Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 http://naukovedenie.ru/
Том 7, №6 (2015) http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-6
URL статьи: http://naukovedenie.ru/PDF/123TVN615.pdf
DOI: 10.15862/123TVN615 (http://dx.doi.org/10.15862/123TVN615)

УДК 658.5

Зильберова Инна Юрьевна
ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»
Россия, Ростов-на-Дону[1]
Профессор
Кандидат технических наук
E-mail: zilberova2011@yandex.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=327005

Маилян Александр Левонович
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, Воронеж
Докторант
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: lrm@aaanet.ru

Баркалов Сергей Алексеевич
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, Воронеж
Профессор
Директор «Института экономики, менеджмента и информационных технологий»
Доктор технических наук
E-mail: sbarkalov@nm.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=110830

[1] 344002, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Верхненольная, д. 5, кв. 66

Задача календарного планирования взаимозависимых проектов, с учетом синергетического эффекта их совместной реализации

Аннотация. Рассматривается задача календарного планирования взаимозависимых проектов, то есть их совместная реализация дает дополнительный (синергетический) эффект. В качестве критерия принимается минимизация упущенной выгоды. Проекты выполняются в Т периодах. Заданы ограничения на финансирование проектов по периодам. Чем в более позднем периоде выполняется проект, тем больше упущенная выгода от его реализации. Заданы ограничения на финансирование по периодам возможной реализации проектов. В качестве критерия принималась минимизация упущенной выгоды, то есть чем в более позднем периоде выполняется проект, тем больше упущенная выгода. Рассматриваемая задача относится к сложным задачам дискретной оптимизации.

Ключевые слова: взаимозависимые проекты; метод дихотомического программирования; метод сетевого программирования; дискретная оптимизация; финансирование проектов; оптимальные решения; множественные оценки; уменьшение эффекта при выполнении проекта; синергетический эффект.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Зильберова И.Ю., Маилян А.Л., Баркалов С.А. Задача календарного планирования взаимозависимых проектов, с учетом синергетического эффекта их совместной реализации // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) http://naukovedenie.ru/PDF/123TVN615.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/123TVN615

Статья опубликована 25.11.2015.

Постановка задачи

Имеются n проектов. Каждый проект характеризуется эффектом a_i от его реализации и затратами c_i на реализацию. Ряд проектов взаимозависимы в том смысле, что их совместная реализация дает дополнительный (синергетический) эффект. Обозначим b_{ij} эффект от совместной реализации проектов i и j. Взаимозависимость проектов можно наглядно представить в виде графа взаимозависимостей G. Вершины графа соответствуют проектам, вершины i и j соединены ребром (i, j), если совместная реализация этих проектов дает дополнительный эффект b_{ij} (рис. 1, дополнительные эффекты указаны у ребер графа).

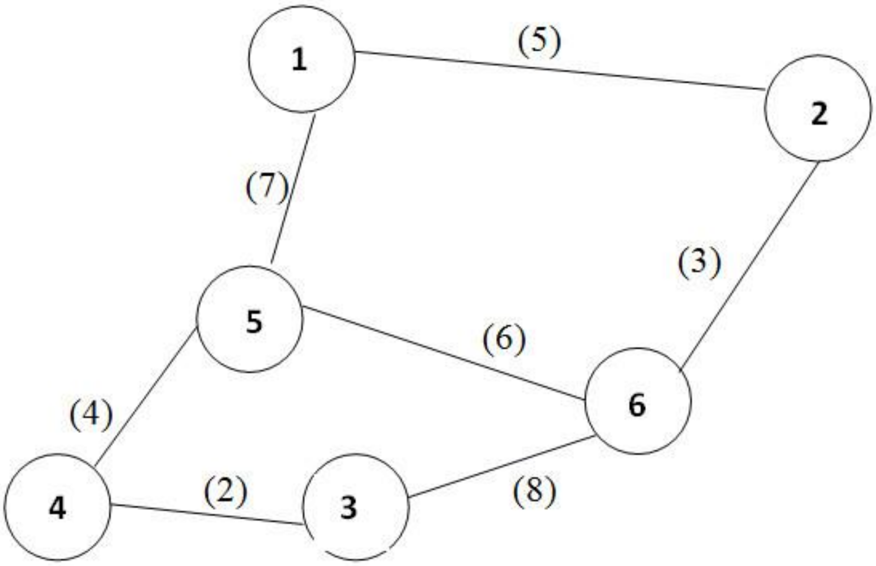

Рис. 1. *Дополнительные эффекты у ребер графа*

Проекты выполняются в T периодах. Заданы ограничения на финансирование проектов по периодам. Чем в более позднем периоде выполняется проект, тем больше упущенная выгода от его реализации. Для формальной постановки задачи обозначим R_k объем финансирования проектов за k периодов. Очевидно, $R_1 < R_2 < \ldots < R_T$.

Обозначим далее q_k уменьшение эффекта при выполнении проекта в k-ом периоде по сравнению с его выполнением в первом периоде $q_1 > q_2 > \ldots > q_T$. Для однозначности учета эффектов b_{ij} зададим произвольным образом ориентацию ребер (i, j). Обозначим U – множество дуг графа.

Введем переменные $x_{ik} = 1$, если проект i выполняется в периоде k, $x_{ik} = 0$ в противном случае. Выпишем выражение для упущенной выгоды

$$\Phi(\mathrm{x}) = \sum_{k,s} q_k a_i x_{ik} + \sum_{(i,j)\in U,k,s} b_{ij} x_{ik} x_{js} \min(q_k; q_s) \qquad (1)$$

Ограничения имеют вид

$$\sum_k x_{ik} = 1,\ i = \overline{1,n} \qquad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{s} \sum_{i=1}^{n} c_i x_{ik} \le R_s,\ \mathrm{s}=\overline{1,T}. \qquad (3)$$

(предполагаем, что $\sum_i c_i \le R_T$, то есть все проекты могут быть выполнены за T периодов).

Поясним критерий (1). Если (i, j) ∈ G, то синергетический эффект появится после реализации обоих проектов, то есть после реализации более позднего проекта.

Рассматриваемая задача относится к сложным задачам дискретной оптимизации [1–3].

Частный случай

Рассмотрим случай двух периодов. В этом случае обозначим $x_j = 1$, если проект i выполняется в первом периоде, $x_j = 0$, в противном случае. Критерий (1) принимает вид

$$\Phi(x)=\sum_i q_1 a_i x_i+\sum_{i\neq j} b_{ij} x_i x_j q_1+q_2\sum_{i\neq j} b_{ij}[x_i(1-x_j)+(1-x_i)+(1-x_j)(1-x_j)]=$$

$$=\sum_i a_i+\sum_{i\neq j} b_{ij}+(q_1-q_2)[\sum_i a_i x_i+\sum_{i\neq j} b_{ij} x_i x_j] \quad (4)$$

Отбрасывая постоянную составляющую и постоянный множитель, получаем

$$\Phi(\mathrm{x})=\sum_i a_i x_i+\sum_{i\neq j} b_{ij} x_i x_j \quad (5)$$

Получим задачу целочисленного квадратичного программирования в переменных 0,1.

Рассмотрим сначала случай, когда граф взаимозависимостей является паросочетанием рис. 2 [5–7].

Основные эффекты a_i указаны в нижних половинах вершин. В этом случае эффективным является метод дихотомического программирования. Возьмем структуру дихотомического представления таким образом, чтобы все пары вершин i, j, такие что (i, j) ∈ U, находились на нижнем уровне структуры дихотомического представления рис. 3 [3, 8–9].

Метод дихотомического программирования хорошо представлен в литературе [1–3], поэтому особенности функционирования данного алгоритма рассмотрим на примере.

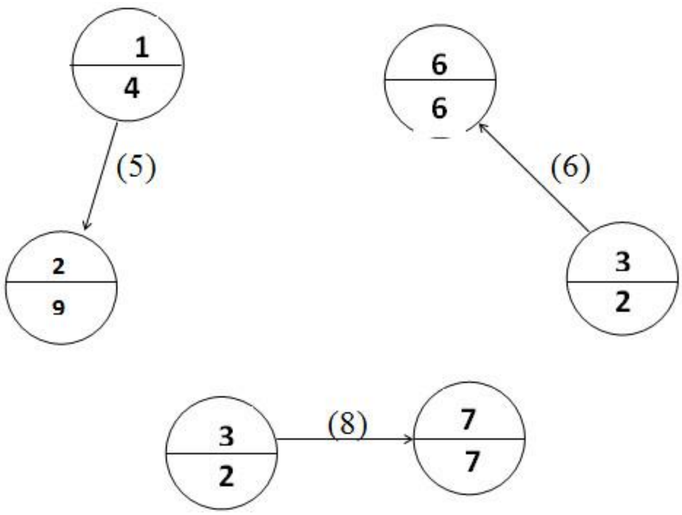

Рис. 2. *Граф взаимодействия*

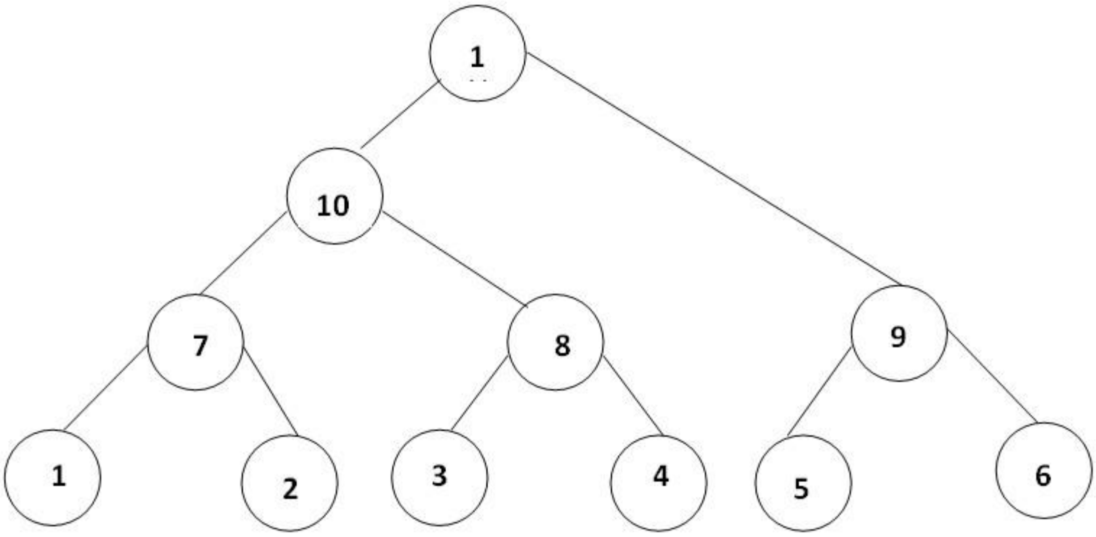

Рис. 3. *Нижний уровень структуры дихотомического представления*

Пример 1. Рассмотрим граф взаимодействия рис. 2. Данные о затратах c_i приведены ниже (табл. 1).

Таблица 1

i	1	2	3	4	5	6
c_i	6	7	3	9	5	4

Примем R_1=17, R_2=34.

1 шаг. Рассматриваем проекты 1 и 2. Решение приведено ниже (табл. 2).

Таблица 2

Комплексный проект 7

вариант	0	1	2	3
затраты	0	3	9	13
эффект	0	2	7	18

2 шаг. Рассматриваем проекты 3 и 4. Решение приведено ниже (табл. 3).

Таблица 3

Комплексный проект 8

вариант	0	1	2	3
затраты	0	3	9	12
эффект	0	2	7	17

3 шаг. Рассматриваем проекты 5 и 6. Решение приведено ниже (табл. 4).

Таблица 4

Комплексный проект 9

вариант	0	1	2
затраты	0	4	9
эффект	0	6	15

В данном случае вариант, когда включается в план первого периода только проекта 5 исключен, поскольку он доминируется включением в план первого периода проекта 6.

4 шаг. Рассматриваем комплексные проекты 7 и 8. Решение приведено ниже (табл. 5).

Таблица 5

3	12;17*	-	-	-
2	9;7*	15;11*		-
1	3;2	9;6*	10;11	16;20
0	0;0	6;4	7;9	13;18
8 / 7	0	1	2	3

Результаты сведены в табл. 6.

Таблица 6

Комплексный проект 10

вариант	0	1	2	3	4	5	6
затраты	0	3	6	7	10	13	16
эффект	0	2	4	9	11	18	20

5 шаг. Рассматриваем комплексные проекты 9 и 10. Решение приведено ниже (табл. 7).

Таблица 7

2	9;15	12;17	15;19	16;24	-	-	-
1	4;6	7;8	10;10	11;15	14;17	17;24	-
0	0;0	3;2	6;4	7;9	10;11	13;18	16;20
9 / 10	0	1	2	3	4	5	6

Оптимальное решение определяется клеткой (16;24), либо клеткой (17;24). Само решение определяем методом “обратного хода”. Клетке (16;24) соответствует вариант 3 табл. 6 и вариант 2 табл. 4. Варианту 3 табл. 6 соответствует включение в план первого периода второго варианта комплексного проекта 7, то есть включение проекта 2. Варианту 2 табл. 4 соответствует включение в план первого периода проектов 5 и 6. Таким образом, проекты 2, 5 и 6 выполняются в первом периоде, а проекты 1, 3 и 4 во втором.

Общий случай многих периодов

Пусть число периодов $T \geq 2$. Для получения верхних оценок рассмотрим (T – 1) задач следующего вида: максимизировать

$$V_k(x) = \sum_i a_i x_i + \sum_{i,j \in U} b_{ij} x_i x_j \tag{6}$$

при ограничении

$$\sum_i c_i x_i \leq R_K \tag{7}$$

Обозначим W_k ($k = \overline{1, T-1}$ - величину (6) в оптимальном решении задачи (6), (7).

Теорема 1. Величина

$$W = \sum_{k=1}^{T} (W_k - W_{k-1})\,\mathrm{q}_k \tag{8}$$

где w_0=0, $w_T = \sum_i a_i + \sum_{i,j \in U(Q_k)} b_{ij}$ дает верхнюю оценку для исходной задачи.

Доказательство. Запишем (8) в следующем виде

$$W = \sum_{k=1}^{T} (q_k - q_{k-1}) w_k, q_{T+1} = 0 \quad (9)$$

Для произвольного решения обозначим Q_K - множество проектов, выполняемых в периодах от 1 до K включительно.

$$V(Q_K) = \sum_{i \in Q_K} a_i + \sum_{(i,j) \in U(Q_K)} b_{ij},$$

где $U(Q_k)$ множество дуг соответствующего подграфа. Очевидно, что $V(Q_k) \leq W_k$ для любого Q_k, $k = \overline{1,T}$. Это доказывает теорему.

Таким образом, для получения верхней оценки требуется решить (T-1) задачу (6), (7).

Обозначим T_k - множество проектов, полученных в результате решения задачи (6), (7), $k = \overline{1, T-1}$.

Теорема 2. Если имеет место

$$T_1 \subset T_2 \subset \ldots \subset T_{T-1}, \quad (10)$$

то совокупность T_k, $\overline{1,T-1}$ определяет оптимальное решение задачи.

Доказательство следует из того, что при выполнении (10) совокупность $\{T_k\}$ определяет допустимое решение задачи.

Если граф взаимодействия является паросочетанием, то для решения задач (6), (7) можно применить метод дихотомического программирования, описанный выше.

Пример 2. Пусть T = 3, $R_1 = 15$, $R_2 = 30$, $R_3 = 44$, n = 8, $q_1 = 2$, $q_2 = 1$, $q_3 = 0{,}5$. Данные о проектах приведены на Рис. 4.

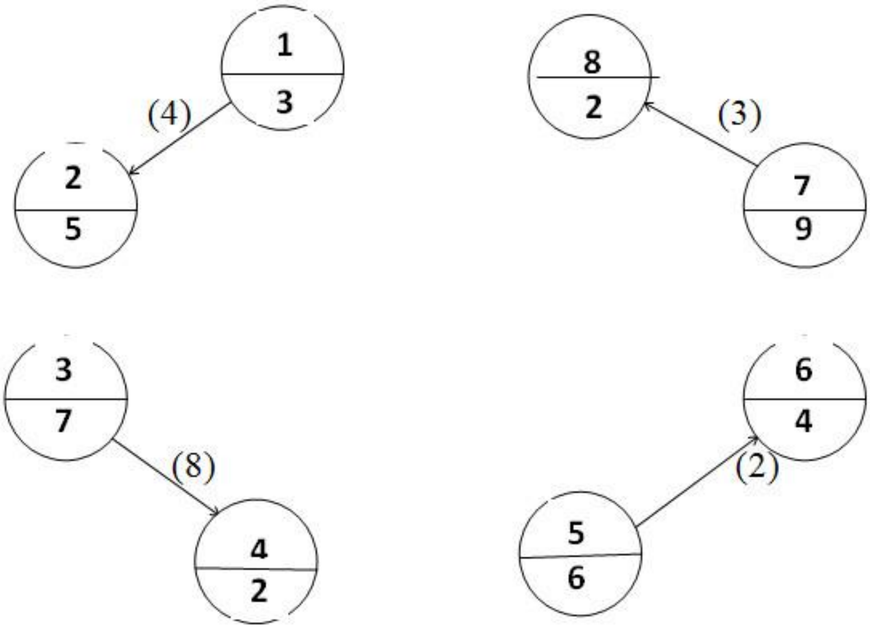

Рис. 4. *Данные о проектах*

Таблица затрат приведена ниже (табл. 8).

Таблица 8

i	1	2	3	4	5	6	7	8
c_i	3	7	4	6	5	2	9	8

Формируем 4 комплексный проект (табл. 9 - 12).

Таблица 9

Комплексный проект I (проекты 1, 2)

вариант	0	1	2	3
затраты	0	3	7	10
эффект	0	3	5	12

Таблица 10

Комплексный проект II (проекты 3, 4)

вариант	0	1	2
затраты	0	4	10
эффект	0	7	17

Таблица 11

Комплексный проект III (проекты 5, 6)

вариант	0	1	2	3
затраты	0	2	5	7
эффект	0	4	6	12

Таблица 12

Комплексный проект IV (проекты 7, 8)

вариант	0	1	2	3
затраты	0	8	9	17
эффект	0	2	9	14

1 шаг. Рассматриваем комплексные проекты I и II. Решение приведено ниже (табл. 13).

Таблица 13

2	10;17	13;20	17;22	20;29
1	4;7	7;10	11;12*	14;19*
	0;0	3;3	7;5*	10;12*
II / I	0	1	2	3

Результаты сведены в таблицу 14.

Таблица 14

Комплексный проект V

вариант	0	1	2	3	4	5	6	7
затраты	0	3	4	7	10	13	17	20
эффект	0	3	7	10	17	20	22	29

2 шаг. Рассматриваем комплексные проекты III и IV. Решение приведено ниже (табл. 15).

Таблица 15

3	7;12	15;14*	16;21	24;26
2	5;6	13;8*	14;15	22;20*
1	2;4	10;6*	11;13*	19;18*
0	0;0	8;2*	9;9*	17;14*
III / IV	0	1	2	3

Результаты сведены в таблицу 16.

Таблица 16

Комплексный проект VI

вариант	0	1	2	3	4	5	6	7
затраты	0	2	5	7	11	14	16	24
эффект	0	4	6	12	13	15	21	26

Рассматриваем комплексные проекты V и VI. Решение приведено ниже (табл. 17).

Определяем оптимальные решения при: $R_1=15$ и $R_2=30$. Имеем: оптимальное решение при $R_1=15$ определяется клеткой (15;24). Применяя метод обратного хода, получаем, что клетке (15;24) соответствует вариант 5 комплексного проекта V и вариант 1 комплексного проекта VI. Варианту 5 комплексного проекта V соответствует вариант 1 комплексного проекта I и вариант 2 комплексного проекта II, то есть выполнение в первом периоде проектов 1, 3 и 4. Варианту 1 комплексного проекта VI соответствует вариант 0 комплексного проекта IV и вариант 1 комплексного проекта III, то есть выполнение в первом периоде проекта 6. Имеем T_1 = (1, 3, 4, 6). Получим оптимальное решение при $R_2=30$. Оно определяется двумя клетками (29;41) и (27;41).

Таблица 17

7	24;26	27;29	28;33	-	-	-	-	-
6	16;21	19;24	20;28	23;31	26;38	29;41	-	-
5	14;15	17;18	18;22	21;25	24;32	27;35	-	-
4	11;13	14;16	15;20	18;23	21;30	24;33	28;35	-
3	7;12	10;15	11;19	14;22	17;29	10;32	24;34*	27;41
2	5;6	8;9	9;13	12;16	15;23	18;26	22;28	25;35
1	2;4	5;7	6;11	9;14	12;21	15;24	19;26	22;33
0	0;0	3;3	4;7	7;10	10;17	13;20	17;22	20;29
VI / V	0	1	2	3	4	5	6	7

Рассмотрим клетку (29;41). Ей соответствует вариант 5 комплексного проекта V и вариант 6 комплексного проекта VI. Варианту 5 комплексного проекта V соответствует включение в план первых двух периодов проектов 1, 3 и 4, а варианту 6 комплексного проекта VI соответствует включение в план двух периодов проектов 5, 6 и 7. Имеем T_1 = (1, 3, 4, 6), T_2 = (1, 3, 4, 5, 6, 7). Поскольку $T_1 \subset T_2$ полученное решение является оптимальным.

Имеем $w_1=24$, $w_2=41$, $W=2 \cdot 24 + 1 \cdot 17 + 0{,}5 \cdot 14 = 72$. Рассмотрим клетку (27;41). Ей соответствует вариант 7 комплексного проекта V вариант 3 комплексного проекта VI. Варианту 7 комплексного проекта V соответствует включение в план первых двух периодов проектов 1, 2, 3 и 4. Варианту 3 комплексного проекта VI соответствует вариант 3 комплексного проекта III и вариант 0 комплексного проекта 4, то есть включение в план первых двух периодов проектов 5, 6. Имеем T_1=(1, 3. 4, 6), T=(1, 2, 3, 4, 5, 6). Поскольку $T_1 \subset T_2$, то полученное решение также является оптимальным.

Метод ветвей и границ

Решение большого числа примеров показало. Что в большинстве случаев условия теоремы 2 выполняются и полученное решение является допустимым. Однако, это не всегда так, что показывает следующий пример.

Пример 3. Граф взаимозависимостей приведен на рис. 5

Таблица затрат приведена ниже (табл. 18).

Таблица 18

i	1	2	3	4
c_i	2	6	3	7

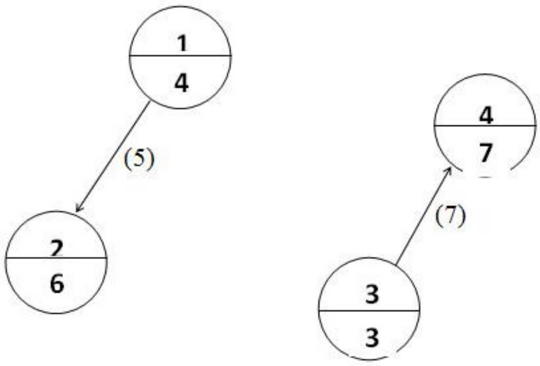

Рис. 5. *Граф взаимозависимостей*

Примем R_1=6, R_2=10, R_3=18. Имеем два комплексных проекта (табл. 19-20).

Таблица 19

Комплексный проект I

вариант	0	1	2	3
затраты	0	2	6	8
эффект	0	4	6	15

Таблица 20

Комплексный проект II

вариант	0	1	2	3
затраты	0	3	7	10
эффект	0	3	7	17

Рассматриваем комплексные проекты I и II. Решение приведено ниже (табл. 21)

Таблица 21

3	10;17	12;21	16;23	18;32
2	7;7	9;11	13;13	15;22
1	3;3	5;7	9;9	11;18
0	0;0	2;4	6;6	8;15
II / I	0	1	2	3

Оптимально решение при R_1=6 определяется клеткой (5;7), что соответствует включению в план первого периода проектов 1 и 3, T_1 = (1;3). Оптимальное решение при

R_2=10 определяется клеткой (10;17), что соответствует включению в план первых двух периодов проектов 3 и 4, то есть $T_2 = (3, 4)$. Примем $q_1 = 2$, $q_2 = 1$, $q_3 = 0{,}5$. Имеем $w_1 = 7$, $w_2 = 17$. Оценка сверху равна $W = q_1 \cdot w_1 + q_2 (w_2 - w_1) + q_3(w_3 - w_2) = 31{,}5$.

Применим метод ветвей и границ. Для ветвления выберем проект 1. Оценка первого подмножества ($x_{11} = 1$). Поскольку проект 1 является решением первой задачи, то он должен входить и в решение второй. Поэтому вариант 0 комплексного проекта 1 исключаем. В этом случае оптимальный вариант определяется клеткой (8;15), что соответствует включению в план двух периодов проектов 1 и 2. Имеем $w_1 = 7$, $w_2 = 15$. Оценка сверху равна $2 \cdot 7 + 1 \cdot (15 – 7) + 0{,}5\ (32 – 15) = 30{,}5$. Оценка второго подмножества ($x_{11} = 0$). Поскольку проект 1 не входит в план первого периода, то варианты 1 и 3 комплексного проекта I исключаем при $R_1 = 6$. Оптимальный вариант определяется клеткой (6;6), что соответствует включению в план первого периода проекта 2 ($T_1 = 2$). Для плана двух периодов ранее было получено решение $T_2 = (3;4)$. Имеем $w_1 = 6$, $w_2 = 17$. Оценка сверху равна $2 \cdot 6 = 1 \cdot (17 – 6) + 0{,}5\ (32 – 17) = 30{,}5$. Выбираем второе подмножество. Для ветвления выбираем проект 2. Оценка первого подмножества ($x_{21} = 1$). Имеем при $R_1 = 6$, $T_1 = (2)$, $w_1 = 6$.

Рассматриваем $R_2 = 10$. У первого комплексного плана исключаем варианты 0 и 1. Оптимальное решение определяется клеткой (8;15), что соответствует включению в план первых двух периодов проектов 1 и 2, $T_2 = (1,2)$. Поскольку $T_1 \subset T_2$, то это решение оптимально в подмножестве $x_{11} = 0$, $x_{21} = 1$. Имеем $w_1 = 6$, $w_2 = 15$. Оценка равна $2 \cdot 6 + 1 \cdot (15 – 6) + 0{,}5\ (32 – 15) = 29{,}5$. Оценка второго подмножества ($x_{21} = 0$). Имеем $T_1 = (3)$, $T_2 = (3,4)$, $w_1 = 3$, $w_2 = 17$, оценка равна $2 \cdot 3 + 1 \cdot 14 +0{,}5 \cdot 18 = 29$.

Теперь выбираем подмножество $x_{11} = 1$ с оценкой 30,5. Для ветвления выбираем проект 3. Оценка первого подмножества ($x_{31} = 1$). Имеем при $R_1 = 6$, $T_1 = (1;3)$, $w_1 = 7$. Имеем при $R_2 = 10$, $T_2 = (1;3)$, $w_2 = 7$, поскольку при включении в план проектов 1 и 3 больше ни одного проекта нельзя включить в план двух периодов. Оценка равна $2 \cdot 7 + 0{,}5 \cdot 25 = 26{,}5$. Оценка второго подмножества ($x_{31} = 0$). Имеем при $R_1 = 6$, $T_1 = (1)$, $w_1 = 4$. Имеем при $R_2 = 10$, $T_2 = (1;4)$, $w_2 = 11$. Оценка равна $2 \cdot 4 + 1 \cdot (11 – 4) + 0{,}5 \cdot 21 = 26{,}5$.

Теперь наилучшую оценку имеет подмножество $x_{11} = 0$, $x_{21} = 1$, которое и определяет оптимальное решение $T_1 = (2)$, $T_2 = (1;2)$. Эффект равен 29,5. Дерево ветвлений приведено на Рис. 6

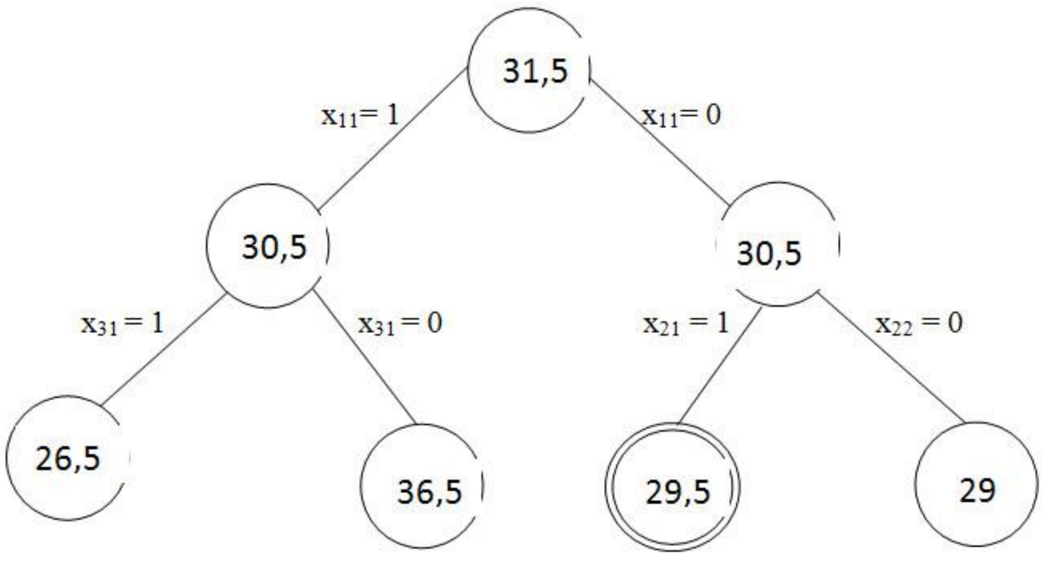

Рис. 6. *Дерево ветвлений*

Метод сетевого программирования

Применим для решения задачи метод сетевого программирования [3–5]. Для этого представим b_{ij} в виде

$$b_{ij} = u_{ij} + v_{ij}, \quad (i, j) \in U \tag{11}$$

и определим для всех $(i, j) \in U$

$$d_i (u; v) = a_i + u_{ij}, \quad d_j (u; v) = a_j + v_{ij} \tag{12}$$

Рассмотрим задачу о ранце: максимизировать

$$\sum_i d_i(u,v)x_i \tag{13}$$

$$\text{при ограничении } \sum_i c_i x_i \le R_T \tag{14}$$

Нешение этой задачи дает оптимальные решения при всех R_K, $k=\overline{1,T}$ [6–7]. Обозначим W_k (u, v) значение (13) в оптимальном решении задачи (13), (14) при $R = R_k$. По аналогии с теоремой 1 имеет место

Теорема 3. Величина

$$W(u,v) = \sum_{k=1}^{T} q_k (w_k(u,v) - w_{k-1}(u,v)), \tag{15}$$

где w_0 (u, v) = 0, $w_T(u,v) = \sum_i d_i(u,v)$ дает оценку сверху для исходной задачи.

Доказательство аналогично доказательству теоремы 1, поскольку w_k (u, v) является оценкой сверху задачи максимизации

$$\Phi(x) = \sum_i a_i x_i + \sum_{(i,j)\in U} b_{ij} x_i x_j$$

Обобщенная двойственная задача: определить *u*, *v*, удовлетворяющие (11) и минимизирующие (5). Для применения метода ветвей и границ выберем значения u_{ij} и v_{ij}, исходя из следующих условий:

$$\frac{a_i + u_{ij}}{c_i} = \frac{a_j + v_{ij}}{c_j}, \quad u_{ij} + v_{ij} = b_{ij}, \quad (i, j) \in U$$

Решая эту систему, получаем

$$u_{ij} = \frac{c_i a_j - c_j a_i + b_{ij} c_i}{c_i + c_j} \quad v_{ij} = \frac{c_j a_i - c_i a_j + b_{ij} c_j}{c_i + c_j} \tag{16}$$

При этом, если $u_{ij} > b_{ij}$ то принимаем $u_{ij} = b_{ij}$, $v_{ij} = 0$, а если $u_{ij} < 0$, то принимаем $u_{ij} = 0$, $v_{ij} = b_{ij}$.

Метод «затраты – эффект»

При большом числе проектов существует эффективный приближенный метод решения задачи о ранце, называемый метод «затраты – эффект». Суть его состоит в том, что проекты упорядочиваются по убыванию эффективностей $r_i = \frac{d_i}{c_i}, i = \overline{1, n}$. Далее проекты включаются в план в этой очередности. Примем этот метод для решения задачи о ранце, полученной в результате применения метода сетевого программирования [1–4].

Общий случай

Рассмотрим случай произвольного графа взаимозависимостей. В данном случае рассмотрим два подхода к решению задачи. Первый подход состоит в том, что путем удаления из графа ряда вершин граф превращается в паросочетание. Далее рассматриваются все варианты включения в план проектов, соответствующих удаленным вершинам. Для каждого варианта задача решается одним из описанных выше алгоритмов. Все варианты сравниваются и выбирается наилучший. Этот подход рассмотрим для случая двух периодов, поскольку с увеличением числа периодов быстро растет число возможных вариантов. Если число удаленных вершин равно s, то число возможных вариантов равно 2^s.

Заключение

Таким образом, была рассмотрена задача календарного планирования взаимозависимых проектов, с учетом синергетического эффекта их совместной реализации. Заданы ограничения на финансирование по периодам возможной реализации проектов. В качестве критерия принималась минимизация упущенной выгоды, то есть чем в более позднем периоде выполняется проект, тем больше упущенная выгода. Для решения поставленной задачи предлагается использовать метод дихотомического программирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баркалов, С.А. Модели и методы управления строительными проектами [Текст] / С.А. Баркалов, П.Н. Курочка, М.П. Михин, П.В. Михин // М.: «Уланов-пресс». 2007. - 440 с.
2. Баркалов, С.А. Модели и методы управления проектами при организационно-технологическом проектировании строительного произ-водства / С.А. Баркалов, П.Н. Курочка, Л.Р. Маилян, И.С. Суровцев // Воронеж: ВГАСУ, 2013. - 533 с.
3. Бурков, В.Н. Задачи дихотомической оптимизации [Текст] / В.Н. Бурков, И.В. Буркова // М.: Радио и связь. - 2003. - 156 с.
4. Зильберов, Р.Д. Модель формирования инновационной политики строительного предприятия / Р.Д. Зильберов, П.Н. Курочка // Экономика и менеджмент систем управления. 2014. Т. 13. №3.1. - с. 128 - 134.
5. Курочка, П.Н. Критичность в сетях с нечеткими продолжительностями операций [Текст] / П.Н. Курочка, А.М. Потапенко, И.В. Федорова // Системы управления и информационные технологии. 2005. №4 (21). - с. 43 - 45.
6. Курочка, П.Н. Модель определения оптимальной очередности реализации проектов с учетом возможности манипулирования информацией [Текст] / П.Н. Курочка, И.А. Урманов, В.О. Скворцов // Системы управления и информационные технологии. 2008. №2.1(32). - с. 201 - 203.
7. Курочка, П.Н. Модель определения надежности при нечетких сведениях о степени надежности [Текст] / П.Н. Курочка, А.Л. Маилян // Системы управления и информационные технологии. Научно-техн. журнал, Москва-Воронеж, том 49, №3.1(49), 2012. С. 192 - 197.
8. Семенов, П.И. Оптимизационные модели и методы в управлении строительным производством / П.И. Семенов, С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, П.Н. Курочка, А.И. Половинкина. - Воронеж: Научная книга, 2007. - 423 с.
9. Чередниченко, Н.Д. Модели распределения ресурсов в строительном проекте [Текст] / П.Н. Курочка, А.Н. Симоненко, Н.Д. Чередниченко // Технология и организация строительного производства. - Москва: АНО «Международный центр по развитию и внедрению механизмов саморегулирования», 2013. №4 (5). - 46 - 48 с.
10. Бурков, В.Н. Моделирование оптимальной очередности реализации инновационных проектов / В.Н. Бурков, Т.А. Аверина, А.Р. Бородин, А.П. Сычев / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т.5. №1. с. 54 - 57.
11. Баркалов, С.А. Оптимизационные модели и методы в управлении строительным производством / С.А. Баркалов, П.И. Семенов, В.Н. Бурков, П.Н. Курочка, А.И. Половинкина / Воронеж, 2007.

Рецензент: Статья рецензирована членами редколлегии журнала.

Zilberova Inna Yurevna
Rostov State University of Civil Engineering
Russia, Rostov-on-Don
E-mail: zilberova2011@yandex.ru

Mailyan Aleksandr Levonovich
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, Voronezh
E-mail: lrm@aaanet.ru

Barkalov Sergey Alekseevich
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, Voronezh
E-mail: sbarkalov@nm.ru

Problem of scheduling interdependent projects, taking into account synergetic effect of their joint realization

Abstract. We consider the problem of scheduling of interdependent projects, i.e. their joint implementation provides an additional (synergistic) effect. As a criterion is adopted to minimize the loss of profits. Projects are carried out in T periods. Set limits on the financing of projects by period. Than in the later period of the project, the more loss of profit from its implementation. Set limits on the funding for the periods of possible realization of projects. As criterion the minimization of loss of profits, that is, than in the later period of the project, the more loss of profit. The problem regarding the necessity of the complex problems of discrete optimization.

Keywords: interdependent projects; the method of dichotomous programming method of network programming; discrete optimization; project financing; optimal solutions; multiple assessments; reducing the effect when you run the project; synergetic effect.

REFERENCES

1. Barkalov, A.S. Models and methods of management of construction projects [Text] / S.A. Barkalov, P.N. Hen, M.P. Mikhin, V.P. Mikhin // M.: "Ulanov-press". 2007. - 440 p.
2. Barkalov, A.S. Models and methods of project management in organizational and technological design of building production / S.A. Barkalov, P.N. Hen, L.R. Mailyan, S.I. Surovtsev // Voronezh: VGASU, 2013. - 533 p.
3. Burkov, V.N. Tasks dichotomic optimization [Text] / V.N. Burkov, I.V. Burkova // M.: Radio and communication. - 2003. - 156 p.
4. Zilberov, R.D. a Model of formation of innovation policy of construction enterprises / R.D. Zilberov, P.N. Chicken // Economics and management systems governance. 2014. T. 13. No.3.1. - p. 128 - 134.
5. Hen, P.N. Criticality in networks with fuzzy durations Opera-tion [Text] / P.N. Hen, A.M. Potapenko, I.V. Fedorova // control Systems and information technologies. 2005. №4 (21). - p. 43 - 45.
6. Hen, P.N. The model of determining the optimal sequence of implementation of projects taking into account the possibility of manipulation of information [Text] / P.N. Hen, I.A. Urmanov, V.A. Skvortsov // control Systems and information technology. 2008. №2.1 (32). - p. 201 - 203.
7. Hen, P.N. Model to determine the reliability with fuzzy information about the degree-penalty reliability [Text] / P.N. Chicken, Mailyan A.L. // control Systems and info technology. Scientific and technical. magazine, Moscow-Voronezh, Tom 49, №3.1 (49), 2012. p. 192 - 197.
8. Semenov, P.I. Optimization models and methods in the management of the Builder-owned production / P.I. Semenov, S.A. Barkalov, V.N. Burkov, P.N. Kurochka, A.I. Polo-vincina. - Voronezh: Scientific book, 2007. - 423 p.
9. Cherednichenko, N.D. The model of resource allocation in construction project [Text] / P.N. Hen, A.N. Simonenko, N.D. Cherednichenko // Technology and organization of building production. - Moscow: ANO "international center for development and introduction of mechanisms of self-regulation", 2013. №4 (5). - 46 - 48 p.
10. Burkov V.N. Modeling of the optimal sequence of implementation of innovative-innovative projects /V.N. Burkov, T.A. Averina, A.R. Borodin, A.P. Sychev / Bulletin of the Voronezh-ski state technical University. 2009. Vol. 5. No. 1. p. 54-57.
11. Barkalov S.A., Optimization models and methods in management of construction production / S.A. Barkalov, P.I. Semenov, V.N. Burkov, P.N. Kurochka, A.I. Polovinkina / Voronezh, 2007.