

*М. Д. ГОДЛЕВСКИЙ*, д-р техн. наук, проф., зав. каф. АСУ НТУ «ХПИ»;  
*Э. Е. РУБИН*, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;  
*А. А. ГОЛОСКОКОВА*, ассистент кафедры АСУ НТУ «ХПИ»

## **УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ВАРИАНТОВ И ЛОКАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

Предлагается совместное использование метода локальной оптимизации и алгоритма последовательного анализа вариантов для улучшения качества процесса разработки программного обеспечения. На основании полученного результата были сделаны выводы, что совместное использование методов обеспечивает уменьшение количества возможных вариантов развития данного процесса разработки.

**Ключевые слова:** качество, программное обеспечение, локальная оптимизация, последовательный анализ вариантов.

**Введение.** В настоящее время одной из основных задач, стоящих перед успешно развивающейся организацией–разработчиком программного обеспечения (ПО), является улучшение качества процесса разработки (ПР) ПО. Данное понятие относится к поддерживающим процессам жизненного цикла (ПЖЦ) программных систем (ПС). Этапы совершенствования ПЖЦ регламентированы стандартом ДСТУ ISO/IEC TR 15504–7. Наиболее важным этапом является построение плана программы совершенствования, который позволит определить стратегию продвижения организации к более высокому уровню зрелости. Формализация критериев, на основе которых реализуется данное продвижение, учёт ограниченных ресурсов и их оптимальное распределение между отдельными процессами по периодам планирования, разработка математической модели и алгоритмов определения последовательности совершенствования отдельных ПЖЦ и их исследование – являются актуальным набором задач на пути решения поставленной проблемы.

**Постановка проблемы.** ПР ПО представляет собой упорядоченную совокупность ПЖЦ, направленную на создание программного продукта. Множество вариантов наборов ПЖЦ, называемых моделями жизненного цикла, определяется различными стандартами. В работе [1] приведено краткое описание данных стандартов. Из них можно выделить набор ПЖЦ, основанный на модели зрелости СММИ (Capability Maturity Model Integration). Модель зрелости представляет собой метод или технологию, направленную на улучшение ПР ПО.

Технология «модель зрелости» позволяет описать идеальное продвижение организации (или отдельного подразделения) к желаемому

уровню реализации ПР, заданное в виде нескольких последовательных этапов (которые нужно выполнить) или уровней (которых нужно достичь), дополненное средствами оценивания полноты выполнения описанных этапов или соответствия процесса организации описанным уровням [2]. В работе [2] проведено вербальное описание моделей зрелости, используемых при улучшении качества ПР ПО, а в [3] приведены основные принципы моделирования оценки и управления качеством ПР ПО, а так же на основе теории нечётких множеств введена функция степени принадлежности к  $k$ -му уровню зрелости, на базе которой разработана модель задачи, которая имеет следующий вид [4].

Найти оптимальное значение матрицы  $\chi^*$ , обеспечивающее максимальное значение критерию

$$F(\chi) = \sum_{t=1}^T \Phi_t(\chi_{t-1}, \chi_t), \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{\tau=1}^t \bar{R}_\tau(\chi_{t-1}, \chi_t) \leq \sum_{\tau=1}^{t-1} R_\tau = \hat{R}^{t-1}, \quad t = \overline{1, T}, \quad (2)$$

$$x_{ij}^{\tau-1} \leq x_{ij}^\tau, \quad j \in J_i, \quad i \in \bigcup_{s=1}^k I_s, \quad \tau = \overline{1, T}, \quad (3)$$

где

$$x_{ij}^0 = \tilde{m}_{ij}^0, \quad j \in J_i, \quad i \in \bigcup_{s=1}^k I_s. \quad (4)$$

Целевая функция (1) определяет интегральный показатель степени увеличения уровня зрелости ПР ПО на всём плановом периоде.  $\Phi_t(\chi_{t-1}, \chi_t)$  – прирост уровня зрелости при переходе с  $(t-1)$ -го на  $t$ -й подпериод планирования, где  $\chi = \{\chi_t\}$ , а  $\chi_t = \{x_{ij}\}^t$  – матрица переменных, определяющих значение уровня возможности  $j$ -й частной практики  $i$ -й фокусной области на  $t$ -м подпериоде планирования. Условие (2) определяет ограничение на финансовые ресурсы, где  $\bar{R}_\tau$ ,  $R_\tau$  – расходуемые и, соответственно планируемые финансовые ресурсы, а (3) – ограничения на переменные модели при переходе с  $(\tau-1)$ -го на  $\tau$  уровень планирования,  $\tilde{m}_{ij}^0$  – исходное значение уровня возможности  $j$ -й частной практики  $i$ -й фокусной области.

Дадим наглядную интерпретацию модели (1)–(4). Пусть  $\sum_t$ ,  $t = \overline{0, T}$  – гиперпространства переменных  $\chi_t = \{x_{ij}\}^t$ , а условия (2)–(4) определяют области  $G_t$  их изменения на каждом  $t$ -м подпериоде планирования. Тогда будем считать, что  $(\chi_{t-1}, \chi_t)$  – отрезок ломаной, соединяющей гиперпространства  $\sum_{t-1}$  и  $\sum_t$ , а  $\Phi_t(\chi_{t-1}, \chi_t)$  – величина этого отрезка. Задача состоит в нахождении ломаной максимальной длины, соединяющей гиперпространства  $\sum_0$  и  $\sum_T$ . Всё возможное множество вариантов ломаной обозначим  $\Omega$ .

В работе [4] проведена оценка реальной размерности задачи управления качеством ПР ПО и установлено, что для её решения нельзя использовать простой перебор вариантов. Поэтому предложен алгоритм последовательного анализа вариантов, основанный на отсечении подмножеств вариантов развития ПР ПО на каждом подпериоде управления, для которых становится ясным, что они не войдут в оптимальное решение задачи. Согласно [4] основная суть алгоритма состоит в последовательном сжатии исходного множества  $\Omega$  конкурентоспособных вариантов её решения. На каждом  $s$ -м шаге алгоритма производится «отметание» множества  $\Omega_s$  неконкурентоспособных вариантов, о котором в процессе работы алгоритма стало известно, что это множество не содержит оптимального варианта решения задачи.

Необходимо отметить, что предложенный алгоритм позволяет найти глобальный экстремум. Однако одним из его недостатков является большая трудоемкость. Поэтому возникает задача разработки некоторых алгоритмов, которые, с одной стороны, не позволяют найти глобальный экстремум, но дают возможность значительно уменьшить его трудоемкость.

В работе [5] приведены результаты разработанной информационной технологии системы поддержки принятия решений (СППР) при управлении качеством ПР ПО в условиях ограниченных финансовых ресурсов, которая позволяет синтезировать оптимальную стратегию продвижения организации–разработчика ПО к определенному уровню зрелости. Работоспособность разработанной информационной технологии СППР проверена на исходной информации компании «NIX Solutions». Проведенные исследования показали, что данная задача является NP–сложной и даже при использовании разработанного алгоритма последовательного анализа вариантов время на ее решение значительно превышает допустимые пределы. Учитывая большую размерность задачи при полноразмерной исходной информации в работе предлагается использовать идею метода локальной оптимизации совместно с алгоритмом последовательного анализа вариантов с целью уменьшения количества возможных вариантов развития ПР ПО, что приведет к уменьшению трудоемкости решения задачи.

**Совместное использование метода локальной оптимизации и алгоритма последовательного анализа вариантов.** Одним из подходов к решению этой проблемы является метод «Блуждающая трубка», который был предложен сотрудниками Вычислительного центра Академии наук СССР. Он имеет характер метода последовательных приближений и не позволяет найти глобальный экстремум, но значительно менее трудоемкий по сравнению с алгоритмом последовательного анализа вариантов. Суть данного метода заключается в следующем. Пусть имеется некоторая ломаная  $\Lambda_0$ , заданная элементами  $\chi_0 \in G_t, t = \overline{0, T}$ , которые удовлетворяют условиям (3,4). Например,  $\Lambda_0$  может быть сформирована на основе экспертных оценок специалистов совместно с ЛПР. Каждый элемент  $\chi_t^0$  ломаной  $\Lambda_0$  предлагается рассматривать в виде некоторого центра локальной области, которая формируется на основе принципа локальной оптимизации [6] в пределах некоторого направляющего гиперпространства  $\sum_t^\omega$ . Все элементы  $\chi_t$ , входящие в локальную область, должны удовлетворять ограничениям на финансовые ресурсы. Таким образом, для построения локальной области необходимо произвести следующие действия:

- 1) сформировать направляющие гиперпространства  $\sum_t^\omega, t = \overline{1, T}$ ;
- 2) ввести метрику в пределах направляющих гиперпространств;
- 3) сформировать непосредственно локальные области с центрами  $\chi_t^0$ , которые будут использоваться в виде «каркаса блуждающей трубки».

Кратко рассмотрим каждый из выше перечисленных пунктов, определяющих последовательность формирования локальной области.

Гиперплоскость  $\sum_t$  является пространством переменных  $x_{ij}^t, j \in J_i, i \in \bigcup_{l=1}^k I_l$ . Однако на основе экспертных оценок специалистов ЛПР может при управлении качеством ПР ПО на каждом подпериоде решать задачу в пределах некоторого направляющего подпространства, размерность которого меньше, чем пространства  $\sum_t$ . Это связано с тем, что отдельные фокусные области по тем или иным причинам могут быть исключены из рассмотрения, а в рамках оставшихся областей будут рассматриваться только отдельные практики. Таким образом, рассматриваются множества  $I_l^\omega, l = \overline{1, k}$  и  $J_i^\omega, i \in \bigcup_{l=1}^k I_l^\omega$ .

Перейдем к рассмотрению вопроса формирования метрики направляющего гиперпространства  $\sum_t^\omega$ . Учитывая то, что это пространство

дискретных переменных, принимающих значения целых чисел на интервале  $[0,3]$  предлагается использовать Манхэттенскую метрику. В этом случае расстояние между двумя точками в пространстве  $\sum_t^\omega$  определяется следующим образом

$$d(\chi_t^s, \chi_t^l) = \sum_{i \in I^\omega} \sum_{j \in J_i^\omega} |x_{ij}^{ts} - x_{ij}^{tl}|,$$

где индексы  $s, l$  соответствуют двум произвольным точкам пространства  $\Sigma_t^\omega$ ,  $I^\omega = \bigcup_{l=1}^k I_l^\omega$ . Множество элементов  $x_{ij}^l \in \Sigma_t^\omega$ , для которых

$$d(\chi_t^0, \chi_t) \leq \Delta d_t,$$

назовем замкнутым шаром радиуса  $\Delta d_t$  с центром  $\chi_t^0$  и обозначим  $\tilde{S}_{\Delta d_t}^{\Sigma_t^\omega}(\chi_t^0)$ . Величина  $\Delta d_t$  является целым числом и может быть различной для различных подпериодов управления.

Так как на каждом подпериоде управления накладываются ограничения на ресурсы, необходимо исключить из рассмотрения те элементы  $\chi_t \in \tilde{S}_{\Delta d_t}^{\Sigma_t^\omega}(\chi_t^0)$ , которые не удовлетворяют условию (2). В результате на каждом подпериоде управления формируются локальные области

$$S_t(\chi_t^0) \subseteq \tilde{S}_{\Delta d_t}^{\Sigma_t^\omega}(\chi_t^0), \quad t = \overline{0, T-1},$$

на элементах которых реализуются вычислительная схема алгоритма последовательного анализа вариантов [4].

В результате формируется новая ломаная  $\Lambda_t$  и т.д. В работе [7] показано, что, если ломаная  $\Lambda_j$  известна, то для получения новой ломаной  $\Lambda_{j+1}$ , в отличие от метода последовательного анализа вариантов, в методе «Блуждающая трубка» трудоёмкость решения задачи растет линейно с увеличением числа элементов локальных областей.

**Выводы.** Таким образом, совместное использование методов последовательного анализа вариантов и локальной оптимизации позволяет уменьшить трудоёмкость решения задачи, хотя и не даёт гарантии, что найденное решение соответствует глобальному экстремуму. Целью дальнейших исследований является: разработка информационной технологии на основе методов локальной оптимизации и последовательного анализа вариантов и её дальнейшее исследование на предмет уменьшения времени работы алгоритма; исследование вида функции принадлежности к некоторому уровню зрелости; уменьшение трудоёмкости решения задачи на

основе декомпозиции модели на отдельные подзадачи с последующей их координацией.

**Список литературы:** 1. *Шеховцов В. А.* Оценка и управление качеством процесса разработки программного обеспечения на основе моделей зрелости / *В. А. Шеховцов, М. Д. Годлевский, И. Л. Брагинский* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2011. – № 5/2 (53). – С. 22–27. 2. *Шеховцов В. А.* Вербальное описание технологии улучшения качества процесса разработки программного обеспечения / *В. А. Шеховцов, М. Д. Годлевский, И. Л. Брагинский* // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 29. – С. 54–59. 3. *Годлевский М. Д.* Принципы моделирования оценки и управления качеством процесса разработки программного обеспечения / *М. Д. Годлевский, В. А. Шеховцов, И. Л. Брагинский* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2012. – № 5/3 (59). – С. 45–49. 4. *Годлевский М. Д.* Динамическая модель и алгоритм управления качеством процесса разработки программных систем на основе модели зрелости / *М. Д. Годлевский, И. Л. Брагинский* // Проблемы информационных технологий. – Херсон : ОЛДИ-Плюс, 2012. – С. 6–13. 5. *Годлевский М. Д.* Результаты исследования информационной технологии управления качеством процесса разработки программного обеспечения на основе полноразмерной исходной информации / *М. Д. Годлевский, И. Л. Брагинский, А. С. Бабина, Г. Г. Рычко* // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – № 62. – С. 105–111. 6. *Сергиенко М. В.* Задачи дискретной оптимизации. Проблемы. Методы решения. Исследования / *И. В. Сергиенко, В. П. Шило*. – К. : Наукова думка, 2003. – 261 с. 7. *Моисеев Н. Н.* Математические задачи системного анализа / *Н. Н. Моисеев*. – М. : Наука, 1981. – 488 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Shehovcov, V. A., M. D. Godlevskij, and I. L. Braginskij "Ocenka i upravlenie kachestvom processa razrabotki programmnogo obespechenija na osnove modelej zrelosti." *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij* No 5/2 (53) (2011): 22–27. Print. 2. Shehovcov, V. A., M. D. Godlevskij, and I. L. Braginskij "Verbal'noe opisanie tehnologii uluchshenija kachstva processa razrabotki programmnogo obespechenija." *Visnyk NTU «HPI»*. No. 29. 2011. 54–59. Print. 3. Godlevskij, M. D., V. A. Shehovcov, and I. L. Braginskij "Principy modelirovanija ocenki i upravlenija kachestvom processa razrabotki programmnogo obespechenija." *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij* No 5/3 (59) (2012): 45–49. Print. 4. Godlevskij, M. D., and I. L. Braginskij "Dinamicheskaja model' i algoritm upravlenija kachestvom processa razrabotki programmyh sistem na osnove modeli zrelosti." *Problemy informacionnyh tehnologij*. Herson: OLDI-Pljus, 2012. 6–13. Print. 5. Godlevskij, M. D., I. L. Braginskij, A. S. Babina, and G. G. Rychko "Rezultaty issledovanija informacionnoj tehnologii upravlenija kachestvom processa razrabotki programmnogo obespechenija na osnove polnorazmernoj ishodnoj informacii." *Visnyk NTU "HPI"*. No 62. Kharkiv: NTU «HPI», 2013. 105–111. Print. 6. Sergienko, M. V., I. V. Sergienko, and V. P. Shilo. *Zadachi diskretnoj optimizacii. Problemy. Metody reshenija. Issledovanija*. Kiev: Naukova dumka, 2003. Print. 7. Moiseev N. N. *Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza*. Moskva: Nauka, 1981. Print.

*Посмунна (received) 03.11.2014*