

Висновки

Зростання інтенсивності транспортних потоків й обмежені можливості модернізації та розвитку дорожньої мережі зумовлюють необхідність переходу від зосереджених до розподілених транспортних потоків на території міста. Запропоновані потокові моделі забезпечують наочність подання транспортних потоків, виявлення критичних ділянок, формування нових маршрутів руху і пропозицій для вдосконалення транспортної мережі. Розвиток цього підходу оснований на подальшій формалізації та автоматизації виявлення критичних ділянок, пошуку перспективних маршрутів руху транспорту (модифікація методу Дійкстри) і може бути використаний в сучасних системах автомобільної навігації.

1. Майніка Э. *Алгоритмы оптимизации на сетях и графах.* – М.: Мир, 1981. 2. Ренкин В.У., Клафи П., Халберт С. *Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Справочник.* – М.: Транспорт, 1981.

УДК 004.942

Ю.О. Верес

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра систем автоматизованого проектування

РОЗПОДІЛ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ В УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ

© Верес Ю.О., 2010

Проаналізовано та описано основні моделі та методи розподілу обмежених ресурсів в управлінні проектами. Розглянуто методи розподілу обмежених ресурсів із застосуванням календарного планування, пріоритетів і конкурсів. Також розглянуто основні методи розподілу обмежених ресурсів між проектами портфеля проектів.

Ключові слова: методи розподілу, проект, ресурс, управління.

In the article are analyzed and described basic models and methods of division limited resources in a management projects. The methods of division limited resources are considered with application of the calendar planning, priorities, and competitions. The basic methods of division limited resources are also considered between the projects of brief-case of projects.

Keywords: methods of division, project, resource, management.

Постановка проблеми

Управління проектами є сукупністю методологій, методик, моделей, методів, технічних і програмних засобів, що застосовуються під час розроблення і реалізації проектів, тобто унікальних процесів, обмежених у часі, котрі потребують витрат ресурсів. Значну частину моделей і методів управління проектами становлять задачі побудови календарних планів реалізації проекту, що пов'язані переважно з розподілом обмежених ресурсів. Задачі розподілу ресурсів на мережах належать до складних задач з багатьма екстремумами [1].

Аналіз останніх досліджень

Існує невелика кількість часткових постановок, для яких запропоновано точні методи розв'язання задач розподілу обмежених ресурсів в управлінні проектами. У загальному випадку застосовуються наближені й евристичні алгоритми. Складність задач ще більше зростає, якщо враховувати тривалості переміщення обмежених ресурсів між роботами (досить сказати, що проста задача визначення черговості виконання робіт однією бригадою при обліку часу переміщення бригади з роботи на роботу перетворюється на складну задачу комівояжера) [1].

Більшість сучасних методів календарного планування вимагає, щоб керівники проекту класифікували його на один із двох типів: за обмеженням часу проекту або за обмеженням на

кількість ресурсів. Найпростіший спосіб перевірити тип обмеження проекту – це поставити запитання: “Якщо настання критичного моменту відкладається, чи будуть потрібні додаткові ресурси, щоб знову увійти в графік?” Якщо відповідь позитивна, то проект обмежений за часом, якщо немає, то проект обмежений за кількістю ресурсів [2].

Обмежений за часом проект – це проект, який повинен бути закінчений у встановлені терміни. Щоб забезпечити виконання проекту у встановлені терміни, можна залучити додаткові ресурси. Хоча час і є критичним чинником, використання ресурсів не повинне перевищувати їх необхідну кількість [2].

Проект, обмежений за кількістю ресурсів, – це проект, в якому рівень ресурсів, що є в наявності, не може бути перевищений. Якщо кількість ресурсів недостатня, то допускається незначне затримання терміну виконання проекту [2].

Висловлюючись мовою планування, обмеження за часом означає, що час (тривалість виконання проекту) фіксований, а ресурси еластичні, тоді як обмеження за ресурсами означає, що ресурси фіксовані, а час еластичний [2].

Цілі статті

Завданням написання статті є опис розподілу обмежених ресурсів в управлінні проектами, огляд наявних методик розподілу обмежених ресурсів в управлінні проектами.

Основний матеріал

У проекті вимог про надання ресурсу майже завжди більше ніж самих ресурсів. Тому необхідно вибрати саме ті проекти, котрі якнайкраще сприяють досягненню цілей організації, із використанням наявних ресурсів. Такий вибір можна здійснити, зокрема, за допомогою системи пріоритетів. Якщо графіки виконання проектів та споживання ресурсів виконані за допомогою сучасних обчислювальних систем, то можна швидко визначити реальність і вплив нового проекту на поточні (ті, що виконуються на певний момент) проекти. Маючи таку інформацію, розпочати виконання нового проекту можна тільки в тому разі, якщо є ресурси, і вони формально призначені для цього конкретного проекту [2].

Опишемо основні види обмежень проекту.

Технічні або логічні обмеження. Ці обмеження пов’язані з послідовністю, в якій повинні виконуватися операції проекту [2].

Фізичні обмеження. У деяких випадках існують фізичні обмеження, коли виконання операцій, які зазвичай виконуються паралельно, обмежується умовами контракту або навколишнього середовища [2].

Наприклад, реконструкція частини корабля дає змогу виконувати операцію лише одній людині, через обмеженість простору. Процедура управління фізичними обмеженнями така сама, як і при управлінні обмеженнями на кількість ресурсів. Навіть у невеликих мережах проектів відношення і зв’язки часу й обмежень на кількості ресурсів дуже складні. Непередбачувані проблеми виникають під час спроби дослідити ці зв’язки до початку виконання проекту. Керівники проекту, котрі не враховують наявності ресурсів у достатньо складних проектах, зазвичай дізнаються про проблему, коли буває вже надто пізно, щоб її вирішити. Дефіцит ресурсів може значно змінити залежність зв’язків проекту, терміни завершення і видатки проекту. Керівник проекту повинен планувати кількості ресурсів, щоб забезпечити їх наявність у достатній кількості та у потрібний час [2].

Обмеження на кількість ресурсів. Відсутність або брак ресурсів можуть значно вплинути на технічні обмеження. Особа, що складає план мережі проекту, може припустити наявність відповідних ресурсів і показати операції, що відбуваються паралельно. Проте паралельні операції потенційно загрожують конфліктом ресурсів. Зазначимо, що залежність ресурсів має вищий пріоритет над технологічною залежністю, але не порушує її; тобто кілька операцій тепер відбуватимуться послідовно, а не паралельно [2].

Обмеження на кількість ресурсів можна умовно розділити на такі.

Люди. Люди є найочевиднішим ресурсом проекту. Людські ресурси зазвичай класифікують за їхнім робочим профілем, наприклад, програміст, інженер-механік, зварювальник, контролер, завідувач відділом збуту, інспектор. В окремих випадках деякі навички взаємозамінні, але при цьому, як правило, втрачається продуктивність. Наявність багатьох кваліфікацій ускладнює складання календарного плану проекту [2].

Матеріали. Затримка у виконанні багатьох проектів часто пояснюється браком матеріалів. Якщо відомо, що може виникнути недостача матеріалів і це може позначитися на проекті, вони повинні бути внесені в мережевий план проекту, і повинен бути складений графік їх використання [2].

Устаткування. Устаткування зазвичай описується за типом, розміром і кількістю. Для поліпшення календарного планування устаткування в деяких випадках може бути взаємозамінне, але це нетипово. Дуже часто устаткування не розглядають як обмеження. Найпоширенішою помилкою є те, що дуже часто вважають, що наявних ресурсів більш ніж достатньо для виконання проекту. Наприклад, якщо для виконання проекту потрібний один екскаватор протягом шести місяців, а організація має чотири екскаватори, то часто вважають, що цей ресурс не викличе затримки у виконанні проекту. Проте, якщо протягом шести місяців на майданчику повинен працювати один екскаватор, решта чотири екскаватори можна використати в інших проектах. А якщо існує декілька проектів, то можна для економії використовувати загальні ресурси. Такий підхід вимагає перевірки наявності ресурсів для всіх проектів і передбачає резерв устаткування для конкретних потреб проекту в майбутньому. Усвідомлення до початку виконання проекту того, що устаткування є чинником обмеження, допоможе уникнути витрат від затримки проекту [2].

Поточні активи. У деяких проектах, наприклад, у будівництві, поточні активи розглядаються як обмежений ресурс. Якщо поточні активи легко отримати, керівник проекту може працювати одночасно з декількома операціями. Якщо поточні активи постачаються в недостатній кількості, оскільки проміжні виплати здійснюють щомісячно, то використання матеріалів і робочої сили треба обмежити, щоб зберегти готівкові кошти. Така ситуація пов'язана з проблемою руху готівкових коштів [2].

Методи розподілу ресурсів із застосуванням календарного планування

Проекти із обмеженням на кількості ресурсів. Коли кількість людей і/або устаткування не відповідає задоволенню піка потреб і їх неможливо отримати в більшій кількості, перед керівниками проектів постає проблема обмежених ресурсів. Необхідно визначити пріоритети і розподілити ресурси так, щоб звести до мінімуму затримку проекту, не перевищуючи ліміту ресурсів і не змінюючи технічні залежності мережі. Проблема складання календарного графіка ресурсів є складною комбінаторною задачею. Це означає, що мережа навіть невеликого проекту всього лише з кількома типами ресурсів може мати декілька тисяч можливих розв'язків. Науковці в цій предметній області продемонстрували кілька оптимальних математичних розв'язків задач розподілу ресурсів для невеликих за розмірами мережевих графіків із незначною кількістю типів ресурсів. Величезна кількість даних, яка потрібна для більших задач, зробила практично недоцільними суто математичні рішення (наприклад, лінійне програмування). Альтернативним підходом до проблеми було використання евристичного (наближеного методу) для розв'язання великих комплексних задач. Такі практичні рішення або правила пріоритету довгий час застосовувалися на практиці. Евристика не завжди дасть оптимальний календарний графік, проте придатна для складання "хороших" графіків для дуже складних мереж з різними типами ресурсів. Проте, оскільки кожен проект унікальний, в його мережевому графіку доцільно спробувати застосувати кілька евристичних методів, щоб визначити правила пріоритетного розподілу з мінімальною затримкою проекту [2].

Календарне планування обмежених ресурсів зазвичай приводить до скорочення часу простоїв, зниження еластичності в результаті використання часу простоїв для мінімізації затримок і збільшення кількості критичних і близьких до критичних операцій. Складність календарного планування збільшується, оскільки до технічних обмежень додаються обмеження на кількість ресурсів; час початку може мати тепер два обмеження. Традиційна концепція послідовного виконання операцій критичного шляху з початку до кінця проекту вже не має значення. Обмеження на ресурси можуть порушити послідовність виконання операцій, і в мережі можуть з'явитися незв'язані критичні операції. І, навпаки, паралельні операції можуть стати послідовними. Операції з резервами часу виконання на мережевому графіку можуть перейти з розряду критичних у розряд некритичних, а деякі критичні операції можуть стати некритичними з резервом часу [2].

Розпаралелювання операцій. Дроблення або розпаралелювання операцій є методом календарного планування, який застосовують для покращення якості виконання проекту і підвищення ефективності використання ресурсів. Плановик ділить безперервний хід виконання операції, перериваючи на якийсь час роботу і спрямовуючи ресурси на іншу операцію, і потім повертає їх для продовження роботи на першій операції. Розбиття може бути досить корисним інструментом, якщо витрати, пов'язані

з початком і припиненням робіт, не будуть великими – наприклад, переміщення устаткування з місця виконання однієї операції на інше. Найпоширенішою помилкою є переривання “роботи людей”, що пов’язано з високими витратами початку і припинення робіт. Наприклад, якщо робота конструктора моста буде перервана для вирішення проблеми іншого проекту, то це може привести до того, що він витратить чотири дні на те, щоб налаштуватися з одного завдання на інше і знову повернутися до первинного завдання. Витрати можуть бути прихованими, але вони реально існують [2].

Час припинення і початку операції збільшує її первинну тривалість. Плановики повинні прагнути уникати дроблення, за винятком тих випадків, коли витрати, пов’язані з дробленням, незначні або коли немає альтернативи вирішення проблем з ресурсами [2].

Метод критичного шляху. На практиці в чутливих проектах з обмеженнями за ресурсами керівники проектів скрупульозно управляють резервами часу. Наприклад, деякі керівники використовують мережевий графік з ранніми початками виконання операцій і забороняють використання резерву часу будь-якої операції без дозволу керівника проекту. Хід виконання проекту ретельно контролюється у відсотках з урахуванням часу, що залишився, для того, щоб виявити будь-яку операцію, яка випереджає встановлений час завершення і дає змогу почати виконання як критичних, так і некритичних подальших операцій достроково. Контроль і заохочення раннього завершення операцій забезпечує можливість не втрачати час, а почати виконання подальших операцій раніше за рахунок заощадженого в разі дострокового завершення часу. Сенс в тому, щоб заощадити резерв часу як буфер для завершення проекту достроково або вирішити проблему з відставанням, яка може виникнути під час подальшого виконання критичних операцій [2].

Ресурси можуть вільно переміщуватися по мережевому графіку, оскільки вони прямують саме на ті операції, в яких вони використовуються, але логічні залежності операцій при цьому залишаються незмінними. Еліах Голдрет ввів поняття “критичний ланцюг” (С-С), щоб показати, що мережевий графік проекту може бути обмежений як ресурсами, так і логічними залежностями. Всі ці буфери скорочують ризик відставання виконання проекту і підвищують шанс його раннього завершення [2].

Прихильників методу С-С в управлінні проектами нині небагато, проте у нього є перспективи. Наприклад, Harris Semiconductor зумів побудувати нові автоматизовані установки для виробництва тонких кристалічних пластин за 13 місяців, використовуючи метод С-С, тоді як звичайні терміни – від 26 до 36 місяців. Авіаційна промисловість в Ізраїлі використала метод С-С для скорочення часу технічного обслуговування літака з двох місяців до двох тижнів [2].

Календарне планування використання ресурсів у кількох проектах. Вище ми обговорювали питання розподілу ресурсів у межах одного проекту. На практиці розподіл ресурсів відбувається відразу між декількома проектами, коли потреби одного проекту повинні узгоджуватися з потребами інших проектів. Організація повинна розробити і контролювати системи ефективного розподілу і планування ресурсів декількох проектів, що мають різні пріоритети, різні потреби в ресурсах, різні операції і ризики. Система повинна бути динамічною і готовою для введення нових проектів, а також перерозподіляти ресурси після закінчення проекту. Хоча задачі, пов’язані із розподілом обмежених ресурсів, однакові як для одного проекту, так і для декількох, їх розв’язання набагато складніше, оскільки необхідно враховувати залежності між проектами [2].

Моделі розподілу обмежених ресурсів із використанням пріоритетів

У пріоритетних механізмах розподілу ресурсу під час формування планів (рішення про те, скільки ресурсу виділити тому або іншому виконавцеві) використовуються показники пріоритету виконавців. Пріоритетні механізми загалом описують такою процедурою:

$$x_i(s) = \begin{cases} s_i, & \text{якщо } \sum_{j=1}^n s_j \leq R \\ \min\{s_i, \eta_i(s_i)\}, & \text{якщо } \sum_{j=1}^n s_j > R \end{cases},$$

де n – кількість виконавців; $\{s_i\}$ – їх заявки, x_i – кількість виділеного ресурсу; R – розподілювана кількість ресурсу; $\eta_i(s_i)$ – функції пріоритету виконавців; γ – деякий параметр. Операція взяття міні-

муму означає, що виконавець отримує ресурс в кількості, не більшій від заявленої величини. Параметр γ відіграє роль нормування і вибирається з умови виконання балансового (бюджетного) обмеження:

$$\sum_{i=1}^n \min\{s_i, \gamma \eta_i(s_i)\} = R,$$

тобто підбирається таким, щоб за заданих заявок і функцій пріоритету ресурс R розподіляється повністю [3]

Пріоритетні механізми, залежно від виду функції пріоритету, поділяють на три класи – механізми прямих пріоритетів (у яких $\eta_i(s_i)$ – функція, заявки, що зростає $s_i, i = \overline{1, n}$, механізми абсолютних пріоритетів, в яких пріоритети виконавців фіксовані і не залежать від заявок, що повідомляються ними, і механізми зворотних пріоритетів (у яких $\eta_i(s_i)$ – функція заявки, що спадає $s_i, i = \overline{1, n}$). Розглянемо послідовно механізми прямих і зворотних пріоритетів (якщо виконана гіпотеза доброзичливості, то результати аналізу механізмів абсолютних пріоритетів практично збігаються з результатами аналізу механізмів зворотних пріоритетів) [3].

Механізми прямих пріоритетів. Якщо функції переваги $\varphi(x_i)$ виконавців є функціями, що строго зростають x_i (виконавці зацікавлені в отриманні максимально можливої кількості ресурсу), то, оскільки в механізмі прямих пріоритетів x_i – функція заявки, що зростає s_i , то всі виконавці повідомлятимуть максимальні заявки на ресурс. Це явище – тенденція зростання заявок – доволі поширене в економіці. Тому механізми прямих пріоритетів, що використовують принцип “більше просиш – більше отримаєш”, справедливо критикують [3].

Якщо функції переваги виконавців мають максимуми в точках $\{r_i\}$, то аналіз дещо ускладниться, проте якісний висновок залишиться тим самим – за наявності щонайменшого дефіциту $\Delta = \sum_{i=1}^n r_i - R$ простежується тенденція до зростання заявок [3].

Зазначимо, що процедура пропорційного розподілу належить до класу механізмів прямих пріоритетів [3].

Механізми зворотних пріоритетів. Механізми зворотних пріоритетів, в яких $\eta_i(s_i)$ є спадною функцією $s_i, i = \overline{1, n}$ володіють, поза сумнівом, перевагами порівняно з механізмами прямих пріоритетів. Проаналізуємо механізм зворотних пріоритетів з функціями пріоритету:

$$\eta_i(s_i) = \frac{A_i}{S_i}, i = \overline{1, n},$$

де $\{A_i\}$ – деякі константи. Величина A_i характеризує втрати проекту, якщо i -й виконавець взагалі не отримає ресурсу. Тоді відношення A_i/S_i визначає питомий ефект від використання ресурсу. Тому механізми зворотних пріоритетів іноді називають механізмами розподілу ресурсу пропорційно ефективності (ПЕ-механізмами) [3].

Нехай є три виконавці ($n=3$), $A_1=16; A_2=9; A_3=4; R=18$. Припустимо спочатку, що мета виконавців – одержати максимальну кількість ресурсу. Визначимо ситуацію рівноваги Неша. Легко зазначити, що функція $x_i(s) = \min\{s_i, \gamma(A_i/s_i)\}$ досягає максимуму по s_i в точці, що задовольняє умову $s_i = \gamma(A_i/s_i)$. Отже $x_i^* = s_i^* = \sqrt{\gamma A_i}$. Визначимо параметр γ з балансового обмеження

$\sum_{i=1}^n x_i^* = \sqrt{\gamma} \sum_{i=1}^n \sqrt{A_i} = R$. Тоді $\gamma = \left(R / \sum_{i=1}^n \sqrt{A_i} \right)^2$. Для цього прикладу $\gamma=4$, а визначені з умови рівноважені заявки:

$$x_i^* = s_i^* = R \frac{\sqrt{A_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{A_j}},$$

дорівнюють $s_1^* = 8, s_2^* = 6, s_3^* = 4$. Перевіримо, чи це справді рівновага Неша. Візьмемо першого виконавця. Якщо він зменшить свою заявку: $s_1 = 7 < s_1^*$, то $s_1 + s_2^* + s_3^* < R$. Отже, $x_1 = s_1 = 7 < x_1^*$. Якщо ж $s_1 = 9 > s_1^*$, то $\gamma \approx 4,5, x_1 = 8 \equiv x_1^*$. Отже, рівновага Неша [3].

Легко показати [7], що стратегії цього типу є для виконавців гарантованими, тобто максимізують їх ефективності за якнайгірших стратегій решти виконавців [3].

Якщо функції переваги виконавців мають максимуми в точках $\{r_i\}$, і якщо $S_i^* > r_i$, то i -й виконавець замовить рівно r_i і стільки ж отримає, оскільки при зменшенні заявки його пріоритет зростає. Отже, виділяється множина пріоритетних виконавців [8].

Більш того, можна показати, що за доволі великої кількості виконавців механізм зворотних пріоритетів з штрафами за незбіг очікуваного і планованого ефекту оптимальний в сенсі сумарної ефективності [3, 7].

Моделі розподілу обмежених ресурсів із використанням конкурсних методик

Однією з умов підвищення ефективності управління є розроблення таких механізмів управління, котрі спонукають виконавців до максимального використання всіх резервів. Тому достатньо поширеними стали так звані конкурсні механізми. Їхня особливість полягає у тому, що виконавці беруть участь в змаганні за отримання ресурсу, пільгових умов фінансування, участі в проекті [3].

Під час перегляду механізмів зворотних пріоритетів зазначалося, що ресурс розподіляється пропорційно до ефективності використання його виконавцями $\xi_i = \varphi_i(x_i)/x_i$. У конкурсному механізмі ресурс отримують тільки переможці конкурсу (на всіх виконавців ресурсу може не вистачити) [3].

Припустимо, що виконавці повідомляють ПМ (проект-менеджеру) дві величини: заявку на ресурс s_i й оцінку ξ_i очікуваної ефективності його використання. Очікуваний ефект для проекту загалом від діяльності i -го виконавця в цьому випадку дорівнює $w_i = \xi_i s_i$. Упорядкуємо виконавців за зменшенням їх ефективностей:

$$\xi_1 \geq \xi_2 \geq \dots \geq \xi_n.$$

Зрозуміло, що виконавці можуть наобіцяти золоті гори, тільки б отримати фінансування. Тому при використанні конкурсних механізмів ПМ повинен організувати дієву систему контролю за виконанням узятих зобов'язань. Введемо систему штрафів:

$$\chi_i = \alpha(\xi_i s_i - \varphi_i(s_i)), \alpha > 0, i = \overline{1, n},$$

пропорційних до відхилення очікуваної ефективності $\xi_i s_i = w_i$ від реальної – $\varphi_i(s_i)$. Значимо, що величина $(\xi_i s_i - \varphi_i(s_i))$ характеризує обман, на який свідомо йде виконавець задля перемоги в конкурсі. Цільова функція виконавця має вигляд:

$$f_i(\varphi_i, \xi_i) = \mu \varphi_i(s_i) - \alpha[\xi_i s_i - \varphi_i(s_i)], i = \overline{1, n},$$

де μ – частка ефекту, що залишається у розпорядженні виконавця (тобто $\mu \varphi_i(s_i)$ – його дохід). Значимо, що виконавця штрафують, тільки якщо $\xi_i s_i > \varphi_i(s_i)$. Якщо реальна ефективність виявилася вищою від очікуваної – штрафи дорівнюють нулю [3].

Ресурс R , що є у розпорядженні ПМ, розподіляється так: перший виконавець (виконавець, що має максимальну ефективність) отримує ресурс у запрошуваному об'ємі s_1 . Потім ресурс одержує (в об'ємі s_2) виконавець з меншою (другою за величиною) ефективністю і так далі, поки не закінчиться весь ресурс. Тобто ПМ роздає ресурс в необхідному об'ємі за зниженням ефективностей доти, доки ресурс не закінчиться. Переможцями конкурсу називають виконавців, що отримали ресурс в повному об'ємі [3].

Значимо, що у разі використання такої процедури перемога в конкурсі залежить тільки від величини ефективності ξ_i і не залежить від величини заявки s_i . Тому виконавці прагнуть максимізувати свої цільові функції, тобто замовлять таку кількість ресурсу, щоб у разі перемоги значення їхньої цільової функції було максимальне [3].

Позначимо m – максимальний номер виконавця, що переміг в конкурсі (тобто переможцями є виконавці з номерами $j = \overline{1, m}$). Неважко показати, що всі переможці повідомлять однакові оцінки ефективності, тобто $\xi_i^* = \xi^*$, $j = \overline{1, m+1}$. Більш того, за достатньо загальних припущень про функції штрафів конкурсні механізми забезпечують оптимальний розподіл ресурсу [3, 7].

Децентралізовані механізми розподілу ресурсу. У великих проектах із великою кількістю виконавців при розподілі ресурсу між виконавцями ПМ (проект менеджер) повинен опрацювати величезний обсяг інформації про ефективність виконавців, їхні потреби тощо. У такій ситуації доцільно “полегшити роботу” ПМ, ввівши додаткові рівні управління – розділити виконавців на групи і поставити на чолі кожної групи керівника – менеджера підпроекту. Адміністративна структура такого проекту наведена на рис. 1 [3].

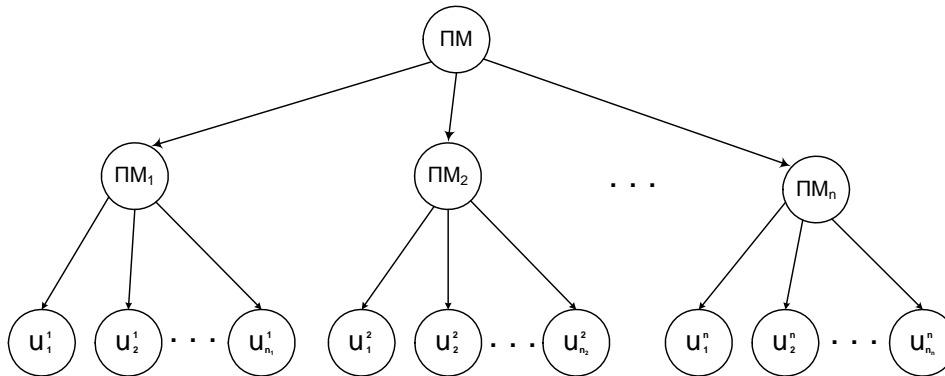


Рис. 1. Адміністративна структура проекту

На верхньому рівні ієрархії – ПМ. Всі виконавці нижнього рівня (кількість яких становить N) розділені на n груп, що не перетинаються (n_i – кількість виконавців в i -й групі $i = \overline{1, n}$, $\sum_{i=1}^n n_i = N$). На середньому рівні ієрархії – n менеджерів підпроектів. Підпорядковані ПМ $_i$ ($i = \overline{1, n}$) виконавці i -ї групи. Сам ПМ $_i$ підкоряється безпосередньо ПМ. Зазначимо, що на рис. 1 наведена проста віялова структура, в інших випадках зв'язки між елементами можуть бути складнішими (один і той самий виконавець може мати подвійне підпорядкування тощо). Сформулюємо тепер задачу розподілу ресурсу [3].

У розпорядженні ПМ є R одиниць ресурсу. Один із варіантів – самому розподілити ресурс між N виконавцями. Альтернативний варіант – розподілити ресурс між менеджерами підпроектів, давши їм змогу розподілити його між виконавцями. Зрозуміло, що в другому випадку ПМ спрощує собі життя, проте чи не приведе така децентралізація управління до зниження ефективності? Розглянемо такий приклад [3].

Нехай є N виконавців $I = \{1, 2, \dots, N\}$, які розбиті на дві групи – I_1 і I_2 ($I_1 \cup I_2 = I$; $I_1 \cap I_2 = \emptyset$). Кожен з виконавців має функцію ефективності такого вигляду:

$$\phi_i(x_i) = x_i - \frac{1}{2r_i} x_i^2, i = \overline{1, n},$$

де коефіцієнти r_i характеризують оптимальну для i -го виконавця кількість ресурсу. Введемо таке припущення: нехай ПМ точно знає функції ефективності виконавців. Тоді ПМ може знайти такий оптимальний розподіл ресурсу, який максимізує сумарну ефективність виконавців. Легко показати, що розв'язок задачі (1) має вигляд:

$$x_i^* = \frac{r_i}{\sum_{i \in I} r_i} R, i = \overline{1, n},$$

тобто ресурс розподіляється пропорційно до максимальної ефективності (максимум за x_i досягається, якщо $x_i = r_i$ і дорівнює $r_i/2$). Позначимо $A = \sum_{i \in I} r_i$. Тоді ефективність механізму дорівнює:

$$\mathcal{E}^* = \sum_{i \in I} \phi_i(x_i^*) = R \left[1 - \frac{R}{2A} \right].$$

Нехай тепер ПМ використовує децентралізовану структуру управління, тобто ділить виконавців на дві групи і призначає керівників ПМ₁ і ПМ₂. Задача розподілу ресурсу ПМ полягатиме у виділенні ресурсу ПМ₁ і ПМ₂ в кількостях R_1 і R_2 відповідно ($R_1 + R_2 = R$), після чого кожен з менеджерів підпроектів розподілятиме свій ресурс між своїми підлеглими з метою максимізації їхньої сумарної ефективності [3].

Отже, кожен з ПМ_i ($i = 1, 2$) обчислить оптимізаційну задачу й отримає розв'язок вигляду:

$$x_j^* = \frac{r_j}{\sum_{j \in I_k} r_j} R_k, j \in I_k, k = \overline{1, 2}.$$

Ефективності груп виконавців дорівнюватимуть відповідно:

$$\mathcal{E}_k = \sum_{i \in I_k} \phi_i(x_i^*), k = \overline{1, 2}; \mathcal{E}_1 = R_1 \left[1 - \frac{R_1}{2A_1} \right]; \mathcal{E}_2 = R_2 \left[1 - \frac{R_2}{2A_2} \right],$$

де $A_k = \sum_{i \in I_k} r_i, k = \overline{1, 2}, A_1 + A_2 = A$.

Порівняємо тепер ефективність з сумою ефективностей E_1 і E_2 у децентралізованому механізмі. По-перше, легко бачити, що $E_1 + E_2 \leq E^*$, тобто децентралізація не дає вигоди у ефективності. По-друге, очевидно, що виконується як рівність, якщо:

$$R_i = \frac{A_i}{A} R, i = \overline{1, 2}.$$

Отже, якщо ділити ресурс між підгрупами пропорційно до їхньої максимальної ефективності (зазначимо, що на нижньому рівні використовується той самий принцип розподілу), то втрат ефективності від децентралізації немає [3].

Зазначимо, що ми припускали повну інформованість ПМ (і відповідно ПМ₁ і ПМ₂) про функції ефективності виконавців. Це припущення є доволі важливим, оскільки процедури і використовують інформацію про ідеальну точку $\{r_i\}$ [3].

Розглянута проста модель може бути узагальнена на випадок довільної скінченної кількості груп елементів. Загальний висновок такий: децентралізація механізму управління в задачі розподілу обмеженого ресурсу не підвищує ефективності, проте полегшує роботу ПМ. Для того щоб не знижувати ефективності за децентралізації, в умовах повної інформованості розподіляти ресурс між групами (і усередині них) потрібно прямо пропорційно до їхньої максимальної ефективності [3].

Під час розгляду децентралізованих механізмів розподілу ресурсу передбачалося, що ПМ і менеджерам підпроектів відомі функції переваги виконавців. Що буде, якщо відмовитися від цього припущення? Очевидно, ПМ вимушений у такому разі використовувати механізм з повідомленням інформації (заявок) виконавцями. Досліджуємо, чи змінить введення додаткових рівнів управління підсумковий розподіл ресурсу між виконавцями (із наведеного вище аналізу нам відомо, що процес децентралізації не може підвищувати ефективності, тому досліджуємо, за яких умов він її не знижує) [3].

Розглянемо такий приклад. Нехай ПМ використовує принцип пропорційного розподілу ресурсу в об'ємі R між N виконавцями, тобто:

$$x_i = \frac{s_i}{S} R, i = \overline{1, N},$$

де s_i – заявки виконавців, $S = \sum_{i=1}^n s_i$ – сума заявок. Якщо заявки обмежені ($s_i \leq D, i = \overline{1, N}$), то існує еквівалентний прямий (неманіпульований) механізм [3].

Розділимо виконавців на n груп $\left(\bigcup_{i=1}^n I_i = I = \{1, \dots, N\}, I_i \cap I_j = \emptyset, i \neq j \right)$ і призначимо керівником i -ї групи ПМ _{i} . Нехай виконавці повідомляють заявки не безпосередньо ПМ, а своєму “місцевому” керівникові – ПМ _{i} . Позначимо $s^j = \sum_{i \in I_j} s_i^j, j = \overline{1, n}$ – сумарну заявку в j -й групі (s_i^j – заявка i -го виконавця, що входить до j -ї групи). Припустимо, що ПМ _{i} також використовує принцип пропорційного розподілу, тобто

$$x_i^j = \frac{s_i^j}{s^j R^j}, i \in I_j, j = \overline{1, n},$$

де R_j – кількість ресурсу, що розподіляється між виконавцями з j -ї групи. Логічно припустити, що величини R^1, R^2, \dots, R^n ($R^1 + R^2 + \dots + R^n = R$) визначаються ПМ на підставі заявок $\{S^j\}$, наданих ПМ _{j} . Отже, спочатку виконавці повідомляють заявки на ресурс своїм безпосереднім керівникам, а потім ті, своєю чергою, повідомляють заявки ПМ (заявка кожного менеджера підпроєкту, що повідомляється ПМ, дорівнює сумі заявок, отриманих ним від підлеглих йому виконавців). Якщо ПМ при розподілі ресурсу R між менеджерами підпроєктів також використовує принцип пропорційного розподілу:

$$R^j = \frac{s^j}{S} R, j = \overline{1, n},$$

то кількість ресурсу, отримана в цьому децентралізованому механізмі кожним з виконавців, збігається. Тобто в цьому прикладі введення децентралізації не змінило кінцевого розподілу ресурсу між виконавцями, оскільки менеджери підпроєктів працювали фактично “передавачами” (пасивними) інформації від виконавців до ПМ. Але те, що при агрегації інформації (у послідовності виконавець – ПМ _{i} – ПМ верхній рівень управління володіє меншою інформацією, тобто не знає, хто з виконавців яку заявку повідомив, а одержує лише агрегати – сумарні заявки від груп виконавців) вдається отримати такий самий розподіл, що і в початковій дворівневій системі, є безперечною перевагою цього механізму [3].

Моделі та методи розподілу обмежених ресурсів в управлінні портфелями проєктів

Теоретико-ігрові моделі аналізу і синтезу механізмів управління є предметом досліджень в теорії управління організаційними системами [9]. Специфіка управління проєктами полягає, зокрема, в тому, що вони реалізуються у межах матричних структур, в яких виконавець підпорядкований одночасно кільком “рівноправним” керівним органам – наприклад, керівникові проєкту і своєму функціональному керівникові (на відміну від лінійних структур, в яких існує деревоподібна ієрархія підпорядкування [10]) [4].

Такі структури одержали назву систем з розподіленим контролем. Систематично вперше їх моделі досліджено в [11]. Повна характеристика розв’язків задачі управління в системі з кількома органами (центрами) управління і одним керованим суб’єктом – агентом – отримана в [12,13]. Надалі моделі з розподіленим контролем розвивалися в декількох напрямках: у [14] отримано розв’язок задачі управління для дворівневої системи з кількома центрами і кількома агентами, котрі характеризуються векторними перевагами; у [9, 14, 12] вивчалася роль вищого керівництва в узгодженні інтересів центрів; у [15] розглядалися моделі так званих Х-структур, в яких керівництво виконавцями здійснювала управлінська компанія; у [16] наведено моделі матричних структур, в яких керівник проєкту володіє пріоритетом прийняття рішень перед функціональним керівником; у [17] вивчена модель узгодженої взаємодії у чотирирівневій структурі з пріоритетом функціональних керівників над керівниками проєктів [4].

Крім систем з розподіленим контролем, існує ще декілька підходів до побудови механізмів розподілу ресурсу. По-перше, це підхід, що ґрунтується на розв’язанні задач розподілу ресурсів на мережах, задач дискретної оптимізації, що дають змогу мінімізувати час виконання проєкту або неотриманого прибутку за ситуації, коли тривалість робіт проєкту залежить від використовуваних на них кількостях ресурсу [9,18]. По-друге, це моделі з повідомленням інформації, в яких кількість

ресурсу, що виділяється агентам, залежить від їхніх заявок. При цьому виникає проблема маніпулювання інформацією, результати дослідження якої наведено в [19, 20].

Портфелі проектів характеризуються, зокрема, тим, що для них істотно виявляється можливість незбігу інтересів керівних органів, що відповідають за реалізацію (або зацікавлених в реалізації) тих чи інших проектів (далі називатимемо їх керівниками проектів – КП) і власників ресурсів, необхідних для реалізації проектів (умовно називатимемо останніх функціональними керівниками – ФК). Тому виникає задача побудови моделі такого розподілу ресурсів між проектами, що входять у портфель, який дав би змогу погоджувати інтереси всіх зацікавлених учасників. Подамо загальний опис моделі розподілу обмежених ресурсів між проектами, які входять у портфель проектів [4].

Опис моделі

Нехай є множина $N = \{1, 2, \dots, n\}$ проектів – претендентів на включення в портфель, і множина $M = \{1, 2, \dots, m\}$ ресурсів різних видів. Позначимо $y_{ij} \geq 0$ – кількість ресурсу j -го виду, що використовується під час реалізації i -го проекту, y_i – вектор ресурсів, використовуваних під час реалізації i -го проекту, ${}_j y = ({}_j y_1, {}_j y_2, \dots, {}_j y_m)$ – вектор розподілу ресурсу j -го виду, $y = \|y_{ij}\|$ – матриця розподілу ресурсу, $i \in N, j \in M$ [4].

Позначимо $H_i y_i$ – дохід, отримуваний від реалізації i -го проекту, залежно від кількості наданих йому ресурсів, $c_j ({}_j y)$ – видатки на використання ресурсу j -го виду $i \in N, j \in M$ [4].

Централізована схема

Задача розподілу обмежених ресурсів загалом полягає в тому, щоб розподілити ресурс, максимізувавши “прибуток” – різниця між доходом від реалізації проектів і витратами на використання ресурсу:

$$x = \arg \max_{\{y_{ij} \geq 0\}} \left[\sum_{i \in N} H_i (y_i) - \sum_{j \in M} c_j ({}_j y) \right].$$

Розподіл ресурсу відповідно назвемо централізованою схемою, оскільки вона не враховує інтересів виконавців робіт за проектами і “власників” ресурсів і може бути реалізована централізовано вищим керівництвом [4].

Оскільки вище не описано властивостей функцій доходу і витрат, то задача має максимально загальний вигляд і охоплює як окремі, так і загальні випадки постановки задач розподілу ресурсів між проектами, зокрема задачі формування портфеля проектів (у портфель проектів не входять ті проекти, на які в оптимальному розв’язку не виділяються ресурси) [4].

Справді, обмеженість ресурсів може враховуватися у функції видатків (так званий метод штрафних функцій), разом з можливістю закупівлі ресурсів (залучення кредитів) поза організацією; дискретність задачі (отримання ненульового доходу від реалізації проекту тільки у випадку, якщо на нього виділено кількість ресурсу, не меншу від заданої сумарної кількості або ресурсів у заданій комплектності) може враховуватися у функції доходу тощо [4].

Отже, вираз дає оптимальний розподіл ресурсів між проектами портфеля, але не враховує інтересів учасників організаційної системи [4].

Розподілений контроль: узгодження інтересів

Нехай КП i сплачує ФК j суму λ_{ij} за використання ресурсу $z_{ij} \geq 0, i \in N, j \in M$.

Умова компенсації витрат ФК (тобто умова узгодженості рішень ФК [9, 11]) має вигляд:

$$c_j ({}_j z) = \sum_{i \in N} \lambda_{ij}, j \in M$$

Обчислимо максимальні виграші КП (при реалізації розподілів ресурсу, найвигідніших для кожного з них):

$$W_i = \max_{\{y_{ij} \geq 0\}} \left[H_i (y_i) - \sum_{j \in M} c_j ({}_j y) \right], i \in N.$$

Запишемо умову того, що існує система платежів від КП до ФК, така, що виграш кожного з КП не менший, ніж у разі незалежної діяльності кожного з них:

$$H_i(z_i) - \sum_{j \in M} \lambda_{ij} \geq W_i, i \in N.$$

З [11] відомо, що умова узгодженості інтересів КП (між собою і з ФК) має вигляд:

$$\exists z: \Lambda(z) \neq \emptyset,$$

де $\Lambda(z) = \{\lambda_{ij} \geq 0, i \in N, j \in K \mid (2) i(3)\}$.

З [11] відомо, що інтереси КП можуть бути узгоджені тоді і тільки тоді, коли

$$\max_{\{y_{ij} \geq 0\}} \left[\sum_{i \in N} H_i(y_i) - \sum_{j \in M} c_j(j, y) \geq \sum_{i \in N} W_i \right].$$

Звідси таке твердження: якщо $\exists z: \Lambda(z) \neq \emptyset$, то $\Lambda(x) \neq \emptyset$.

Це твердження означає: якщо можливе узгодження інтересів КП, то розподіл ресурсу, запропонований в межах централізованої схеми, також є узгодженим. Зазначимо, що це зовсім не означає узгодженості будь-якого централізованого рішення із розподілу ресурсу між проектами портфеля [4].

Трансфертні ціни

Частковим, але достатньо поширеним на практиці випадком взаємодії учасників організаційної системи при реалізації портфеля проектів є використання так званих трансфертних (внутрішньо-фірмових) цін, що визначають вартість використання КП одиниці того або іншого ресурсу [4].

Позначимо витрати КП на використання ресурсу $c_{ij}(y_{ij}) = \gamma_j + \beta_j y_{ij}, i \in N, j \in M$.

Зазначимо, що ставки γ_j і β_j залежать тільки від виду ресурсу і не залежать від того, в яких проектах використовується ресурс (система цін є уніфікованою) [4].

Тоді цільова функція j -го ФК має вигляд:

$$f_j(j, y) = n\gamma_j + \beta_j \sum_{i \in N} y_{ij} - c_j(j, y), j \in M.$$

Позначимо $Y_j = \sum_{i \in N} y_{ij}$ і припустимо, що $c_j(j, y) = C_j(Y_j), j \in M$. Нехай функції витрат є диференційованими, опуклими і дорівнюють у нулі нулю. Тоді оптимальна з погляду j -го ФК кількість використовуваного ресурсу має вигляд:

$$Y_j^*(\beta_j) = C_j'^{-1}(\beta_j), j \in M$$

Умова того, що за використання трансфертних цін кожен з ФК отримує той самий виграш, що і за централізованої схеми, має вигляд:

$$n\gamma_j + \beta_j C_j'^{-1}(\beta_j) = C_j \left(\sum_{i \in N} x_{ij} \right), j \in M$$

Умову збігу кількості ресурсів, що виділяються на кожний проект за централізованої схеми і у разі використання трансфертних цін, запишемо у вигляді:

$$\sum_{i \in N} x_{ij} = C_j'^{-1}(\beta_j), j \in M$$

Отже, справедливим є твердження: використання централізованої схеми під час розподілу ресурсів між проектами портфеля є еквівалентним застосуванню системи трансфертних цін, що задовольняє і [4].

Підкреслимо, що за заданого оптимального розподілу ресурсу може не існувати еквівалентної системи трансфертних цін, тобто множина розв'язків системи порожня [4].

Серед питань, що вирішуються під час розроблення систем підтримання прийняття рішень із розподілу обмежених ресурсів, – задача побудови адекватної моделі планування і вибору прийнятних алгоритмів розв'язання є однією з найважливіших і найскладніших. Важливість цього питання ґрунтується на тому факті, що від правильної побудови моделі та вибору ефективного алгоритму розв'язання задачі планування залежить нормальне функціонування виробництва [5, 6].

Планування виробничої програми виробничої фірми здійснюється, як правило, в умовах неточної початкової інформації, коли деякі системні параметри визначаються недостатньо точно, що породжує невизначеність умов планування. Часто цю невизначеність не можна розглядати як стохастичне явище, оскільки відсутні стохастичні параметри і вона може характеризуватися швидше нечіткими категоріями, котрі залежать від кількості та якості ресурсу, термінів його постачання; функціонування технологічних установок; термінів початку і завершення ремонтних робіт; втрат продуктів, неточності давачів тощо [5, 6].

Висновки

У статті описано основні види обмежень, котрі можуть накладатися на проект. Розглянуто методи розподілу обмежених ресурсів із застосуванням календарного планування та моделі розподілу обмежених ресурсів із використанням пріоритетів. Проаналізовано моделі розподілу обмежених ресурсів із використанням конкурсних методик. Розглянуто три схеми розподілу ресурсів між проектами портфеля: централізована; із урахуванням інтересів керівників проектів і функціональних керівників; схема, яка ґрунтується на уніфікованих трансферних цінах за використані ресурси.

Для розв'язання задач планування та розподілу обмежених ресурсів треба дослідити застосування апарату теорії нечітких множин. Нині накопичено певний досвід, в якому можна виділити два напрями: застосування нечіткої логіки; використання нечіткого лінійного програмування. Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення цих напрямів.

1. Баркалов П.С. *Задачи распределения ресурсов в управлении проектами* / П.С. Баркалов, И.В. Буркова, А.В. Глаголев. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 65 с. 2. Клиффорд Ф. Грей. *Управление проектами: Практическое руководство* / Клиффорд Ф. Грей, Эрик У. Ларсон; [пер. с англ.]. – М.: Издательство “Дело и Сервис”, 2003. – 528 с. 3. Бурков В. Н. *Как управлять проектами: Научно-практическое издание* / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: СИНТЕГ – ГЕО, 1997. – 188 с. 4. Матвеев А.А. *Модели и методы управления портфелями проектов* / А.А. Матвеев, Д.А. Новиков, А.В. Цветков. – М.: ПМСОФТ, 2005. – 206 с. 5. Алиев Р.А. *Управление производством при нечеткой исходной информации* / Р.А. Алиев, А.Э. Церковный, Г.А. Мамедова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с. 6. *Модели и механизмы распределения затрат и доходов в рыночной экономике ПРЕПРИНТ* / [Бурков В.Н., Горгидзе И.И., Новиков Д.А., Юсупов Б.С.]. – М. 1996. 7. *Большие системы: моделирование организационных механизмов* / [Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др.]. – М.: Наука, 1989. – 246 с. 8. Бурков В.Н. *Введение в теорию активных систем* / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 1996. – 125 с. 9. Автономов В.С. *Модель человека в экономической науке* / В.С. Автономов. – СПб.: Экономическая школа, 1998. – 230 с. 10. *Задачи распределения ресурсов в управлении проектами* / П.С. Баркалов, И.В. Буркова, А.В. Глаголев, В.Н. Колпачев. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 65 с. 11. *Модели и методы распределения ресурсов в управлении проектами* / Баркалов С.А., Буркова И.В., Колпачев В.Н., Потапенко А.М. – М.: ИПУ РАН, 2004. – 85 с. 12. Ансофф И. *Стратегическое управление* / И. Ансофф. – М.: Экономика, 1989. – 519 с. 13. *Механизмы управления организационными проектами* / В.Г. Балашов, А.Ю. Заложнев, А.А. Иващенко, Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 84 с. 14. *Модели и методы оптимизации региональных программ развития* / Н.Г. Андронникова, С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, А.М. Котенко. – М.: ИПУ РАН, 2001. – 60 с. 15. Андронникова Н.Г. *Комплексное оценивание в задачах регионального управления* / Н.Г. Андронникова, В.Н. Бурков, С.В. Леонтьев. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 54 с. 16. Авдеев Ю.А. *Оперативное планирование в целевых программах* / Ю.А. Авдеев. – Одесса: Маяк, 1990. – 132 с. 17. Баркалов С.А. *Методы агрегирования в управлении проектами* / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, Н.М. Гилязов. – М.: ИПУ РАН, 1999. – 55 с. 18. Айзерман М.А. *Выбор вариантов: основы теории* / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алескеров. – М.: Наука, 1990. – 236 с. 19. *Анализ эффективности инвестиционных проектов* / [Акинфиев В.К., Карибский А.В., Коновалов Е.Н., Цвиркун А.Д., Шишорин Ю.Р.]. – М.: ИПУ РАН, 1994. – 51 с. 20. *Оптимизационные модели распределения инвестиций на предприятиях по видам деятельности* / [Баркалов С.А., Бакунец О.Н., Гуреева И.В., Колпачев В.Н., Руссман И.Б.]. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 68 с.