

УДК 658.012.23

**В.В. Назимко, професор, д-р техн. наук**

*Донецький національний технічний університет*

*вул. Артема, 58, Донецьк, Україна, 83122*

*E-mail: victor\_nazimko@mail.ru*

**ЛАНКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТОМ:**

**ТЕРМОДИНАМІЧНА ПОСТАНОВКА**

*Ланка системи управління проектом розглянута як термодинамічний об'єкт, що пропускає через себе потоки інформації та сигналів управління. Це дозволяє перейти від централізованого принципу управління проектом до розподіленого.*

**Ключові слова:** *управління проектом, термодинамічна сила і потік.*

Більшість реальних проектів характеризується складним набором процесів і об'єктів, які пов'язані ієрархічно і містять елементи децентралізації функцій управління. Для належної підтримки якості проекту необхідно прагнути до оптимального управління цим проектом. Однак застосування централізованих структур управління призводить до суттєвого зниження його якості через велику розмірність самої задачі управління [1]. Під розмірністю завдання управління розуміється число вхідних і вихідних параметрів проекту. Наприклад на ризики проекту вуглевидобутку впливають рівень попиту на енергетичному ринку або ринку металургійної продукції, ступінь порушеності родовища, надійність забійного обладнання, системи логістики, вентиляції, комплектація основних і допоміжних професій та інші фактори, загальне число яких може перевищувати десятків [2]. Розмірність задачі управління проектом є ще більшою з урахуванням значного числа вихідних параметрів, а також випадкових факторів, які породжують невизначеність процесу управління [3]. Так необхідну якість управління, а також рентабельність або хоча б безбитковість проекту вуглевидобутку забезпечується тільки при підтримці проектних значень таких вихідних параметрів як величина видобутку, зольність рядового вугілля і його собівартість за умови задоволення обмежень проекту за вимогами безпеки, які для підземного видобутку є досить жорсткими.

Додаткова складність управління проектами в умовах посткризової ринкової економіки полягає в тому, що в переважній кількості випадків проекти реалізуються в умовах дефіциту ресурсів. Особливо яскраво це проявляється у вугільній галузі, яка працює в умовах хронічного браку часу і таких проектних ресурсів, як фінансові, матеріальні, людські, енергетичні. У зв'язку з цим доводиться обмежитися проектуванням таких гнучких алгоритмів прийняття рішень, які б забезпечили максимум їх ефективності в рамках допустимого часу і проектних ресурсів в умовах жорстких обмежень (приклад з безпеки) [1].

Обмеження на час, що відводиться для прийняття рішення, є принциповою відмінністю оперативного управління від класичного. Зазначимо, що допустимий ліміт часу для прийняття рішень в реальних проектах часто залежить від поточної ситуації і може сильно змінюватися в процесі реалізації проекту [1, 4]

$$T_c = f(t, k_1, \dots, k_n) \leq T_o, \quad (1)$$

де  $T_c$  – поточний ліміт часу, який доступний для прийняття оперативного вирішення чергового завдання проекту,  $f$  – функція, яка залежить від поточного часу, а також параметрів проекту  $k_1, \dots, k_n$ ;  $T_o$  – час, необхідний для прийняття оптимального рішення.

Саме брак часу для прийняття оптимального рішення щодо управління спонукає дослідників вдосконалювати системи автоматичного управління виробництвом шляхом заміни централізованого на розподілене або паралельне управління, що досягається за рахунок широкого спектру нових принципів управління, наприклад матричного [1], розподілених середовищ на базі GRID-систем [3], автоматизації систем управління підприємством на основі вдосконалення їх вузлів, представлених у вигляді систем масового обслуговування [5] та інших сучасних підходів.

Принциповою відмінністю технології управління проектами від автоматизованих систем управління виробництвом (АСУВ) є суттєва різниця як структури елементарних ланок систем управління, так і сигналів управління. Так значна доля робіт управління в АСУВ виконується датчиками, мікропроцесорами, електродвигунами, пневморегуляторами та іншою електронною, електричною або механічною апаратурою, тоді як основні функції управління проектом виконуються командою. Більшість сигналів управління АСУВ видаються в електронній формі (аналоговій або цифровій) у той час як сигнали управління проектом генеруються у переважній більшості у вигляді вербальних команд або розпоряджень. Саме такі відмінності залишають *проблему вдосконалення управління проектами* вельми актуальною [6].

**Метою роботи** є вдосконалення базової ланки системи управління проектом з урахуванням вказаних специфічних особливостей на основі використання сучасних досягнень в області автоматизованого управління.

Ключовим моментом при вирішенні подібної проблеми є поняття складності алгоритму управління [7]. При цьому необхідно обґрунтувати критерій складності, вибрати його параметри, стратегію їх зміни і встановити засоби варіації параметрів складності та ефективності алгоритмів. Проект за своєю суттю є системою, яка самоорганізується на відміну від технічних систем. Відомо, що складні фізичні та технічні системи схильні створювати так звані структури під дією термодинамічних потоків енергії, речовини та поля [8]. Ці структури і є наслідком самоорганізації. Широко відомий приклад самоорганізації в рідині, коли виникають так звані осередки Бенара при пропусканні через неї з певною інтенсивністю теплового потоку [9]. При реалізації проекту його стан самоорганізації є природним і обов'язковою умовою для досягнення поставленої перед ним мети. Більше того, проект управляється (організовується) інтелектуальною системою, роль якої виконує його команда, причому найбільш важливими і разом з тим специфічними, характерними тільки для проекту потоками є інформаційні та фінансові. На підставі цього приймаємо в якості критерію складності алгоритму управління мінімізацію виробництва ентропії, а для створення теоретичних основ оперативного управління проектом в умовах браку часу, дефіциту проектних ресурсів і проектних обмежень термодинаміку необоротних процесів [10, 11].

Розглянемо елементарну ланку в класичній централізованій системі управління (рисунок 1, а). Цю ланку можна представити як елемент термодинамічної структури, який пропускає через себе потоки сигналів управління та інформації. Теоретичні основи поведінки такої системи встановлені лауреатом Нобелівської премії Пригожином І., його школою та колегами. Ними доведено, що виникнення структур (самоорганізації) у системі відбувається тоді, коли її термодинамічний стан стає вельми нерівноважним і сильно чутливим до випадкових збурень або флуктуацій, що досить характерно для проекту. Такий нерівноважний стан описується у вигляді суми добутків термодинамічних сил  $X_i$  на потоки  $J_i$ .

$$\Delta\delta S = (1/T) \sum \Delta X_i \Delta J_i, \quad (2)$$

де  $T$  означає абсолютну температуру. Величину  $\Delta\delta S$  при цьому було названо надмірним виробництвом ентропії, викликаним збуренням  $\Delta$  системи щодо стаціонарного нерівноважного стану. Доведено, що критерій стійкості термодинамічної системи, яка перебуває в сильно нерівноважному стані, відповідає умові:

$$\Delta\delta S \geq 0. \quad (3)$$

Усі зазначені сигнали (потоки) належать до певних скінчених множин. Так  $U_{j,i} = \{u_{j,i}\}$  позначає множину керуючих і координуючих сигналів ланки вищого рівня. Наприклад, у проекті вугледобутку множина оперативних керуючих сигналів, які видаються в результаті перевищення допустимої концентрації метану на вихідному струмені відпрацьованого повітря з лави, складається з таких дискретних елементів: «зупинити лаву», «зменшити навантаження на очисний вибій», «збільшити подачу свіжого повітря в лаву», «підвищити рівень вакууму в дегазаційній системі», «спорудити вентиляційні вікна в охоронному спорудженні на вентиляційному штреку» і т.п. Режими роботи промислові будівель і споруд поділяють на «важкий», «середній» і «легкий» і т.д. Позначимо множину сигналів зворотного зв'язку від підлеглих ланок як  $Y_{j,i} = \{y_{j,i}\}$ . Такими можуть бути індикатор на пульті

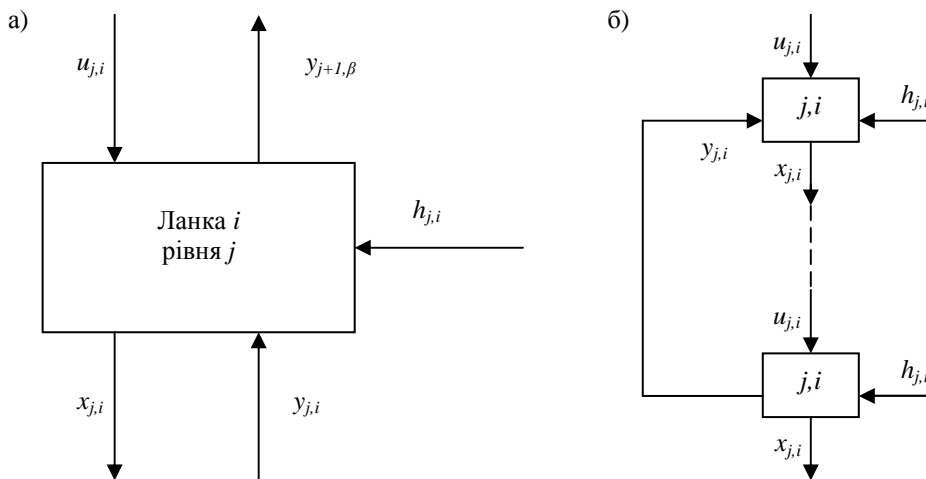


Рисунок 1 – Ланка централізованої (а), і децентралізованої (б) структури управління

диспетчера, що сигналізує зупинку конвеєра, доповідь гірничого майстра про відключення напруги живлення очисного комбайну і т.д.

Практично будь-яка ланка системи оперативного управління зазнає збурень  $\Delta$ , як правило випадкових, множину яких позначимо через  $H_{j,i} = \{h_{j,i}\}$ . Типовими збуреннями є зупинки конвеєра через порив стрічки, непередбачена поява малоамплітудного порушення в очисному або підготовчому вибої, вихід з ладу секції механізованого кріплення, поломка різця на шнеку очисного комбайна через тверде включення сидериту у вугільному пласті, непередбачені проблеми що виникли у банка, який надає кредити для живлення бюджету проекту і т.п. Множину вихідних сигналів  $i$ -ї ланки, які передаються підлеглим ланкам  $(j-1)$ -го рівня, позначимо як  $X_{j,i} = \{x_{j,i}\}$ .

У процесі функціонування системи оперативного управління проектом вхідні сигнали перетворюються або як кажуть відображаються у вигляді вихідних. Тому функціонування ланок системи будемо пояснювати із залученням математичного апарату відображень, оскільки не можна висловити перетворення перерахованих вище множин вхідних сигналів в безліч вихідних сигналів простою математичною функцією. Таким чином функціонування ланки централізованої системи управління можна виразити наступним відображенням  $S_{j,i}$ :

$$S_{j,i} : U_{j,i} \times Y_{j,i} \times H_{j,i} \rightarrow X_{j,i}. \quad (4)$$

Тут відповідно до формули (2) керуючі сигнали  $U_{j,i}$  та  $X_{j,i}$ , а також збурення  $H_{j,i}$  виконують роль термодинамічних сил. Натомість  $Y_{j,i}$  є аналогом термодинамічних потоків.

Ланка  $j, i$  з вхідними та вихідними сигналами показана на рисунку 1, а. Індексом  $j+1, \beta$  позначені сигнали зворотного зв'язку  $y_{j+1,\beta}$ , які передаються даною ланкою до ланки вищого рівня. Згідно [7] ці сигнали не включені в відображення (2), оскільки вони виробляються іншим функціональним завданням, що полягає в інформаційній обробці сигналів. Під час здійснення процесу управління часто функції певних членів системи управління зводяться до простої ретрансляції сигналів, тобто  $y_{j+1,\beta} = y_{j,i}$ . Більше того, у процесі ретрансляції сигнали можуть навмисно або випадково спотворюватися. Так буває при передачі обсягу видобутого вугілля або проходки, які завищуються вищестоящими управліннями в надії, що до кінця доби приписаний обсяг надолужать. Разом з тим отримувана інформація повинна належним чином перетворюватися для того, щоб забезпечити ефективну якість управління проекту.

Зазначений недолік централізованої структури управління усунутий в системі управління, що базується на поділі потоків управління та інформації (рисунок 1, б). Саме такий поділ дає можливість забезпечити децентралізацію процесу управління проектом. У структурі з поділом потоків управління та інформації відображення для ланки самого верхнього ієрархічного рівня приймає такий вигляд:

$$S_{n,1} : Y_{n,1} \times H_{n,1} \rightarrow X_{n,1}. \quad (5)$$

Для керованого об'єкта система відображень матиме наступний запис:

$$S_{0,i} : X_{1,i} \times H_{0,i} \rightarrow X_{0,i}. \quad (4)$$

Таким чином, одна ланка  $j, i$  в системі централізованого управління замінюється в системі з поділом потоків управління та інформації парою, що складається з керуючого  $j, i$  та інформаційного  $j, i$ . Назвемо таку систему для стислості  $\Theta$ -структурою. Точно так одне відображення  $S_{j,i}$  в системі централізованого управління (4) замінимо двома відображеннями в  $\Theta$ -структурі:

$$S_{j,i} : U_{j,i} \times Y_{j,i} \times H_{j,i} \rightarrow X_{j,i}, \quad (6)$$

$$S_{j,i} : U_{j,i} \times H_{j,i} \rightarrow X_{j,i}. \quad (7)$$

При цьому набір збурюючих впливів розділяється на дві множини:  $H_{j,i} = \{h_{j,i}\}$ , яка відображає збурення, що впливають на вироблення керуючих сигналів  $x_{j,i}$  і множину  $H_{j,i} = \{h_{j,i}\}$ , що складається зі збурень, які здійснюють вплив на оцінки досягнутих станів або результатів  $X_{j,i} = \{x_{j,i}\}$ . Позитивний ефект від такого поділу полягає в зручності проектування системи оперативного управління проектом, оскільки відповідає фізичному сенсу процесів управління, розділяючи сигнали на термодинамічні сили (а по суті команди управління проектом) і термодинамічні потоки (фактично представлені інформаційними сигналами).

Таким чином замінимо відображення  $S_{0,i}$  для верхнього рівня ієрархії наступними двома відображеннями:

$$S_{j,i} : U_{n,1} \times Y_{n,i} \times H_{n,1} \rightarrow X_{n,1}, \quad (8)$$

$$S_{j,i} : U_{n,i} \times H_{n,i} \rightarrow X_{n,i}. \quad (9)$$

Відображення (8) визначає процес прийняття оперативних рішень на основі інформації про досягнуті результати  $u_{n,i}$ , а також наявні ресурси проекту  $u_{n,1} \in U_{n,1}$  і збурення  $h_{n,1} \in H_{n,1}$ , де знак  $\in$  позначає «належить до множини». Відображення (9) моделює функціонування системи підготовки та подання інформації для прийняття рішень на верхньому рівні керування проектом.

Переваги раціонального розподілу функцій управління між центральними та локальними керуючими підсистемами давно доведені на прикладі багатьох мультиоб'єктних систем управління у

промисловості, економіці, а також при експлуатації інформаційних систем. Необхідність раціонального розподілу функцій управління проектами обумовлена наступним. З одного боку централізована система управління проектом відрізняється простотою і зводиться до планування діяльності блоків нижнього рівня ієрархії, а також розподілу ресурсів управління. Однак простота системи централізованого управління проектом нівелюється складністю його реалізації через велику розмірність задачі управління, тобто з причин великої кількості процесів, об'єктів управління та їх вхідних і вихідних параметрів. З іншого боку децентралізація управління проектом таїть в собі невиконання цілі проекту через втрату керованості проектом у цілому. Тому розподілення системи управління проектом повинно виконуватись ретельно, з урахуванням специфічних особливостей, що перелічені вище.

Під розподіленістю системи управління проектом будемо розуміти як територіальну чи просторову розподіленість, так і розмежування функцій управління. Оскільки в умовах сучасної ринкової економіки основні проблеми теорії управління пов'язані з наявністю великого числа об'єктів і процесів, а також розподіленістю управління і високою розмірністю, мультиоб'єктні розподілені системи управління проектом (МРУП) доцільно виділити в окремий клас. Ще раз наголосимо на тому, що мультиоб'єктне розподілене управління проектом (МРУП) істотно відрізняється від мультиоб'єктної системи автоматизованого управління (МРСУ) тим, що у процесі проектування систем автоматичного управління використовуються сигнали управління у вигляді математичних функцій та чіткі параметри і критерії оптимальності, наприклад, засновані на мінімізації часу перехідних процесів, вартості управління, величини перерегулювання керуючого сигналу і т.д. МРСУ є складовою проекту і знаходиться на нижчому рівні, який керується МРУП. Отже ієрархію системи управління проектом можна виразити у такому вигляді: МРУП → МРСУ → технологія реалізації проекту (технологічні лінії, машини, механізми, фінансові інструменти, рекреаційні споруди і т.п.). Більше того, МРСУ є опціональною ланкою у системі управління проектом, тоді як МРУП – обов'язковою. Наприклад, проект створення національного парку може здійснюватись без використання МРСУ. Натомість МРУП відіграє в цьому випадку критичну роль, оскільки в згаданому проекті необхідно узгоджувати управління великою кількістю різнотипних об'єктів, таких як територія парку, звірі, рослинність, місцева влада, землевпорядні організації, зоопарки (в тому числі і закордонні), юридичні установи і інструменти, законодавчі інституції, наприклад парламент і т.д.

При цьому мається на увазі, що для досягнення оптимального режиму функціонування класичної керованої системи часу завжди достатньо. Такий резерв часу в реальності відсутній навіть для МРСУ, не кажучи вже про МРУП. Слушно нагадати, що теоретичні основи побудови гнучких алгоритмів прийняття оперативних рішень для МРСУ відсутні [7]. Для оперативного МРУП (МРОУП) задача побудови гнучких алгоритмів оперативного прийняття рішень навіть не ставилася, оскільки треба математично коректно формалізувати такі нечіткі поняття як управління термінами, вартістю, якістю проекту, людськими ресурсами, комунікаціями, ризиками, поставками проекту. Саме це є наступною задачею, яку необхідно вирішити подальшими дослідженнями. Модель (2), (6), (7) є теоретичним базисом для вирішення поставленої задачі.

Таким чином, можна зробити наступні висновки. Модель ланки системи мультиоб'єктного розподіленого управління проектом (МРУП) можна представити як термодинамічний елемент, що пропускає через себе інформаційні, фінансові, енергетичні, матеріальні незворотні потоки. При умовах, коли надлишкове виробництво ентропії, яке пропорційне сумі добутків термодинамічних сил на термодинамічні потоки є позитивним, система МРУП переходить в стан самоорганізації. Роль термодинамічних сил виконують керуючі і координуючі сигнали та їх випадкові збурення, а функцію термодинамічних потоків відтворюють потоки інформації. Архітектура ланки МРУП з розділенням термодинамічних сил і потоків дає можливість забезпечити розподілене управління проектом, який складається з великої кількості об'єктів. Подальшими дослідженнями планується обґрунтувати і розробити математичну формалізацію таких параметрів проекту, як вартість, якість проекту, людські ресурси, комунікації, ризики, поставки.

#### **Бібліографічний список використаної літератури**

1. Колеснікова К.В. Оптимізація структури управління проектно-керованої організації / К.В. Колеснікова, В.О. Вайсман // Вісник СевНТУ. Серія: Автоматизація процесів та управління: зб. наук. пр. — Севастополь, 2012. — Вип. 125. — С. 218–221.
2. Захарова Л.Н. Исследование чувствительности программы развития горных работ и ее рисков в условиях угольной шахты / Л.Н. Захарова, В.В. Назимко // Радиоелектронні і комп'ютерні системи (Інформаційні технології в управлінні підприємствами, програмами та проектами). — 2012. — № 1 (53). — С. 157–164.
3. Ткаченко К.С. Адаптивне управління розподіленням середовищем на базі імітаційної моделі GRID-системи / К.С. Ткаченко // Вісник СевНТУ. Серія: Автоматизація процесів та управління: зб. наук. пр. — Севастополь, 2012. — Вип. 125. — С. 103–106.

4. Кононенко И.В. Математическая модель и метод оптимизации содержания проекта с точки зрения времени и стоимости его выполнения / И.В. Кононенко // Вост.-европ. журнал передовых технологий. — Харьков: Техн. центр, 2011. — № 1/2 (43). — С. 12–17.
5. Тарасова А.В. Модель вузла розподіленої автоматизованої системи управління підприємством / А.В. Тарасова, С.Н. Бобилев // Вісник СевНТУ. Серія: Автоматизація процесів та управління: зб. наук. пр. — Севастополь, 2012. — Вип. 125. — С. 129–133.
6. Вайсман В.О. Проектно-керовані організаційні моделі і метод аналізу структурних схем управління процесами / В.О. Вайсман // Наук. записки Міжнар. гуманіт. ун-ту. Серія: Управління проектами та програмами. — Одеса, 2009. — Вип. 14. — С. 4–12.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5-ти тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т. 5: Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — 616 с.
8. Заславский Г.М. Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса / Г.М. Заславский, Р.З.Сагдеев. — М.: Наука, 1988. — 368 с.
9. Foundation of Synergetics II. Complex Patterns. — Berlin: Springer, 1995. — P. 210.
10. Nazimko V.V. Thermodynamic method of rock durability / V.V. Nazimko, L.R. Greyson // Rock Mechanics. Proceedings of the 35th U.S.Symposium // A.A.Balkema /Rotterdam/Brookfield/. — 1995. — P. 363–385.
11. Назимко В.В. Оценка эффективности социального проекта: термодинамический подход / В.В. Назимко, Е.В. Пономаренко, Т.К. Гречко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2013. — Вып. 1/10 (61). — С. 148–150.

*Надійшла до редакції 20.06.2013 з.*

#### **Назимко В.В. Звено системы управления проектом: термодинамическая постановка**

Звено системы управления проектом рассмотрено как термодинамический объект, который пропускает через себя потоки информации и сигналов управления. Это позволяет перейти от централизованного принципа управления проектом к распределенному.

**Ключевые слова:** управление проектом, термодинамическая сила и поток.

#### **Nazimko V.V. A chain of the project management system: thermodynamic approach**

A chain of the project management system has been presented as a thermodynamic object that passes through information flows and control signals. This facilitated transition from directive project management to distributed project control.

**Keywords:** project management, thermodynamic force and flow.