

М. Д. ГОДЛЕВСКИЙ, Э. Е. РУБИН, А. А. ГОЛОСКОКОВА

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Предлагается модель среднесрочного планирования (динамическая постановка задачи) улучшения качества процесса разработки программного обеспечения на основе технологии СММИ (capability maturity model integration), представляющей собой модель зрелости. Используются функции полезности двух групп критериев: степени достижения целевого профиля и ресурсного обеспечения (финансовая и временная составляющие). Решение данной задачи определяет целевой профиль, который в дальнейшем составит основу статической постановки задачи.

**Ключевые слова:** качество, модель зрелости, функция полезности, целевой профиль, динамическая модель.

**Введение.** В настоящее время разработка программного обеспечения (ПО) является одной из главных составляющих экономики Украины. Сегодня высокое качество процесса разработки (ПР) ПО воспринимается как обязательный компонент. Поэтому для компаний–разработчиков вопрос обеспечения качества ПО является одним из первоочередных. Существуют различные стандарты, регламентирующие наборы процессов жизненного цикла программных систем, такие как IEEE, ISO – 12207, СММИ [1] и другие. Цель этих стандартов – гарантировать, что конечный продукт будет соответствовать требованиям рынка и удовлетворять конечных пользователей. Гибкость непрерывной модели СММИ [2, 3] позволяет компании разработчиков оценить наиболее важные этапы ПР ПО, а так же уровень зрелости всего процесса разработки ПО. В работах [4, 5] впервые проведена формализация модели СММИ и разработана математическая динамическая модель и алгоритм планирования улучшения качества ПР ПО. Исследования показали, что задача является NP–сложной. Поэтому актуальными являются дальнейшие исследования, посвященные усовершенствованию модели и алгоритма с точки зрения, соответственно, адекватности ПР ПО и скорости работы.

**Постановка проблемы.** Задача планирования улучшения качества ПР ПО может быть представлена в виде проблемы скользящего планирования, которое предполагает синтез статических и динамических моделей (моделей текущего и среднесрочного планирования). В работе [6] были разработаны статические модели планирования улучшения качества ПР ПО на основе модели зрелости СММИ.

При динамической постановке стоит задача определения оптимального варианта продвижения ПР ПО на некотором плановом периоде  $[0, T]$  к более высокому уровню качества, где  $T$  – продолжительность рассматриваемого планового периода. В работе качество характеризуется альтернативными вариантами продвижения ПР ПО к более высокому уровню зрелости согласно модели СММИ, а так же стратегиями использования различных видов ресурсов для достижения определенного уровня зрелости.

Целью исследования является разработка динамической модели планирования улучшения качества ПР ПО на основе функций полезности двух групп критериев:

- 1) степень достижения целевого профиля;
- 2) ресурсное обеспечение (финансы и время).

**Модель среднесрочного планирования (динамическая постановка задачи).** Предлагается целевую функцию динамической модели формировать в виде аддитивной функции, каждая составляющая которой представляет прирост функции полезности [7] на соответствующем подпериоде планирования. Так как функция полезности состоит из двух групп критериев, рассмотрим формирование её отдельных составляющих. В работе [6] синтезирована функция полезности частного критерия степени достижения целевого профиля  $P_{il}(\{x_{is}^j(t)\})$  на уровне  $i$ -й фокусной области. Дискретная переменная  $x_{is}^j(t)$  принимает значения целых чисел, каждое из которых соответствует уровню возможности  $j$ -й практики, которая участвует в обеспечении достижения  $s$ -й цели  $i$ -й фокусной области на  $t$ -м подпериоде планирования.

Тогда величина прироста функции полезности на  $t$ -м подпериоде планирования для каждой рассматриваемой фокусной области записывается следующим образом

$$\begin{aligned} \Delta P_{il}^t(\{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\}) &= \\ &= P_{il}(\{x_{is}^j(t)\}) - P_{il}(\{x_{is}^j(t-1)\}), t \in [1, T]. \end{aligned}$$

Исходя из построения функции полезности следует, что  $P_{il}(\{x_{is}^j(0)\}) = 0 \forall i$ .

Прирост функции полезности  $l$ -й категории в пределах  $k$ -го уровня зрелости на  $t$ -м подпериоде запишем следующим образом

$$\begin{aligned} \Delta Q_{kl}^t(\{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\}) &= \\ &= \sum_{i \in I_k^l} \gamma_{il} \Delta P_{il}^t(\{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\}), t \in [1, T], \end{aligned}$$

где

$$\gamma_{il} \geq 0, i \in I_k^l, \sum_{i \in I_k^l} \gamma_{il} = 1, l \in L_k, k \in K.$$

При этом будем считать, что все рассматриваемые в работе весовые коэффициенты важности не меняются в течение рассматриваемого планового подпериода и аналогичны тем, которые используются при статической постановке задачи. Приросты функций полезности, соответственно, на уровне отдельных категорий модели СММИ и на уровне всего ПР ПО имеют вид

$$\Delta W_1^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right) = \sum_{k \in K} \delta_{k1}^l \Delta Q_{k1}^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right), t \in [1, T],$$

где

$$\delta_{k1}^l \geq 0, k \in K, \sum_{k \in K} \delta_{k1}^l = 1, l \in L = \bigcup_{k \in K} L_k.$$

$$\Delta V_1^l(\chi(t-1), \chi(t)) = \sum_{l \in L} \eta_l^l \Delta W_1^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right), t \in [1, T],$$

где

$$\eta_l^l \geq 0, l \in L, \sum_{l \in L} \eta_l^l = 1.$$

С целью упрощения дальнейших записей введены матрицы  $\chi(t) = \{x_{is}^j(t)\}, t \in [0, T]$ , определяющие состояния ПР ПО на  $t$ -м подпериоде планирования.

Прирост функции полезности, который реализован к началу первого подпериода планирования будет приносить пользу ПР ПО на протяжении всего планового периода  $[1, T]$  (на каждом из  $T$  подпериодов).

Прирост функции полезности, реализованный к началу второго подпериода, будет приносить пользу ПР ПО на протяжении последующих  $T-1$  подпериодов и т.д., прирост функции полезности к началу  $T$ -го подпериода будет приносить пользу только в течении  $T$ -го подпериода. Таким образом, логично считать, что весовые коэффициенты важности приростов функции полезности  $\xi_t$  на каждом подпериоде планирования должны быть пропорциональны количеству подпериодов, на которых она воздействует на ПР ПО:

$$\xi_1 = \frac{T}{\sum_{\tau=1}^T \tau}, \xi_2 = \frac{T-1}{\sum_{\tau=1}^T \tau}, \dots, \xi_T = \frac{1}{\sum_{\tau=1}^T \tau}.$$

В общем виде

$$\xi_t = \frac{T-(t-1)}{\sum_{\tau=1}^T \tau}, t \in [1, T].$$

Перейдем к рассмотрению вопроса формирования функции полезности ресурсного обеспечения, а так же величины ее изменения при переходе с  $(t-1)$ -го на  $t$ -й подпериод планирования. Для каждой  $j$ -й практики вводятся две треугольные матрицы ресурсов, элементы которых  $r_{is}^{j\tau}(i, j)$  определяют необходимые финансовые ресурсы ( $\tau=2$ ) и ресурсы времени ( $\tau=3$ ) при переходе с уровня возможности  $x_{is}^j(t-1)$  на уровень возможности  $x_{is}^j(t)$  (табл. 1).

Таблица 1 – Матрица ресурсов для  $j$ -й практики

$x_{is}^j(t)$				
$x_{is}^j(t-1)$	0	1	2	3
0	$r_{is}^{j\tau}(0,0) = 0$	$r_{is}^{j\tau}(0,1)$	$r_{is}^{j\tau}(0,2)$	$r_{is}^{j\tau}(0,3)$
1		$r_{is}^{j\tau}(1,1) = 0$	$r_{is}^{j\tau}(1,2)$	$r_{is}^{j\tau}(1,3)$
2			$r_{is}^{j\tau}(2,2) = 0$	$r_{is}^{j\tau}(2,3)$
3				$r_{is}^{j\tau}(3,3) = 0$

Переменные  $\{x_{is}^j(t)\}$  удовлетворяют условию

$$x_{is}^j(t) \in [0, 3], j \in J_i^s, s \in S, i \in I_k^l, l \in L_k, k \in K, t \in [0, T]. \quad (1)$$

Ресурсы, необходимые при переходе с  $(t-1)$ -го на  $t$ -й подпериод планового периода на уровне  $i$ -й фокусной области, а так же величина изменения соответствующей функции полезности определяются на основе следующих выражений

$$R_{ir} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right) =$$

$$= \sum_{s \in S_j} \sum_{j \in J_i^s} r_{is}^{j\tau} \left( x_{is}^j(t-1), x_{is}^j(t) \right),$$

$$\Delta P_{ir}^l \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right) =$$

$$= \frac{R_{ir} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right)}{\left( R_{ir}^{HL} - R_{ir}^{HX} \right)},$$

$$\tau = 2, 3, i \in I_k^l, l \in L_k, k \in K, t \in [1, T].$$

Величину изменения функции полезности  $l$ -й категории в пределах  $k$ -го уровня зрелости на  $t$ -м

подпериоде запишем следующим образом

$$\begin{aligned} \Delta Q_{k\tau}^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right) &= \\ &= \sum_{i \in I_k^l} \gamma_{i\tau} \Delta P_{i\tau}^l \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right), \quad t \in [1, T], \end{aligned}$$

где

$$\gamma_{i\tau} \geq 0, i \in I_k^l, \sum_{i \in I_k^l} \gamma_{i\tau} = 1, \tau = 2, 3, l \in L_k, k \in K.$$

Для финансовых ( $\tau = 2$ ) и временных ( $\tau = 3$ ) ресурсов величины изменения функций полезности на уровне отдельных категорий модели СММИ определяются на основе следующей зависимости

$$\begin{aligned} \Delta \hat{W}_\tau^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right) &= \\ &= \sum_{k \in K} \delta_{k\tau}^l \Delta Q_{k\tau}^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right), \quad t \in [1, T], \\ \delta_{k\tau}^l &\geq 0, k \in K, \sum_{k \in K} \delta_{k\tau}^l = 1, \tau = 2, 3, l \in L. \end{aligned}$$

Далее определяем агрегированную величину изменения функции полезности ресурсного обеспечения на  $t$ -м подпериоде планирования в пределах  $l$ -й категории, которая формируется на основе функций полезности финансов и времени

$$\begin{aligned} \Delta W_2^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right) &= \\ &= \sum_{\tau=2}^3 \mu_\tau^l \Delta \hat{W}_\tau^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right), \quad t \in [1, T], \end{aligned}$$

где

$$\mu_\tau^l \geq 0, \tau = 2, 3, \mu_2^l + \mu_3^l = 1, l \in L.$$

В итоге формируется величина изменения функции полезности ресурсного обеспечения на  $t$ -м подпериоде планирования на уровне всего ПР ПО:

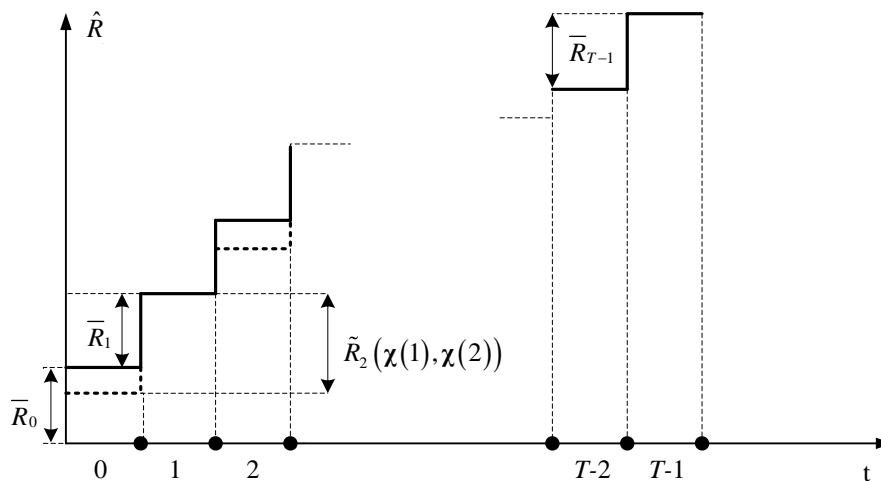


Рис. 1 – Наглядная интерпретация ограничения на финансы

$$\begin{aligned} \Delta V_2^l(\chi(t-1), \chi(t)) &= \\ &= \sum_{l \in L} \eta_2^l \Delta W_2^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right), \quad t \in [1, T], \end{aligned}$$

где

$$\eta_2^l \geq 0, l \in L, \sum_{l \in L} \eta_2^l = 1.$$

Таким образом, аддитивная целевая функция модели среднесрочного планирования улучшения качества ПР ПО записывается следующим образом

$$F(\chi) = \sum_{t=1}^T \Phi_t(\chi(t-1), \chi(t)), \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} \Phi_t(\chi(t-1), \chi(t)) &= \xi_t \sum_{\alpha=1}^2 \rho_\alpha \Delta V_\alpha^t(\chi(t-1), \chi(t)), \\ \xi_t &\geq 0, t \in [1, T], \sum_{t=1}^T \xi_t = 1; \rho_\alpha \geq 0, \alpha = 1, 2, \sum_{\alpha=1}^2 \rho_\alpha = 1. \end{aligned}$$

Перейдем к рассмотрению вопроса формирования ресурсного ограничения (ограничение на финансы) для целевой аддитивной функции (2). Будем считать, что на подпериоде  $t$  выделяются ресурсы в объеме  $\bar{R}_t$  и неиспользованные на  $t$ -м подпериоде финансы могут быть израсходованы на последующих подпериодах. Если считать, что на плановом периоде  $[0, T-1]$  любая практика ПР ПО может быть объектом вклада ресурсов, то финансовые затраты, используемые на  $(t-1)$ -м подпериоде определяются на основе следующего выражения

$$\tilde{R}_t(\chi(t-1), \chi(t)) =$$

$$= \sum_{k \in K} \sum_{l \in L_k} \sum_{i \in I_k^l} R_{i2} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right), \quad t \in [1, T].$$

В результате ресурсное ограничение записывается следующим образом

$$\sum_{t=1}^{\tau} \tilde{R}_t(\chi(t-1), \chi(t)) \leq \sum_{t=0}^{\tau-1} \bar{R}_t = \hat{R}_{\tau-1}, \tau \in [1, T]. \quad (3)$$

При этом накладываются условия

$$\chi(t-1) \leq \chi(t), \chi(0) = \begin{Bmatrix} =j \\ x_{is} \end{Bmatrix},$$

$$\chi(T) = \begin{Bmatrix} -j \\ x_{is} \end{Bmatrix}, t \in [1, T],$$

где  $\begin{Bmatrix} =j \\ x_{is} \end{Bmatrix}$  и  $\begin{Bmatrix} -j \\ x_{is} \end{Bmatrix}$  – исходные состояния ПР ПО и целевой профайл. Наглядная интерпретация ограничения (3) приведена на рис. 1.

Таким образом, модель задачи среднесрочного планирования (динамическая постановка задачи) улучшения качества ПР ПО, которая базируется на теории полезности записывается следующим образом.

Найти оптимальное значение матрицы  $\chi = \chi^*$ , обеспечивающее максимальное значение аддитивной функции полезности (2) при условиях (1), (3), (4).

**Выводы.** В работе разработана модель задачи среднесрочного планирования улучшения качества ПР ПО на основе динамической постановки. Её решение позволяет определить целевой профайл для статической постановки задачи, решение которой уточняет план развития ПР ПО. На следующем этапе решается динамическая задача на подпериоде  $[2, T+1]$  для исходного состояния ПР ПО, определенного в ходе решения статической задачи и т.д. Целью дальнейших исследований является разработка информационной технологии скользящего планирования улучшения качества ПР ПО на основе задач текущего и среднесрочного планирования.

**Годлевский Михаил Дмитриевич** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедрой «Программная инженерия и информационные технологии управления»; тел.: (050) 302-43-77; e-mail: god\_asu@kpi.kharkov.ua.

**Michael D. Godlevskiy** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of the department of "Software Engineering and Management Information Technologies"; tel.: (050) 302-43-77; e-mail: god\_asu@kpi.kharkov.ua.

**Рубин Эдуард Ефимович** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; тел.: (057) 702-18-07; e-mail: eduard.rubin@nure.ua.

**Rubin Eduard Yefimovich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; tel.: (057) 702-18-07; e-mail: eduard.rubin@nure.ua.

**Голоскокова Анна Александровна** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ассистент кафедры «Программная инженерия и информационные технологии управления»; тел.: (093) 123-50-90; e-mail: dsp\_17@bk.ru.

**Anna Goloskokova** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", assistant of the department of "Software Engineering and Management Information Technologies"; tel.: (093) 123-50-90; e-mail: dsp\_17@bk.ru.

**Список литературы:** 1. Mutafelija B. Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards / B. Mutafelija. – Auerbach Pubs, 2009. – 406 p. 2. Chrissis M. B. CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement / M. B. Chrissis, M. Konrad, S. Shrum. – Addison-Wesley, 2003. – 688 p. 3. Ahern D. M. CMMI Distilled: A Practical Introduction to Integrated Process Improvement, Third Edition / D. M. Ahern, A. Clouse, R. Turner. – Addison-Wesley, 2008. – 288 p. 4. 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. 5. 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. 6. Годлевский М. Д. Синтез статических моделей планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения / М. Д. Годлевский, А. А. Голоскокова // Східно–Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 3/2 (75). – С. 23–29. 7. Овезгельдыев А. О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / А. О. Овезгельдыев, Э. Г. Петров, К. Э. Петров. – К. : Наукова думка, 2002. – 163 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Mutafelija B., *Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards*. Auerbach Pubs, 2009. Print. 2. Chrissis M. B., M. Konrad, S. Shrum *CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Addison-Wesley, 2003. Print. 3. Ahern D. M., A. Clouse, R. Turner *CMMI Distilled: A Practical Introduction to Integrated Process Improvement, Third Edition*. Addison-Wesley, 2008. Print. 4. Godlevskij, M. D., V. A. Shehovcov, and I. L. Braginskij "Principy modelirovaniya ocenki i upravleniya kachestvom processa razrabotki programmnogo obespecheniya." *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij* No. 5/3 (59) (2012): 45–49. Print. 5. Godlevskij, M. D., and I. L. Braginskij "Dinamicheskaja model' i algoritm upravleniya kachestvom processa razrabotki programnyh sistem na osnove modeli zrelosti." *Problemy informacionnyh tehnologij*. Herson: OLDI-Pljus, 2012. 6–13. Print. 6. Godlevskij, M. D., and A. A. Goloskokova "Sintez staticheskix modelej planirovaniya uluchsheniya kachestva processa razrabotki programmnogo obespecheniya." *Skhidno-Yevropeys'kyy zhurnal peredovykh tekhnologiy* No. 3/2 (75) (2015): 23–29. Print. 7. Ovezgel'dyev A. O., Je. G. Petrov, K. Je. Petrov *Sintez i identifikacija modelej mnogofaktornogo ocenivaniya i optimizacii*. Kiev: Naukova dumka, 2002. Print.

Поступила (received) 09.11.2015