПС (за певною генерувальною моделлю) з множини РПВ шляхом часткового зв'язування (зниження) структурно закладеної варіабельності згідно з вимогами до ПС. Результатом зв'язування є варіабельність артефактів – їх здатність до розширення, змінювання, пристосування або конфігурування з метою використання у певній ПС [8].

Процеси організаційного керування (див. рис. 1) необхідні для координації робіт у процесах інженерії ПрО та застосунків. У процесах технічного керування здійснюється планування й контроль робіт зі створення РПВ, з одного боку, та їх використання для побудови ПС, з іншого боку.

Отже, межі СПС визначаються в термінах множин підтримуваних потреб і технічних вимог до ПС, а також артефактів процесів їх розроблення на підтримку вимог і потреб (названих у [10] просторами проблеми та рішень). У процесі інженерії ПрО в просторі проблеми формуються описи підтримуваних потреб і технічних вимог, а в просторі рішень – програмні РПВ. Процес інженерії застосунків доповнює їх описами потреб і вимог для окремої ПС (у просторі проблеми) та готовими ПС на підтримку потреб (у просторі рішень).

Механізм керування варіабельністю передбачає ідентифікацію та опис об'єктів керування – точок варіантності, варіантів, а також обмежень і залежностей між ними (детально розглянутих у роботі [7]).

Аналіз внутрішньої структури процесу розроблення СПС за моделлю К. Похла [6, 11] висвітлює чотири типи (t) артефактів, що можуть бути точками варіантності і варіантами. Це: характеристика ПС, прийнята до реалізації ($t = 1$); компонент архітектури ПС ($t = 2$); програмний артефакт (компонент, аспект тощо) ($t = 3$); таблиця бази даних ($t = 4$). Зазначимо, що артефакти типу $t=1$ поділяються на дві групи: враховані потреби ділових процесів ПрО; вимоги до ПС з боку аналітиків СПС.

Для формування процесу АВС зручно скористатися функціями кількісного керування варіабельністю, запропонованими в [7]¹ на підставі відомого циклу керування Е. Дьомінга. До їх числа належить:

- 1) планування реалізації варіабельності в структурі й артефактах СПС (F_1);
- 2) реалізація варіабельності в структурі й артефактах СПС [12] (F_2);
- 3) системний моніторинг стану СПС в аспекті варіабельності (F_3);
- 4) актуалізація СПС за результатами моніторингу (F_4).

На підтримку розбудови програмної індустрії за допомогою процесу АВС, доцільно прийняти вимоги до виконання функцій $F_1 - F_4$, висунуті в [7]:

¹ Функції визначив аспірант ІПС НАН України А.Л. Колесник

1) обґрунтованість – надання підстав прийняття рішень щодо функцій (D_1);

2) узгодженість – однаковість способів вироблення й реалізації цих рішень на всіх рівнях абстракції і на всіх етапах процесу розроблення СПС (D_2);

3) масштабованість – незалежність способу вироблення й реалізації зазначених рішень від обсягу функціональних можливостей, охоплених СПС (D_3);

4) трасовність – можливість простеження зв'язків між проявами варіабельності на всіх рівнях абстракції і на всіх етапах процесу розроблення СПС (D_4).

Компонування функцій $F_1 - F_4$ з дотриманням вимог $D_1 - D_4$ потребує адекватного середовища їх виконання.

Модельне середовище керування варіабельністю. Доцільну структуру середовища обґрунтовано в [7]. Воно поєднує узгоджені моделі варіабельності в структурі та в артефактах СПС, а також інтегровану модель варіабельності. Остання доповнює традиційні виміри у просторі об'єктів керування варіабельністю – точки варіантності й варіанти – оціночною моделлю для інтегрального рівня варіабельності та ступеня її відповідності потребам ПрО (за шкалою відношень).

Сутність зазначених моделей розкривають їхні означення, які наведені далі.

Означення 1. Модель варіабельності в структурі СПС – це кортеж

$$SV = \langle \langle CF; \langle DR, TC \rangle; \langle AR, TD \rangle; \langle CM, FR, TS, TA \rangle; \langle ER, TF \rangle \rangle; Constr; Dep \rangle, \quad (1)$$

де $CF = \langle SF, LF \rangle$ – діаграма характеристик (у нотації [8]), яка подає множину сталих і змінних властивостей ПС (SF), пропонування їх потенційним споживачам, та обмеження ($Constr$) й залежності (Dep) між ними за допомогою зв'язків обов'язкового й варіантного підпорядкування (LF);

$DR = \langle SF \cup SR, LF \cup LR \rangle$ – аналогічна діаграма, де характеристики $f \in SF$ деталізовано і/або доповнено характеристиками $r \in SR$, що подають сталі та змінні "технічні" вимоги до ПС з боку аналітиків СПС, обмеження й залежності яких відображаються зв'язками LR ;

$TC = \{(r, f), r \in SR, f \in SF\}$ – двосторонні зв'язки трасовності між "технічними"

вимогами до ПС та їх властивостями для споживача, що деталізуються вимогами;

$AR = \langle AC, LC \rangle$ – еталонна архітектура СПС [6], тобто опис взаємозв'язків (LC) між формальними поданнями програмних РПВ (AC) для реалізації характеристик $f \in DR$ у певній нотації для програмної архітектури (UML, xADL тощо);

$TD = \{(ac, f), ac \in AC, f \in SF \cup SR\}$ – двосторонні зв'язки трасовності між поданнями компонентів архітектури $ac \in AC$ (для реалізації характеристик $f \in DR$) та цими характеристиками;

CM – описи базових програмних РПВ для реалізації компонентів архітектури при складанні за каркасом (FR);

$TS = \{(ts, cm), cm \in CM\}$ – формальні описи тестів (ts) для РПВ з описами cm ;

$TA = \{(cm, ac), cm \in CM, ac \in AC\}$ – двосторонні зв'язки трасовності між програмними РПВ та компонентами архітектури AR ;

$TL = \{(fr, lc), fr \in FR, lc \in LC\}$ – двосторонні зв'язки трасовності між елементами каркаса для складання РПВ та взаємозв'язками компонентів архітектури;

ER і TF – відповідно, ER-модель бази даних (БД) для ПС з СПС та двосторонні зв'язки трасовності її елементів з РПВ $cm \in CM$.

Кожний з вкладених кортежів у виразі (1) відображає опис потреб потенційних споживачів, формований у підпроцесах розроблення СПС (див. рис. 1) в артефактах відповідного типу – від характеристик до підмножин полів таблиць БД.

Співвідношення між варіабельністю у структурі СПС та в його артефактах, зокрема, в ресурсах, висвітлює

Означення 2. Модель варіабельності в артефактах СПС – це четвірка

$$AS = \langle AF_1, AF_2, AF_3, AF_4 \rangle, \quad (2)$$

де $AF_t = \{f(af_t)\}$ – множина формальних подань артефактів СПС типу $t = 1, \dots, 4$ (af_t).

Для узгодженого відображення варіабельності в артефактах СПС та в структурі СПС за моделлю (1) пропонується уніфікований розгляд довільного артефакту типу t (af_t) як наскрізного фрагмента моделі (1), виділеного неперервними зв'язками трасовності $\tau \in TD \cup TA \cup TF$ вершин

певного “цільового” підграфа r_t графа DR – тобто тих характеристик ПС, для реалізації яких призначено af_t . Прийнятий розгляд артефактів фіксує

Означення 3. Формальне подання артефакту СПС типу t (af_t) – це кортеж

$$f(af_t) = \langle r_t; \langle ar_t, td_t \rangle; \langle fr_t, cm_t, ts_t, ta_t \rangle; \langle er_t, tf_t \rangle \rangle, \quad (3)$$

де складниками є підграфи “горизонтальних” графів моделі (1) на всіх її рівнях та “вертикальні” зв’язки трасовності між вершинами цих підграфів суміжних рівнів.

Зокрема, у виразі (3):

r_t – підграф графа DR , що подає характеристики, які реалізує артефакт af_t ;

ar_t – підграф графа AR , де вершини пов’язані неперервними зв’язками трасовності: $td_2 \subseteq TD$ – з вершинами графа r_2 або з вершинами підграфа gr_t рівня t з моделі (1), який безпосередньо реалізується артефактом af_t у процесі розроблення СПС;

$$gr_1 = r_1, gr_2 = ar_2; gr_3 = \langle fr_3, cm_3 \rangle; gr_4 = er_4;$$

$td_t \subseteq TD$ – зв’язки трасовності між вершинами підграфів ar_t і r_t ;

$cm_t \subseteq CM, fr_t \subseteq FR$ – формальні подання програмних артефактів та елементів каркаса, пов’язаних неперервними зв’язками трасовності з вершинами підграфа ar_3 або gr_t ;

$ts_t \subseteq TS$ – формальні описи тестів для компонентів, описаних у cm_t ;

$ta_t \subseteq TA$ – зв’язки трасовності між вершинами підграфів $\langle fr_t, cm_t \rangle$ і ar_t ;

er_t – фрагмент ER-моделі БД для оброблення ПС з СПС, де вершини пов’язані висхідними неперервними зв’язками трасовності: $tf_4 \subseteq TF$ – з вершинами підграфа $\langle cm_3, fr_3 \rangle$; $tr \subseteq TF \cup TA \cup TD$ – з вершинами підграфа gr_t ($t \neq 4$);

$tf_t \subseteq TF$ – зв’язки трасовності між вершинами підграфів er_t і $\langle fr_t, cm_t \rangle$.

Для постійного відстеження позиції af_t на підтримку функцій $F_1 - F_4$ доцільно зберігати його у репозиторії RE разом з уніфікованим паспортом [7].

Означення 4. Паспорт артефакту $as \in AS$ (2) – це структурований кортеж

$$CT(as) = \langle wc; \{ \langle wu_\tau, us_\tau, vb_\tau, r_\tau \rangle \}; id \rangle, \quad (4)$$

де wc, wu_τ – відповідно, трудовитрати на

створення as та середні трудовитрати на його повторне використання впродовж чергового періоду τ розроблення СПС;

$us_\tau = \langle fc, fh, ph \rangle$ – використовність rs протягом періоду τ , складена частотами: безпосереднього надання rs замовнику /споживачу (fc), повторного застосування в проактивному розробленні ПС ринкового призначення (fh) та для вдосконалення самого процесу розроблення СПС (ph);

$vb_t = \langle fvp, fvr \rangle$ – варіабельність as у період τ , складена частотою точок варіантності (fvp) і середньою частотою варіантів для них (fvr) згідно з $f(rs)$ (3);

r_t – рейтинг корисності as у період τ , коригований аналітиками СПС на підставі апіорного значення у впорядкуванні артефактів того ж типу, що й as , за спаданням величин $(fc+fh+ph)/(wc+wu_t)$;

id – реєстраційні реквізити (ідентифікатор, призначення, дата реєстрації в репозиторії, персоналії й роль її суб’єкта).

Сформульовані вимоги $D_1 - D_5$ стосовно функцій $F_1 - F_4$ у середовищі керування варіабельністю забезпечує інтегрована модель варіабельності.

Означення 5. Інтегрована модель варіабельності – це структурований кортеж

$$VM = \langle EVM; VP; VAR \rangle; EVM = \langle VL, VR \rangle; \quad (5)$$

$$VP = \langle VpR, VpA, VpE, VpB \rangle;$$

$$VAR = \langle VR, VA, VE, VB \rangle;$$

$$VL = \langle vrl, val, vel, vbl \rangle, VR = \langle vrr, var, ver, vbr \rangle, \quad (6)$$

де VpR, VpA, VpE, VpB – множини точок варіантності в структурі СПС, які відображають, відповідно, характеристики ПС, компоненти архітектури, елементи каркаса і поля таблиць БД, із зв’язками трасовності, обмеження й залежності з SV (1);

VR, VA, VE, VB – множини варіантів для точок варіантності з множин, відповідних їм за номером у кортежі (5), із збереженими зв’язками трасовності, обмеження ($Constr$) й залежності (Dep) з SV (1);

VL – вкладена оціночна модель рівня варіабельності, деталізована за типами її проявів – відповідно, у вимогах (vrl), компонентах архітектури (val), програмних артефактах (vel), даних з БД (vbl);

VR – аналогічна модель рівня від-

повідності варіабельності в СПС потребах цільової Про, деталізована відповідно для вимог (vrr), компонентів архітектури (var), програмних артефактів (ver), даних (vbr).

Оцінки рівнів варіабельності за пропонуваними моделями VL і VR (6) зручно накопичувати у спеціальному профілі варіабельності СПС. Його структуру фіксує

Означення 6. Профіль варіабельності СПС – це структурований кортеж

$$VPR = \{ \{WU_\tau, US_\tau, VB_\tau, R_\tau\}, vl_\tau, vr_\tau \}, \quad (7)$$

де компоненти мають зміст, аналогічний компонентам паспорта $CT(rs)$ (5), а саме:

WC і WU_τ – відповідно, трудовитрати на створення СПС та середні трудовитрати на створення ПС для споживачів у черговому періоді τ розроблення СПС;

US_τ – середня використовність артефактів СПС в період τ , складена усередненими частотами їх безпосереднього надання замовнику /споживачу, повторного застосування в проактивному розробленні ПС ринкового призначення та для вдосконалення процесу розроблення СПС;

VB_τ – показник варіабельності СПС у період τ , складений усередненими відповідними показниками з паспортів (4);

R_τ – п'ятірки артефактів з найвищим та найнижчим рейтингом у період τ згідно з їхніми паспортами (4);

vl_τ, vr_τ – оцінки поточного стану СПС за моделями VL і VR (6).

Генерувальна модель як засіб реалізації варіабельності в СПС

Розглянуте середовище керування варіабельністю (1) – (7) дозволяє подати генерувальну модель (ГМ) у процесі АВС композицією відображень, що здійснюються певними операціями функції реалізації варіабельності в СПС (F_2).

Потреба внесення до меж СПС нових характеристик ПС, не підтриманих РПВ, обумовлює недостатність канонічних ГМ – конфігураційної (CM) й трансформаційної (TM). У загальному випадку, коли не всі цільові характеристики ПС реалізуються РПВ, необхідна композиція CM і TM , названа *гібридною* ГМ (HM).

Вигляд CM, TM, HM встановлюють

наведені далі означення (цільові вимоги dr вважаються поданими діаграмою характеристик у нотації [8] з деякої множини RQ подань припустимих вимог у Про).

Нехай:

$e.af_i, e \in \{r, ar, fr, cm, ts, er\}$ – елемент e у поданні $f(af_i)$ (3) для артефакту af_i ;

$RC(dr) = \{af_3 \in RE \mid r.af_3 = dr\}$ – множина РПВ на підтримку dr ;

$$PC(dr) = \{af_3 \notin RE \mid r.af_3 = dr, cm.af_3, ts.af_3 \subseteq RE, er.af_3 \in DB\}, \quad (8)$$

– множина програмних артефактів на підтримку dr , які конфігуруються з РПВ, описаних елементами $cm.af_3, ts.af_3, er.af_3$ у виразі $f(af_3)$ (3), за допомогою каркасів $fr.af_3$;

$q(af_3) \in Q$ – поточна модель відносної якості af_3 , що враховує витрати на af_3 ;

DC – операція розкладу вимог

$$dr = \{dr_1; dr_{2i}, i \geq 1\}, \quad (9)$$

де dr_1 – підграф графа DR у SV (1), підтриманий РПВ з репозиторію RE і найбільш подібний до dr , а dr_{2i} – незалежні цільові характеристики ПС, не підтримані РПВ;

DB – фізичне подання БД для ПС.

Означення 7. Конфігураційна ГМ для реалізації варіабельності (ВГМ) зіставляє цільовим вимогам такий РПВ або програмний артефакт, конфігурований з РПВ ($CM(dr)$), який підтримує цільові вимоги з найвищою відносною якістю, за його наявності в СПС:

$$CM: REQ \rightarrow SW \times ST \times DB; SW, ST \subset RE; \\ CM(dr) = argmax \{q(af_3), \\ af_3 \in RC(dr) \cup PC(dr)\}, \text{ якщо} \\ dr = dr_1, RC(dr) \cup PC(dr) \neq \emptyset, \quad (10)$$

де SW, ST – тимчасові області репозиторію RE для кодів і тестів, описані далі.

Для прототипу моделі q пропонується відношення якості af_3 (за еталонною моделлю ISO/IEC 9126) і витрат на нього.

Зіставлення виразів (9) і (3) надає конфігураційній ВГМ (10) пошукуваної форми, конструктивної для композування операцій функції F_2 у процесах інженерії Про та застосунків згідно з нею:

$$CM = C \circ (CF \circ AS) \circ FA \circ DC, \quad (11)$$

де $C = C(q)$ – вибір артефакту(ів) з максимальним значенням q ;

CF , AS – формування множин $PC(dr)$, $RC(dr)$ за поданнями (3) для їхніх елементів та для цільових вимог dr ;

FA – зіставлення вимогам їхнього подання $f(dr)$ (3) на підставі їхніх зв'язків трасовності в моделі SV (1).

Означення 8. Трансформаційна ВГМ реалізує операцію зіставлення цільовим вимогам dr РПВ $TM(dr)$, в який трансформується його опис $cm.f(dr)$ у поданні $f(dr)$ (3) для вимог:

$$\begin{aligned} TM: REQ &\rightarrow RE \times RE \times DB; \\ TM &= EG \circ FA \circ \tau \circ \alpha \circ \delta \circ DC, \\ TM(dr) &= EG(cm.dr, ts.dr, er.dr), \end{aligned} \quad (12)$$

де EG – операція трансформації опису РПВ $TM(dr)$ з $f(dr)$ (3) у виконуваний код;

φ, α, δ – операції встановлення або, за наявності, простеження неперервних низхідних зв'язків трасовності описів, відповідно, коду (TF), архітектури (TA) та вимог (TD) у моделі SV (1).

Операції $EG, \varphi, \alpha, \delta$ реалізуються за допомогою низки проміжних мов опису ПрО (їх приклади для φ , EG надано в [12]). За необхідності, при створенні ПС операціям φ, α, δ можна зіставити індуковані операції породження артефактів типів $t = 4, 2, 1$ (документи вимог до ПС, подання архітектур і структур даних) у міру формування їхніх описів у $f(dr)$ (3).

З означень 7 і 8 випливає, що для вимог dr , повністю підтриманих РПВ, застосовні обидві моделі SM і TM . Отже, у процесі інженерії застосунків необхідне правило вибору між ними. Природно розглядати його як предикат tg на множині характеристик якості й витрат артефактів $SM(dr)$ і $TM(dr)$, актуалізований для чергової ПС у межах певної множини TG . До цієї множини пропонується первинно внести правила "м'якого" й "жорсткого" вибору, доцільні за достатніх (відповідно, обмежених) ресурсів фірми-розробника СПС. "М'яким" є вибір між $SM(dr)$, $TM(dr)$ артефакту з вищою відносною якістю Q . За "жорстким" правилом обирається артефакт з меншими витратами на отримання.

Означення 9. Гібридна ВГМ є композицією відображень:

$$HM = SM \circ (\circ_{i \geq 1} TM) \circ DC; \quad (13)$$

$$\begin{aligned} HM(dr) &= argmax\{Q(af_3), af_3= \\ &= fr.af_3(cm_3.af_3, ts.af_3, er_3.af_3), r.af_3 \in DC(dr)\}. \end{aligned}$$

Наведені подання ВГМ (10), (12), (13) підвищують повторну використованість РПВ й артефактів у процесі інженерії застосунків. Вони також сприяють уніфікації дій з розроблення цільових ПС (поданих операціями функції F_2 у виразах для ВГМ) та підвищенню їх чутливості до змін умов розроблення (за допомогою моделі Q , правил TG , тимчасових областей SW , ST).

Крім того, описи (3) для результатів застосування ВГМ дозволяють формування й актуалізацію у процесі АВС постановок задач для операцій функцій F_1, F_3, F_4 . Це, по перше, оптимізаційні постановки:

- добору характеристик для СПС (FCF) і для окремих ПС (FCA);
- розподілу коштів і термінів на ведення структури СПС (RF) та створення ПС (RA);
- актуалізації пріоритетів реалізації (характеристик і наслідків їх трасування) і видалення з репозиторію (РПВ) (EA).

Другу групу складають задачі обґрунтованого експертно-аналітичного оцінювання [13] керованих об'єктів у процесах інженерії ПрО і застосунків. Третя група – постановки задач виявлення неадекватності ІСР СПС потребам ПрО та дій з її подолання (AI).

Технологічна модель процесу АВС

Аналіз застосовності практики індустріального виробництва програм [3–5] у вітчизняній програмній індустрії надає вимоги до процесу АВС, конструктивні для побудови його технологічної моделі:

- циклічне чергування цільових етапів автоматизованого створення ПС у межах СПС та сервісних – перегляду меж;
- несуперечне врахування поглядів на межі СПС і характеристики ПС, властивих усім учасникам процесу АВС;
- доступність кращих практик інженерії СПС – для їх учасників, а даних про стан СПС – для всіх зацікавлених сторін згідно з їх ролями у процесі АВС.
- незалежність технологічної моделі від цільової ПрО та організаційної структури фірми-розробника СПС;

- постійна вдосконалюваність;
- обґрунтованість та інформаційна спадкоємність управлінських рішень з організації процесу ABC.

Для побудови технологічної моделі за цими вимогами, середовище керування варіабельністю (1) – (7) поповнено банками даних щодо вищеописаних постановок задач (*FCF* і *FCA*, *RF* і *RA*, *AIEA*); предикатів *TG* і моделей *Q*; моделей експертно-аналітичного оцінювання (*EM*) [13].

Процес ABC визначено як композицію операцій функцій керування варіабельністю ($F_1 - F_4$), виконувану у поповненому модельному середовищі згідно з поданнями ВГМ (10), (12), (13). Ці операції доповнюють дії з використання ВГМ (операції F_2): формуванням для ВГМ простору проблеми та описом у ньому цільових ПС (операції F_1); аналізом отриманих артефактів і РПВ для вчасного виявлення неадекватності СПС потребам ПрО (операції F_3); актуалізацією СПС (операції F_4).

Структуру отриманої технологічної моделі процесу ABC показано на рис. 2.

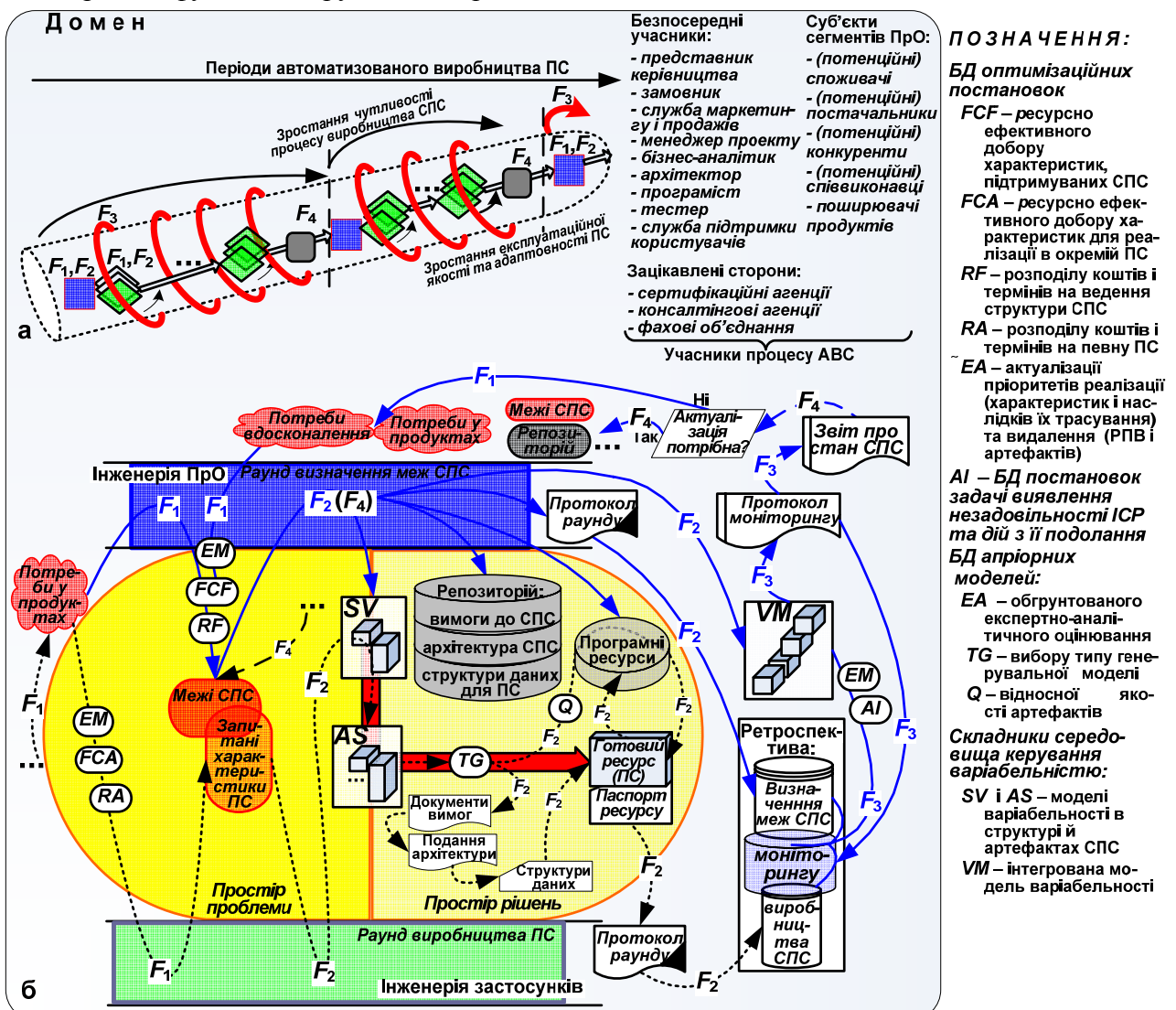


Рис. 2. Склад та структура технологічної моделі процесу ABC

Рис. 2, а висвітлює внутрішню структуру процесу ABC у цілому. Він демонструє подання процесу послідовністю уніфікованих періодів автоматизованого виробництва ПС зі складу СПС (обмежених на рис. 2, а вертикальними штриховими лініями). У кожному періоді дії з виробництва ПС виконуються учасниками

процесу ABC (*AG*) згідно з вкладеною технологічною моделлю періоду (*RM*) у спільному інформаційному середовищі (*EN*). Пропоновані модель *RM*, середовище *EN* та математичний апарат підтримки функцій $F_1 - F_4$ (*MA*) забезпечують дотримання вимог до них. Завдяки цьому, в послідовних періодах постійно спадкують

ся кращі практики розроблення СПС і керування ним, збережені в репозиторії *RE* і структурах знань середовища.

Період створення ПС починається з одиничного цільового раунду визначення меж СПС (поданого квадратом на рис. 2, а і верхнім прямокутником – на рис. 2, б) згідно з його моделлю (*SM*), вкладеною до моделі періоду. Надалі виконується низка цільових раундів автоматичного виробництва ПС у встановлених межах СПС згідно з вкладеною моделлю (*GM*) (ці раунди показано ромбами на рис. 2, і нижнім прямокутником – на рис. 2, б).

“На тлі” цих раундів здійснюються сервісні раунди моніторингу стану СПС в аспекті варіабельності згідно з вкладеною моделлю *MM* (їм відповідають кільця спіралі на рис. 2, а). Періодичність моніторингу визначається поточно прийнятими умовами (*MC*). Якщо у такому раунді виявлено виконання прийнятих умов неадекватності стану СПС потребам ПрО (*AC*), поточний період автоматизованого виробництва ПС завершується сервісним раундом актуалізації СПС за даними моніторингу (заокруглений квадрат на рис. 2, а) згідно з вкладеною моделлю (*AM*).

На рис. 2, а показано функції керування варіабельністю, операції яких складають описані раунди. Для цільових раундів ці операції деталізовано на рис. 2, б.

Внутрішню структуру описаної технологічної моделі формалізує

Означення 10. Технологічна модель процесу *ABC* є коротжем

$$\begin{aligned} TM &= \langle AG; EN; RM; MA; \langle MC, AC \rangle \rangle, \\ RM &= \langle SM, GM, MM, AM \rangle, \quad (14) \\ MA &= \langle \langle FCF \cup FCA \cup RF \cup RA \cup EA, \mu_0 \rangle; \\ &\quad \langle AI; \mu_1 \rangle; \langle EM, \mu_E \rangle; TG, Q \rangle, \end{aligned}$$

де μ_0 – методи оптимізації; μ_1 – аналізу багатовимірних нечислових даних, μ_E – експертно-аналітичного оцінювання [13] для розв’язання задач, постановки й моделі яких описано в попередньому розділі, в складі математичного апарата *MA*.

Коло учасників процесу *ABC* (*AG*) охоплює його безпосередніх виконавців – фахівців фірми-розробника та зацікавлені сторони – суб’єктів ПрО, на діяльність

яких впливають результати процесу. Останні поєднують фахівців і підрозділи фірми-розробника та суб’єктів функціонально-цільових сегментів ПрО і ділового середовища опосередкованого впливу процесу *ABC* (див. рис. 2, а).

Розподіл складників середовища *EN* (14) у просторах проблеми й рішень, а також поза ними висвітлює рис. 2, б. Згідно з ним, середовище містить актуальний Звіт про стан СПС в аспекті варіабельності та чотири групи БД:

а) сховище артефактів і РПВ типів $t = 1, \dots, 4$ з їх паспортами (4) в репозиторії *RE* та у поданні БД для ПС;

б) вкладене модельне середовище керування варіабельністю у складі *SV* (1), *AS* (2), (3), *VM* (5), (6);

в) поповнювані БД вищеописаних постановок задач і моделей (*FCF* і *FCA*, *RF* і *RA*, *AI*, *EA*, *EM*, *Q*, *TG*) на підтримку операцій функцій $F_1 - F_4$;

г) ретроспективу перебігу процесу *ABC* у складі БД протоколів цільових раундів (що фіксують обраний тип ВГМ і результати розв’язання необхідних задач) та протоколів моніторингу (які містять профіль варіабельності та результати розв’язання задачі *AI* – дії з подолання виявленої неадекватності ІСР потребам ПрО).

Звіт про стан СПС включає поточний профіль варіабельності (7), доцільні дії з його актуалізації (обов’язкові й рекомендовані) та відомості про стан реалізації незавершених дій. Ці складники постійно актуалізуються за поточними протоколами – цільових раундів і моніторингу.

У міру виконання цільових і сервісних раундів згідно з рис. 2, а формуються їх динамічні локальні середовища, подані на рис. 2, б. Відповідні БД в *EN* поповнюються уніфікованими результатами раундів: виробленими РПВ, цільовими ПС і артефактами; формальними описами вимог до ПС на всіх рівнях моделі *SV* (1); поданнями артефактів в *AS* (2); новими моделями й постановками; протоколами.

Ретроспектива результатів раундів, структурована згідно з рис. 2, б та рольовими повноваженнями виконавців поточного раунду певного типу, надається їм як

джерело кращих практик виробництва ПС (для цільових раундів) та підстав прийняття управлінських рішень з його організації.

Вкладені моделі *SM* і *GM* цільових раундів утворені операціями функцій F_1 і F_2 у процесах інженерії ПрО та, відповідно, застосунків, а також стратегіями їх застосування. У моделі *SM* стратегія $\varphi \in \{h, s, m\}$ визначає можливості функції F_1 з поповнення меж СПС новими характеристиками в раунді визначення структури СПС. Пропонуються три базові стратегії:

h – жорстка, за якої нові характеристики не долучаються, але накопичуються в проміжному "портфелі" (аналогу backlog у методології Scrum), щодо якого задача оптимального добору (у певній постановці $fc \in FCF$) розв'язується в раунді актуалізації СПС, а отриманий перелік долучається до СПС у черговому раунді визначення структури;

m – пом'якшена, за якої рішення приймаються окремо для кожної характеристики (неподільної групи характеристик) на підставі співвідношення витрат на реалізацію за поточного стану СПС та віддачі від неї;

s – м'яка, за якої долучаються всі характеристики, запитані споживачами.

У моделі *GM* стратегія $\rho \in \{h, s, m\}$ задає спосіб збереження конфігурованих ПС та непрограмних артефактів (за використання трансформаційної ВГМ) у репозиторії *RE*:

h – жорстка стратегія, за якої ПС і артефакти (розміщені в *SW* і *ST* відповідно, див. (10)) не зберігаються у нових раундах;

m – пом'якшена, за якої до початку раунду актуалізації зберігаються артефакти й ПС, достатньо цінні для повторного використання у наступних раундах виробництва ПС;

s – м'яка, за якої до раунду актуалізації зберігаються всі артефакти й ПС.

Взаємозв'язки операцій з елементами середовища *EN* у просторах проблеми й рішень та їхні результати висвітлено на рис. 2, б. Модель *SM* подано темним прямокутником вгорі (йому відповідають квадрати на рис. 2, а; модель *GM* – світлим прямокутником знизу (йому відповідають ромби на рис. 2, а). Відображено також

аналогічну взаємодію для вкладених моделей сервісних раундів (*MM* і *AM*), утворених операціями функцій F_3 й F_4 , які для обох функцій виконуються у процесах інженерії ПрО та застосунків поза цільовими раундами.

Висновки

1. Запропоноване в роботі подання процесу автоматизованого виробництва сімейств програмних систем композицією уніфікованих дій із забезпечення належної варіабельності структури й артефактів сімейства ПС – є перспективним насамперед у предметних областях, суб'єктам яких притаманні однакові базові потреби, але різні вимоги до їх реалізації. Оскільки вітчизняний ринок програмних продуктів є наразі саме таким, побудована технологічна модель може бути використана для формування технологічного оснащення вітчизняної програмної індустрії.

2. Побудована технологічна модель є конструктивною для створення технологічних модулів автоматизованого виробництва програмних застосунків.

3. Реалізована описаним процесом варіабельність програмних артефактів (зокрема, готових продуктів) забезпечує їх адаптовність до передбаченого спектра змін умов експлуатації та повторного використання. У свою чергу, варіабельність структури та ресурсів СПС підтримує його еволюційність.

4. Відкритість запропонованого процесу до ітеративного розширення меж СПС і наявність єдиного інформаційного середовища його формування сприяє залученню сучасних практик гнучкого розроблення та інженерії співпраці.

5. Запропонована генерувальна модель дозволяє узгодити погляди учасників процесу розроблення з різними ролями на межі СПС та характеристики ПС. Вона також надає підґрунтя для розв'язання оптимізаційних задач ресурсно ефективного керування варіабельністю із залученням методів теорії графів.

6. Запропонована технологічна модель сприяє запровадженню системи менеджменту якості у фірмі-розробнику.

1. *Проект* Стратегії інноваційного розвитку України на 2010–2020 роки в умовах глобалізаційних викликів. Офіційний сайт Комітету Верховної Ради України з питань науки і освіти. – Available at <http://kno.rada.gov.ua> – 86 с.
2. *Концепція* державної цільової науково-технічної та економічної програми розвитку індустрії програмної продукції України на 2012–2014 роки. Офіційний сайт УкрНЦ РІТ – Available at <http://www.itdev.org.ua/>.
3. *Андон П.І., Лавріщева К.М.* Розвиток фабрик програм в інформаційному світі // Вісник НАН України. – 2010. – № 10. – С. 15–41.
4. *Гринфілд Д., Шорт К.* Фабрики разработки программ. Поточковая сборка типовых приложений, моделирование, структуры и инструменты. – Киев: Диалектика, Вильямс, 2007. – 592 с.
5. *Lenz G., Wienands C.* Practical Software Factories in .NET – Apress, 2006. – 214 p.
6. *Pohl K., Böckle G., Linden F.J.* Software Product Line Engineering: Foundations, Principles and Techniques. – New York: Springer-Verlag. – 2005. – 437 p.
7. *Лавріщева К.М., Слабоспицька О.О., Колесник А.Л., Коваль Г.І.* Теоретичні аспекти керування варіабельністю в сімействах програмних систем // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Сер. фіз.-мат. науки. – 2011. – № 1.
8. *Asikainen T., Männistö T., Soininen T.* A Unified Conceptual Foundation for Feature Modelling // in Proc. of the 10th Int. Software Product Line Conf. (SPLC 2006). – 2006. – P. 31 – 40.
9. *Лавріщева К.М.* Генерувальне програмування програмних систем і сімейств // Проблеми програмування. – 2009.– № 1. – С. 3–16.
10. *Чернецки К., Айзенкер У.* Порождающее программирование. Методы, инструменты, применение.– Издательский дом Питер. – М. – СПб. – Харьков. – Минск. – 2005. – 730 с.
11. *Лавріщева К.М., Коваль Г.І., Слабоспицька О.О., Колесник А.Л.* Особливості процесів керування при створенні сімейств програмних систем // Проблеми програмування. – 2009. – № 3. – С. 40–49.
12. *Колесник А.Л.* Механізми забезпечення варіабельності в сімействах програмних систем // Проблеми програмування. – 2010. – № 1. – С. 35–44.
13. *Лавріщева Е.М., Слабоспицькая О.А.* Подход к экспертному оцениванию в программной инженерии // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – № 4. – С. 151–168.

Отримано 17.01.2011

Про автора:

Слабоспицька Ольга Олександрівна, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник.

Місце роботи автора:

Інститут програмних систем
НАН України,
03187, Київ-187,
Проспект Академіка Глушкова, 40.
Тел.: (044) 526 4579.
e-mail: ols.07@mail.ru