

УДК 519.876.2

КАЛЕНДАРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ИТ-СЕРВИСОВ ERP-ПРОЕКТА ПРЕДПРИЯТИЯ

Зимин В.В.¹, д.т.н., доцент кафедры автоматизации и информационных систем (zimin.1945@mail.ru)

Митьков В.В.¹, старший преподаватель кафедры автоматизации и информационных систем (vita-m@ngs.ru)

Зимин А.В.², к.т.н., директор (iva70221@rambler.ru)

¹ Сибирский государственный индустриальный университет
(654007, Россия, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² ООО «Аудит ЭнергоНовосибирск»
(630005, Россия, Новосибирск, ул. Татарская, 83)

Аннотация. Одной из важных и сложных задач создания ERP-системы предприятия является построение календарного плана разработки ИТ-сервисов, составляющих функциональный объем проекта, несколькими, параллельно действующими рабочими группами. Сложность задачи, в частности, связана с необходимостью согласования календарных планов групп между собой, обусловленной существенной зависимостью ИТ-сервисов различных бизнес-процессов, и с потребностью в рациональном распределении общего объема ресурсов между рабочими группами. Приводятся математическая постановка и совокупность процедур решения задачи календарного планирования ИТ-сервисов ERP-системы крупной металлургической компании. Каждый сервис описывается двумя характеристиками: длительностью и затратами на проектирование. Причем затраты на проектирование зависят от времени начала разработки сервиса. Постановка задачи базируется на трех показателях эффективности календарного плана ERP-проекта: на количестве связей между отдельным ИТ-сервисом и другими сервисами ERP-системы, на длительности действия проектных решений, принятых для каждого сервиса, и на размере бюджета проекта. Первые два показателя использованы для формирования критерия задачи, который описывает степень согласованности календарных планов рабочих групп, а третий принят в качестве ограничения задачи. Для решения задачи применен метод сетевого программирования. Метод декомпозирует сложную исходную задачу на основе структурно-подобного сетевого представления критерия и ограничений на последовательность существенно более простых подзадач, решение которых осуществляется методом дихотомического программирования, а интеграция решений подзадач – посредством применения последовательной композиции. Приведен пример решения исследуемой задачи, в которой структурно-подобное сетевое представление критерия и ограничений описывается ветвью дерева. Построенный календарный план является основой для решения задачи определения функциональных объемов пилотного тестирования ERP-системы и построения технической структуры соответствующей тестовой среды с целью проверки принятых при разработке ИТ-сервисов проектных решений.

Ключевые слова: ERP-система, календарное планирование, металлургическая компания, ИТ-сервисы.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-4-319-325

Решением задачи формирования функционального объема ERP-проекта предприятия являются множества $\{s_{ji} | i = 1, n_j\}$, $j = 1, m$, ИТ-сервисов (здесь s_{ji} – i -ый сервис j -го бизнес-процесса предприятия) [1 – 7]. Примем, что для разработки сервисов отдельного бизнес-процесса в силу его специфики создается отдельная проектная группа. Каждому сервису s_{ji} поставим в соответствие планируемое время t_{ji} его реализации соответствующей проектной группой и количество связей r_{ji} между конфигурационными элементами сервиса и конфигурационными элементами всех других сервисов, входящих в функциональный объем ERP-проекта:

$$r_{ji} = \sum_{p=1}^m \sum_{k \neq i} r_{ji}^{pk}; \quad (1)$$

здесь r_{ji}^{pk} – количество связей между конфигурационными элементами сервисов s_{ji} и s_{pk} .

Пусть $[0, T]$ – планируемый период реализации проекта. Положим также, что выполняются соотношения

$$\sum_{i=1}^{n_j} t_{ji} = T_j = T, \quad j = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Если сервисы j -го процесса реализуются в соответствии с порядком, определяемым последовательностью $(s_{ji}^l | l = \overline{1, n_j})$, то время окончания проектирования сервиса s_{ji}^l будет равно $\sum_{k=1}^l t_{ji}^k$, а время $T(s_{ji}^l)$ действия проектных решений, разработанных для сервиса s_{ji}^l , будет

$$T(s_{ji}^l) = \left(T - \sum_{k=1}^l t_{ji}^k \right). \quad (3)$$

Чем раньше разработаны проектные решения для сервиса s_{ji} , тем проще (с меньшими трудозатратами) выполняется разработка интеграционных решений (интерфейсов) с этим сервисом при проектировании других сервисов проекта. Будем оценивать эффективность последовательностей $\{(s_{ji}^l | l = \overline{1, n_j})\}$, $m = \overline{1, m}$, реализации сервисов ERP-проекта величиной

$$q = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} r_{ji}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{ji}^k \right). \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что чем больше связей r_{ji} у сервиса s_{ji} с другими сервисами, тем предпочтительнее более раннее его проектирование.

Обозначим через $c(s_{ji}, t) = c_{ji}(t)$ затраты на проектирование сервиса s_{ji} . Функция затрат $c_{ji}(t)$ является не возрастающей функцией времени (рис. 1).

Чем раньше сервис проектируется, тем дороже обходятся приобретение и доставка необходимых сервисных активов и тем более трудоемка разработка и последующее изменение интеграционных решений для него вследствие большей неготовности проектных решений для связанных с ним других сервисов. Будем далее задавать функции $c_{ji}(t)$ в табличном виде, определив для них для простоты, по три значения: средние значения функций на интервалах $\Delta t_1 = \left[0, \frac{T}{3} \right]$,

$\Delta t_2 = \left[\frac{T}{3}, \frac{2T}{3} \right]$, $\Delta t_3 = \left[\frac{2T}{3}, T \right]$. Затраты c_j на проектирование последовательности $\{(s_{ji}^l | l = \overline{1, n_j})\}$ сервисов j -го бизнес-процесса будут выражаться соотношением

$$c_j = \sum_{i=1}^{n_j} c_{ji}(T_{ji}), \quad (5)$$

а затраты на проектирование всех сервисов будут определяться соотношением

$$c = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} c_{ji}(T_{ji}). \quad (6)$$

Математическую постановку задачи формирования оптимального календарного плана реализации ERP-проекта сформулируем следующим образом: опреде-

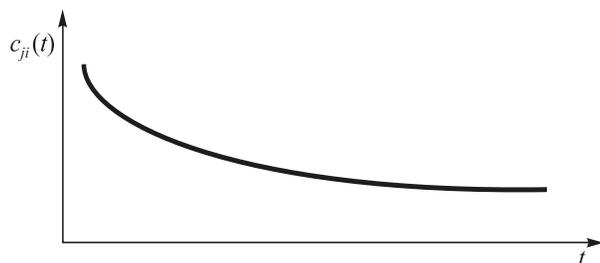


Рис. 1. Зависимость затрат на проектирование сервиса s_{ji} от времени t начала его проектирования

Fig. 1. Dependence of service s_{ji} design costs on time t of its start

лить такие последовательности $\{(s_{ji}^l | l = \overline{1, n_j}) | m = \overline{1, m}\}$, для которых

$$q = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} r_{ji}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{ji}^k \right) \rightarrow \max; \quad (7)$$

$$c = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} c_{ji}(T_{ji}) \leq c^*, \quad (8)$$

где c^* ограничивает общие затраты на реализацию проекта [8 – 13].

Метод решения задачи. Для решения сформулированной задачи воспользуемся методом сетевого программирования [14 – 18]. Структурно-подобное сетевое представление критерия q и ограничения c дано на рис. 2. Это представление определяет следующую последовательность решения задач для нахождения приближенного решения исходной задачи календарного планирования, значение целевой функции которого представляет собой верхнюю оценку для значения целевой функции оптимального решения исходной задачи.

1. Предварительное распределение общего объема имеющихся ресурсов c^* на разработку сервисов отдельных процессов, т.е. определение c_j^* таких, что

$$\sum_{j=1}^m c_j^* = c^*. \quad (9)$$

2. Решение для каждого j , $j = \overline{1, m}$, задачи календарного планирования сервисов методом сетевого программирования

$$q_j = \sum_{i=1}^{n_j} r_{ji}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{ji}^k \right) \Big|_{\{(s_{ji}^l | l = \overline{1, n_j})\}} \rightarrow \max; \quad (10)$$

$$c_j = \sum_{i=1}^{n_j} c_{ji}(T_{ji}) \leq c^*, \quad (11)$$

определяющим «лучшие» варианты из $n_j!$ последовательностей $\{(s_{ji}^l | l = \overline{1, n_j})\}$, для которых имеют место (10) и (11).

3. Последовательное решение $(m - 1)$ задач, интегрирующих решения задач, полученных в п. 2 [15, 19, 20].

Пример решения задачи. Для простоты рассмотрим случай трех бизнес-процессов, $j = 1, 3$. Исходные данные для решаемой задачи приведены ниже.

Данные о связях и длительности проектирования сервисов для первого процесса:

s_{li}	s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{14}	Σ
r_{li}	6	11	8	5	30
t_{li}	5	9	6	4	24

Данные о затратах на разработку сервисов для первого процесса:

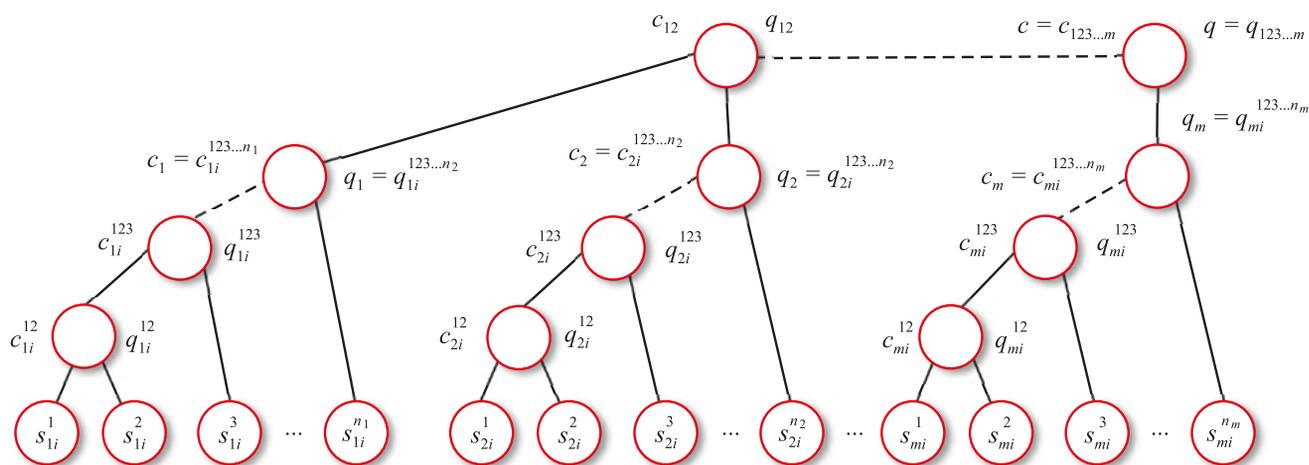


Рис. 2. Сетевое представление функций q и c

Fig. 2. Network representation of q and c functions

$c(s_{1i}, t)$ / $t \in \Delta$	$\Delta = (0, 8]$	$\Delta = (8, 16]$	$\Delta = (16, 24]$
$c(s_{11}, t)$	4	3	2
$c(s_{12}, t)$	7	4	3
$c(s_{13}, t)$	6	5	3
$c(s_{14}, t)$	5	3	2
Σ	22	15	10

$c(s_{3i}, t)$ / $t \in \Delta$	$\Delta = (0, 8]$	$\Delta = (8, 16]$	$\Delta = (16, 24]$
$c(s_{31}, t)$	6	4	4
$c(s_{32}, t)$	4	3	2
$c(s_{33}, t)$	5	4	2
$c(s_{34}, t)$	7	5	4
Σ	22	16	12

Данные о связях и длительности проектирования сервисов для второго процесса:

	s_{2i}	s_{21}	s_{22}	s_{23}	Σ
r_{2i}	6	7	5	18	
t_{2i}	8	10	6	24	

Данные о затратах на разработку сервисов для второго процесса:

$c(s_{2i}, t)$ / $t \in \Delta$	$\Delta = (0, 8]$	$\Delta = (8, 16]$	$\Delta = (16, 24]$
$c(s_{21}, t)$	4	3	3
$c(s_{22}, t)$	7	6	4
$c(s_{23}, t)$	3	3	2
Σ	14	12	9

Данные о связях и длительности проектирования сервисов для третьего процесса:

	s_{3i}	s_{31}	s_{32}	s_{33}	s_{34}	Σ
r_{3i}	8	7	6	10	31	
t_{3i}	7	4	5	8	24	

Данные о затратах на разработку сервисов для третьего процесса:

1. Решаем первую задачу (9). Пусть $c^* = 40$. Первоначальное распределение ресурсов осуществим пропорционально общему количеству связей сервисов в процессах. Тогда

$$c_1^* = \frac{40 \cdot 30}{79} \approx 15; c_2^* = \frac{40 \cdot 18}{79} \approx 9; c_3^* = \frac{40 \cdot 31}{79} \approx 16. \quad (12)$$

2. Последовательно (для каждого процесса) решаем задачу (10) – (11):

$$q_1 \rightarrow \max, c_1 \leq 15. \quad (13)$$

Определяем значения $r_{1i}^1(T - t_{1i}^1)$ и $c(s_{1i}^1, t)$ для каждого сервиса при условии, что он будет проектироваться первым.

Оценка критерия и ограничения при разработке каждого сервиса процесса первым:

s_{1i}^1	$r_{1i}^1(T - t_{1i}^1)$	$c(s_{1i}^1, t)$
s_{11}^1	$6 \cdot (24 - 5) = 114$	4
s_{12}^1	$11 \cdot (24 - 9) = 165$	4
s_{13}^1	$8 \cdot (24 - 6) = 144$	6
s_{14}^1	$5 \cdot (24 - 4) = 100$	5

В соответствие с рис. 2 решаем оценочные задачи для последовательностей из двух-четырёх сервисов.

Оценка критерия и ограничения для последовательностей из двух сервисов при условии s_{11}^1 :

$s_{11}^1 s_{17}^2$	$r_{11}^1(T - t_{11}^1) + r_{11}^2(T - t_{11}^1 - t_{11}^2)$	$c(s_{11}^1, t) + c(s_{17}^2, t)$
$s_{11}^1 s_{12}^2$	$114 + 11 \cdot (24 - 14) = 114 + 110 = 224$	$4 + 4 = 8$
$s_{11}^1 s_{13}^2$	$114 + 8 \cdot (24 - 11) = 114 + 104 = 218$	$4 + 5 = 9$
$s_{11}^1 s_{14}^2$	$114 + 5 \cdot (24 - 9) = 114 + 95 = 209$	$4 + 3 = 7$

Решение $s_{11}^1 s_{12}^2$ доминирует решение $s_{11}^1 s_{13}^2$.

Решаем соответствующие оценочные задачи для последовательностей из всех четырех сервисов.

Оценка критерия и ограничения для последовательностей из четырех сервисов при условии $s_{11}^1 s_{17}^2$:

$(s_{11}^1, s_{17}^2, s_{13}^3, s_{14}^4 i = \overline{1,4})$	$s_{11}^1 s_{12}^2 s_{13}^3 s_{14}^4$	$s_{11}^1 s_{12}^2 s_{14}^3 s_{13}^4$
$q_1 = \sum_{l=1}^4 r_{li}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{li}^k \right)$	$224 + 8(24 - 20) + 5 \cdot (24 - 24) = 224 + 32 = 256$	$224 + 5(24 - 18) + 8 \cdot (24 - 24) = 224 + 30 = 254$
$c_1 = \sum_{i=1}^4 c_{li}(t)$	$8 + 3 + 2 = 13$	$8 + 2 + 2 = 12$

Оценка критерия и ограничения для последовательностей из четырех сервисов при условии $s_{11}^1 s_{14}^2$:

$(s_{11}^1, s_{14}^2, s_{13}^3, s_{17}^4 i = \overline{1,4})$	$s_{11}^1 s_{14}^2 s_{12}^3 s_{13}^4$	$s_{11}^1 s_{14}^2 s_{13}^3 s_{12}^4$
$q_1 = \sum_{l=1}^4 r_{li}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{li}^k \right)$	$209 + 11(24 - 18) + 8 \cdot (24 - 24) = 209 + 66 = 275$	$209 + 8(24 - 15) + 11 \cdot (24 - 24) = 209 + 72 = 281$
$c_1 = \sum_{i=1}^4 c_{li}(t)$	$7 + 3 + 3 = 13$	$7 + 5 + 3 = 15$

Оценка критерия и ограничения для последовательностей из двух сервисов при условии s_{12}^1 :

$s_{12}^1 s_{17}^2$	$r_{12}^1(T - t_{12}^1) + r_{12}^2(T - t_{12}^1 - t_{12}^2)$	$c(s_{12}^1, t) + c(s_{17}^2, t)$
$s_{12}^1 s_{11}^2$	$165 + 6 \cdot (24 - 14) = 165 + 60 = 225$	$4 + 3 = 7$
$s_{12}^1 s_{13}^2$	$165 + 8 \cdot (24 - 15) = 165 + 72 = 237$	$4 + 5 = 9$
$s_{12}^1 s_{14}^2$	$165 + 5 \cdot (24 - 13) = 165 + 55 = 220$	$4 + 3 = 7$

Решение $s_{12}^1 s_{11}^2$ доминирует решение $s_{12}^1 s_{14}^2$.

Оценка критерия и ограничения для последовательностей из четырех сервисов при условии $s_{12}^1 s_{11}^2$:

$(s_{12}^1, s_{11}^2, s_{13}^3, s_{14}^4 i = \overline{1,4})$	$s_{12}^1 s_{11}^2 s_{13}^3 s_{14}^4$	$s_{12}^1 s_{11}^2 s_{14}^3 s_{13}^4$
$q_1 = \sum_{l=1}^4 r_{li}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{li}^k \right)$	$225 + 8 \cdot (24 - 20) + 0 = 225 + 32 = 257$	$225 + 5 \cdot (24 - 18) + 0 = 225 + 30 = 255$
$c_1 = \sum_{i=1}^4 c_{li}(t)$	$7 + 3 + 2 = 12$	$7 + 2 + 2 = 11$

Оценка критерия и ограничения для последовательностей из четырех сервисов при условии $s_{12}^1 s_{13}^2$:

$(s_{12}^1, s_{13}^2, s_{13}^3, s_{14}^4 i = \overline{1,4})$	$s_{12}^1 s_{13}^2 s_{13}^3 s_{14}^4$	$s_{12}^1 s_{13}^2 s_{14}^3 s_{11}^4$
$q_1 = \sum_{l=1}^4 r_{li}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{li}^k \right)$	$237 + 6(24 - 20) + 0 = 237 + 24 = 261$	$237 + 5(24 - 19) + 0 = 237 + 30 = 267$
$c_1 = \sum_{i=1}^4 c_{li}(t)$	$9 + 2 + 2 = 13$	$9 + 2 + 2 = 13$

Решение $s_{12}^1 s_{13}^2 s_{13}^3 s_{14}^4$ доминирует решение $s_{12}^1 s_{13}^2 s_{11}^3 s_{11}^4$.

Оценка критерия и ограничения для последовательностей из двух сервисов при условии s_{13}^1 :

$s_{13}^1 s_{17}^2$	$r_{13}^1(T - t_{13}^1) + r_{13}^2(T - t_{13}^1 - t_{13}^2)$	$c(s_{13}^1, t) + c(s_{17}^2, t)$
$s_{13}^1 s_{11}^2$	$144 + 6 \cdot (24 - 11) = 144 + 78 = 222$	$6 + 3 = 9$
$s_{13}^1 s_{12}^2$	$144 + 11 \cdot (24 - 15) = 144 + 99 = 243$	$6 + 4 = 10$
$s_{13}^1 s_{14}^2$	$144 + 5 \cdot (24 - 10) = 144 + 70 = 214$	$6 + 3 = 9$

Решение $s_{13}^1 s_{11}^2$ доминирует решение $s_{13}^1 s_{14}^2$.

Оценка критерия и ограничения для последовательностей из четырех сервисов при условии $s_{13}^1 s_{11}^2$:

$(s_{13}^1, s_{11}^2, s_{13}^3, s_{14}^4 i = \overline{1,4})$	$s_{13}^1 s_{11}^2 s_{12}^3 s_{14}^4$	$s_{13}^1 s_{11}^2 s_{14}^3 s_{12}^4$
$q_1 = \sum_{l=1}^4 r_{li}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{li}^k \right)$	$222 + 11(24 - 20) + 0 = 222 + 44 = 266$	$222 + 5(24 - 15) + 0 = 222 + 45 = 267$
$c_1 = \sum_{i=1}^4 c_{li}(t)$	$9 + 3 + 2 = 14$	$9 + 3 + 3 = 15$

Оценка критерия и ограничения для последовательностей из четырех сервисов при условии $s_{13}^1 s_{12}^2$:

$(s_{13}^1, s_{12}^2, s_{13}^3, s_{14}^4 i = \overline{1,4})$	$s_{13}^1 s_{12}^2 s_{13}^3 s_{14}^4$	$s_{13}^1 s_{12}^2 s_{14}^3 s_{11}^4$
$q_1 = \sum_{l=1}^4 r_{li}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{li}^k \right)$	$243 + 6 \cdot (24 - 20) + 0 = 243 + 24 = 267$	$243 + 5 \cdot (24 - 19) + 0 = 243 + 25 = 268$
$c_1 = \sum_{i=1}^4 c_{li}(t)$	$10 + 2 + 2 = 14$	$10 + 2 + 2 = 14$

Решение $s_{13}^1 s_{12}^2 s_{13}^3 s_{14}^4$ доминирует решение $s_{13}^1 s_{12}^2 s_{11}^3 s_{11}^4$.

Оценка критерия и ограничения для последовательностей из двух сервисов при условии s_{14}^1 :

$s_{14}^1 s_{17}^2$	$r_{14}^1(T - t_{14}^1) + r_{14}^2(T - t_{14}^1 - t_{14}^2)$	$c(s_{14}^1, t) + c(s_{17}^2, t)$
$s_{14}^1 s_{11}^2$	$100 + 6 \cdot (24 - 9) = 100 + 114 = 214$	$5 + 3 = 8$
$s_{14}^1 s_{12}^2$	$100 + 11 \cdot (24 - 16) = 100 + 88 = 188$	$5 + 4 = 9$
$s_{14}^1 s_{13}^2$	$100 + 8 \cdot (24 - 13) = 100 + 88 = 188$	$5 + 5 = 10$

Решение $s_{14}^1 s_{11}^2$ доминирует решения $s_{14}^1 s_{12}^2$ и $s_{14}^1 s_{13}^2$.

Оценка критерия и ограничения для последовательностей из четырех сервисов при условии $s_{14}^1 s_{11}^2$:

$$\begin{array}{ccc}
 (s_{1i}^1, s_{1i}^2, s_{1i}^3, s_{1i}^4 | i = \overline{1,4}) & s_{14}^1 s_{11}^2 s_{12}^3 s_{13}^4 & s_{14}^1 s_{11}^2 s_{13}^3 s_{12}^4 \\
 q_1 = \sum_{l=1}^4 r_{1l}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{1l}^k \right) & 214 + 11 \cdot (24 - 18) + 0 = 214 + 66 = 280 & 214 + 8 \cdot (24 - 15) + 0 = 214 + 72 = 286 \\
 c_1 = \sum_{i=1}^4 c_{1i}(t) & 8 + 3 + 3 = 14 & 8 + 5 + 3 = 16
 \end{array}$$

Решение $s_{14}^1 s_{11}^2 s_{13}^3 s_{12}^4$ недопустимо по ограничению. Лучшие решения для первого процесса представлены ниже:

$$\begin{array}{ccc}
 (s_{1i}^1, s_{1i}^2, s_{1i}^3, s_{1i}^4 | i = \overline{1,4}) & s_{14}^1 s_{11}^2 s_{12}^3 s_{13}^4 & s_{11}^1 s_{14}^2 s_{12}^3 s_{13}^4 & s_{12}^1 s_{11}^2 s_{13}^3 s_{14}^4 \\
 q_1 = \sum_{l=1}^4 r_{1l}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{1l}^k \right) & 281 & 280 & 275 \\
 c_1 = \sum_{i=1}^4 c_{1i}(t) & 15 & 14 & 13
 \end{array}$$

Решаем вторую задачу (для $j = 2$):

$$q_2 \rightarrow \max, c_2 \leq 9. \quad (14)$$

Определяем значения $r_{2i}^l (T - t_{2i}^l)$ и $c(s_{2i}^1, t)$ для каждого сервиса при условии, что он будет проектироваться первым:

$$\begin{array}{ccc}
 s_{2i}^1 & s_{21}^1 & s_{22}^1 & s_{23}^1 \\
 r_{2i}^l (T - t_{2i}^l) & 6 \cdot (24 - 8) = 96 & 7 \cdot (24 - 10) = 98 & 5 \cdot (24 - 6) = 90 \\
 c(s_{2i}^1, t) & 4 & 6 & 3
 \end{array}$$

В соответствие с рис. 2 решаем оценочные задачи для последовательностей из двух-трех сервисов.

Оценка критерия и ограничения для последовательностей из двух сервисов при условии s_{21}^1 :

$$\begin{array}{ccc}
 s_{21}^1 s_{2i}^2 s_{2i}^3 & s_{22}^1 s_{22}^2 s_{23}^3 & s_{21}^1 s_{23}^2 s_{22}^3 \\
 q_2 = \sum_{l=1}^4 r_{2l}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{2l}^k \right) & 96 + 7(24 - 18) + 0 = 96 + 42 = 138 & 96 + 5(24 - 14) + 0 = 96 + 50 = 146 \\
 c_2 = \sum_{i=1}^4 c_{2i}(t) & 4 + 4 + 2 = 10 & 4 + 3 + 4 = 11
 \end{array}$$

Оба решения недопустимы по ограничению; оценка критерия и ограничения для последовательностей из двух сервисов при условии s_{22}^1 :

$$\begin{array}{ccc}
 s_{22}^1 s_{2i}^2 s_{2i}^3 & s_{22}^1 s_{21}^2 s_{23}^3 & s_{22}^1 s_{23}^2 s_{21}^3 \\
 q_2 = \sum_{l=1}^4 r_{2l}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{2l}^k \right) & 98 + 6(24 - 18) + 0 = 98 + 36 = 136 & 98 + 5(24 - 16) + 0 = 98 + 40 = 138 \\
 c_2 = \sum_{i=1}^4 c_{2i}(t) & 6 + 3 + 2 = 11 & 6 + 3 + 3 = 12
 \end{array}$$

Оба решения недопустимы по ограничению; оценка критерия и ограничения для последовательностей из двух сервисов при условии s_{23}^1 :

$$\begin{array}{ccc}
 s_{23}^1 s_{2i}^2 s_{2i}^3 & s_{23}^1 s_{21}^2 s_{22}^3 & s_{23}^1 s_{22}^2 s_{21}^3 \\
 q_2 = \sum_{l=1}^4 r_{2l}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{2l}^k \right) & 90 + 6 \cdot (24 - 14) + 0 = 90 + 60 = 150 & 90 + 7 \cdot (24 - 16) + 0 = 90 + 56 = 146 \\
 c_2 = \sum_{i=1}^4 c_{2i}(t) & 3 + 3 + 4 = 10 & 3 + 6 + 3 = 12
 \end{array}$$

Оба решения недопустимы по ограничению.

Нет ни одного допустимого решения с затратами в 9 единиц. Наиболее близкое по затратам решение (10 единиц) и лучшее по критерию q_2 представлено ниже:

$$\begin{array}{ccc}
 s_{23}^1 s_{2i}^2 s_{2i}^3 & s_{23}^1 s_{21}^2 s_{22}^3 \\
 q_2 = \sum_{l=1}^4 r_{2l}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{2l}^k \right) & 90 + 6 \cdot (24 - 14) + 0 = 90 + 60 = 150 \\
 c_2 = \sum_{i=1}^4 c_{2i}(t) & 3 + 3 + 4 = 10
 \end{array}$$

Решив аналогичным образом задачу $q_3 \rightarrow \max, c_3 \leq 16$, получим лучшие решения для третьего процесса ($j = 3$):

$$\begin{array}{ccc}
 (s_{3i}^1, s_{3i}^2, s_{3i}^3, s_{3i}^4 | i = \overline{1,4}) & s_{32}^1 s_{34}^2 s_{33}^3 s_{31}^4 & s_{32}^1 s_{31}^2 s_{34}^3 s_{33}^4 \\
 q_3 = \sum_{l=1}^4 r_{3l}^l \left(T - \sum_{k=1}^l t_{3l}^k \right) & 302 & 294 \\
 c_3 = \sum_{i=1}^4 c_{3i}(t) \quad c_3^* = 15 & 15 & 14
 \end{array}$$

Заметим, что лучшее решение для $j = 3$ требует 15 единиц ресурсов, т.е., не ухудшая качество этого решения, одну единицу ресурсов можно «передать» процессу $j = 2$, сделав тем самым допустимым лучшее по q_2 решение с затратами в 10 единиц (см. вышеприведенные данные). Оптимальным решением задачи будет решение:

$$\begin{array}{ccc}
 (s_{1i}^1, s_{1i}^2, s_{1i}^3, s_{1i}^4 | i = \overline{1,4}) & s_{14}^1 s_{11}^2 s_{12}^3 s_{13}^4 \\
 (s_{2i}^1, s_{2i}^2, s_{2i}^3 | i = \overline{1,3}) & s_{23}^1 s_{21}^2 s_{22}^3 \\
 (s_{3i}^1, s_{3i}^2, s_{3i}^3, s_{3i}^4 | i = \overline{1,4}) & s_{32}^1 s_{34}^2 s_{33}^3 s_{31}^4 \\
 q_1 + q_2 + q_3 & 281 + 150 + 302 = 733 \\
 c_1 + c_2 + c_3 & 15 + 10 + 15 = 40
 \end{array}$$

Выводы. Полученное решение (при заданных t_{ji} , $i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, m}$) позволяет построить оптимальный календарный план реализации ERP-проекта. Этот план является основой для решения задачи определения

функциональных объемов пилотных проектов ERP-системы и технической структуры соответствующих тестовых сред с целью проверки принятых при разработке ИТ-сервисов решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bruton N. *Managing the IT services process*. – Butterworth Heinemann, 2004. – 222 p.
2. Bichler M., Bhattacharya K. IT-service-management und IT-automation // *WIRTSCHAFTSINFORMATIK*. 2011. Vol. 53. P. 1 – 2.
3. Mckee P., Fisher M. The role of service level agreements in service oriented architectures // *BT Technology Journal*. 2008. Vol. 1. P. 79 – 85.
4. Blokdijs G., Engle C., Brewster J. *IT service catalog process management templates and examples workbook*. – Emereo Pty Ltd., 2008. – 167 p.
5. Cervone, F. ITIL: a framework for managing digital library services // *OCLC Systems & Services*. 2008. Vol. 24. P. 87 – 90.
6. OGC-ITIL V3- 6 Service Lifecycle, Introduction ITIL. – TSO 2007. – 173p.
7. Зимин В.В., Кулаков С.М., Зимин А.В. К развитию концептуальных основ управления ИТ-деятельностью // *Вестник НГУ. Серия «Информационные технологии»*. 2012. Том 10. Вып. 4. С. 29 – 39.
8. Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации (лучшие практики ITIL): Учебн. пособие / В.В. Зимин, А.А. Ивушкин, С.М. Кулаков, К.А. Ивушкин. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2013. – 500 с.
9. Бурков В.Н., Новиков Д.А. *Как управлять проектами*. Научно-практическое издание. – М.: СИНТЕГ – ГЕО, 1997. – 188 с.
10. Phillips J.J., Bothell T.W., Snead G.L. *The project management scorecards*. – Amsterdam: Elsevier, 2003.
11. Rumizen M.C. *Knowledge management*. – N.Y.: Alpha, 2002.
12. Wysocky R.K., Beck R., Crane D.B. *Effective project management*. – N.Y. John Wiley & Sons, 2000.
13. Механизмы управления. Учебн. пособие / Под ред. Д.А. Новикова. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 192 с.
14. Вагнер Г. *Основы исследования операций*. – М.: Мир, 1972. – 198 с.
15. Буркова И.В. *Метод сетевого программирования в задачах управления проектами*: Автореф. дисс. д.т.н. – М., 2012. – 40 с.
16. Буркова И.В. *Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации* // *Автоматика и телемеханика*. 2009. № 10. С. 15 – 21.
17. Корбут А.А., Сига И.Х., Финкельштейн Ю.Ю. *Метод ветвей и границ. Обзор теории, алгоритмов, программ и приложений* // *Math. Operation Forsch. Staist. Ser. Optimization*. 1977. Vol. 8. № 2. P. 253 – 280.
18. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. *Дискретное программирование*. – М.: Наука, 1969. – 368 с.
19. Буркова И.В., Кашенков А.Р., Колесников П.А. *Метод решения двойственной задачи коммивояжера* // *Системы управления и информационные технологии*. 2008. № 2.1(32) С. 154 – 156.
20. Буркова И.В., Косенков А.В., Харитоновна Т.Б. *Метод дихотомического программирования в задачах управления рыночной стоимостью объектов недвижимости* // *Системы управления и информационные технологии*. 2006. № 1.1 (23). С. 123 – 126.

Поступила 26 сентября 2017 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. VOL. 61. No. 4, pp. 319–325.

CALENDAR PLANNING OF IT-SERVICES OF THE ENTERPRISE'S ERP-PROJECT

V.V. Zimin¹, V.V. Mit'kov¹, A.V. Zimin²

¹Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk

²LLC "Audit EnergoNovosibirsk", Russia, Novosibirsk

Abstract. One of the important and difficult tasks of creation of Enterprise Resource Planning (ERP) of the enterprise is creation of the planned schedule of IT-services development, making the functional volume of the project by several, working groups acting in parallel. The complexity of the task, in particular, is connected with the need of coordination of planned schedules of groups among themselves caused by essential dependence of IT-services of various business processes as well as with the need for rational distribution of total amount of resources between the working groups. Mathematical statement and set of procedures of the problem solution of IT-services scheduling of Enterprise Resource Planning of the large metallurgical company is given. Each service is described by two characteristics: duration and design costs. Expenses on design depend on time of the beginning of service development. Problem definition is based on three indicators of efficiency of the planned schedule of the ERP-project: on the number of communications between separate IT service and other ERP-services, on duration of action of the design decisions made for each service and on the size of the project budget. The first two indicators are used for formation of criterion of a task which describes degree of coherence of planned schedules of the working groups, and the third is accepted as restriction of a task. The method of network programming is applied to the task solution. The method decomposes a difficult initial task on the basis of structural and similar network representation of criterion and restrictions for the sequence of significantly simpler subtasks which solution is carried out by the method of dichotomizing programming, and integration of solutions of subtasks – by means of application of

consecutive composition. In article the example of the studied task solution is given in which structural and similar network representation of criterion and restrictions is described by a tree branch. The constructed planned schedule is a basis for the solution of determination problem of functional volumes of pilot testing of Enterprise Resource Planning and creation of technical structure of the corresponding test environment for the purpose of the design decisions verification made at IT-services developing.

Keywords: ERP-project, resource planning, metallurgical company, IT-service.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-4-319-325

REFERENCES

1. Bruton N. *Managing the IT services process*. Butterworth Heinemann, 2004, 222 p.
2. Bichler M., Bhattacharya K. IT-service-management und IT-automation. *Wirtschaftsinformatik*. 2011, vol. 53, pp. 1–2.
3. Mckee P., Fisher M. The role of service level agreements in service oriented architectures. *BT Technology Journal*. 2008, vol. 1, pp. 79–85.
4. Blokdijs G., Engle C., Brewster J. *IT service catalog process management templates and examples workbook*. Emereo Pty Ltd., 2008, 167 p.
5. Cervone F. ITIL: a framework for managing digital library services. *OCLC Systems & Services*. 2008, vol. 24, pp. 87–90.
6. OGC-ITIL V3- 6 Service Lifecycle, Introduction ITIL. TSO 2007, 173 p.
7. Zimin V.V., Kulakov S.M., Zimin A.V. Development of conceptual base for managing IT activities. *Vestnik NGU. Seriya "Informatsionnye tekhnologii"*. 2012, vol. 10, no. 4, pp. 29–39. (In Russ.).

8. Zimin V.V., Ivushkin A.A., Kulakov S.M., Ivushkin K.A. *Osnovy upravleniya zhiznennym tsiklom servisov sistem informatiki i avtomatizatsii (luchshie praktiki ITIL): uchebnoe posobie* [Basics of life-cycle management of information and automation systems services (best practices of ITIL): Tutorial]. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2013, 500 p. (In Russ.).
9. Burkov V.N., Novikov D.A. *Kak upravlyat' proektami: Nauchno-prakticheskoe izdanie* [How to manage projects: Scientific and practical references]. Moscow: SINTEG – GEO, 1997, 188 p. (In Russ.).
10. Phillips J.J., Bothell T.W., Snead G.L. *The project management scorecards*. Amsterdam: Elsevier, 2003.
11. Rumizen M.C. *Knowledge management*. N.Y.: Alpha, 2002.
12. Wysocky R.K., Beck R., Crane D.B. *Effective project management*. N.Y.: John Wiley & Sons, 2000.
13. *Mekhanizmy upravleniya: uchebn. posobie* [Control mechanisms: Manual]. Novikov D.A. ed. Moscow: LENAND, 2011, 192 p. (In Russ.).
14. Wagner Harvey M. *Principles of operations research*. Prentice-Hall, 1967. (Russ.ed.: Vagner G. *Osnovy issledovaniya operatsii*. Moscow: Mir, 1972, 198 p.)
15. Burkova I.V. *Metod setevogo programmirovaniya v zadachakh upravleniya proektami: Avtoref. dis. ... doktora tekhn. nauk* [Method of network programming in project management tasks: Extended Abstract of Dr. Sci. Diss.]. Moscow, 2012, 27 p. (In Russ.).
16. Burkova I.V. A method of network programming in problems of nonlinear optimization. *Automation and Remote Control*. 2009, vol. 70, no. 10, pp. 1606–1612.
17. Korbut A.A., Siga I.Kh., Finkel'shtein Yu.Yu. The branch and bound method. Review of theory, algorithms, programs and applications. *Math. Operation Forsch. Staist. Ser. Optimization*. 1977, vol. 8, no. 2, pp. 253–280.
18. Korbut A.A., Finkel'shtein Yu.Yu. *Diskretnoe programmirovanie* [Discrete Programming]. Moscow: Nauka, 1969, 368 p. (In Russ.).
19. Burkova I.V., Kashenkov A.R., Kolesnikov P.A. Method of traveling salesman dual problem solving. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2008, no. 2.1 (32), pp. 154–156. (In Russ.).
20. Burkova I.V., Kosenkov A.V., Kharitonova T.B. Method of dichotomous programming in the tasks of managing the market value of real estate objects. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2006, no. 1.1 (31), pp. 123–126. (In Russ.).

Information about the authors:

V.V. Zimin, Dr. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Automation and Information Systems" (zimin.1945@mail.ru)

V.V. Mit'kov, Senior Lecturer of the Chair "Automation and Information Systems" (vita-m@ngs.ru)

A.V. Zimin, Cand. Sci. (Eng.), Director (iva70221@rambler.ru)

Received September 26, 2017