

УДК 338.24

А.І. Кузьмичов, к.т.н., доцент;
Т.П. Шмирко, аспірант;
Я.В. Шмирко, студент

СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ ПРОЕКТУ В EXCEL

Запропоновано прості, зручні й ефективні способи обчислення часових характеристик мережевої моделі проекту в середовищі доступного табличного процесора Excel без застосування будь-яких додаткових програмних засобів. Рекомендується для використання студентами та менеджерами-практиками для організації, планування та управління проектами фактично необмеженого розміру.

Предложены простые, удобные и эффективные способы вычисления часовых характеристик сетевой модели проекта в среде доступного табличного процессора Excel без применения любых дополнительных программных средств. Рекомендуется для использования студентами и менеджерами-практиками для организации, планирования и управления проектами фактически неограниченного размера.

The simple, comfortable and effective methods of calculation of sentinel descriptions of network model of project are offered in the environment of accessible tabular processor of Excel without application of any additional programmatic funds. It is recommended for the use students and managers-practices for organization, planning and management of actually unlimited size projects.

Вступ. Проектний менеджмент вже досить давно є стандартним розділом практичної оптимізації, який відрізняється універсальністю й, відповідно, сприяє широкому розповсюдженню проектного підходу до дослідження будь-яких динамічних процесів [1-3]. Щоб скористатися цим підходом, достатньо досліджуваний процес представити системою взаємопов'язаних робіт (задач, операцій, заходів, activities) у вигляді т. зв. проектної таблиці, які мають певну тривалість й використовують для свого здійснення матеріальні, кадрові та фінансові ресурси, запаси яких обмежені. Проектна таблиця – це список відомостей про роботи, що має не менше 4 стовпців, де вказується: код (номер) роботи; назва роботи; коди попередніх робіт; тривалість.

Ставиться задача визначення тривалості здійснення проекту та оптимального розкладу виконання робіт с метою завершення проекту

якнайшвидше чи не пізніше заданого (директивного) терміну із врахуванням ресурсних обмежень та певних організаційних умов. Для розв'язання цієї задачі необхідно сформувати мережеву модель проекту й провести розрахунок часових характеристик робіт і усього проекту, користуючись обчислювальними методами потокового програмування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

50 років тому для управління проектною діяльністю було винайдено ефективний підхід щодо організації, планування, управління та аналізу проектною діяльністю на основі математичних моделей потокового програмування у вигляді фундаментальних методів СРМ та PERT. За цим підходом модель проекту представляють мережею (зваженим направленим графом без контурів), де треба знайти конфігурацію й довжину максимального шляху від початку до кінця мережі, в проектному менеджменті цей шлях названо критичним, критичними (з позицій керування ними) є дуги, що йому належать, а довжина критичного шляху визначає мінімальну тривалість здійснення усіх робіт проекту.

Отже, мережева модель проекту – сукупність вузлів та дуг, яка відтворює розмаїття зв'язків між роботами, тривалість їх виконання та ресурсну забезпеченість. На сьогодні існує близька 200 різних мережевих моделей проектів, що розрізняються за призначенням, елементами опису, алгоритмам та засобами їх реалізації.

Існує два фундаментальних типи мереж, відповідно, два типи мережевих моделей проекту та технологій їх побудови та реалізації:

- «робота-дуга» (AoA, Activity-on-Arc) та
- «робота-вузол» (AoN, Activity-on-Node),

перший з них вважається класичним, бо визначив теорію й технологію управління проектами, базуючись на розв'язанні задач пошуку екстремальних шляхів у мережах, його опис за традицією домінує в навчальній літературі; другий тип, розроблений для безмашинної реалізації проектних розрахунків в умовах тодішнього дефіциту комп'ютерних потужностей¹ й невідомий з підручників, є об'єктом професійних наукових досліджень й, за іронією долі, став основою сучасних програмних продуктів з управління проектами (MS Project, Primavera, Spider тощо).

За висновком експертів та за багаторічним досвідом практиків технологія AoN вважається простішою й, головне, однозначною, розрахованою на колективну роботу з керування крупними проектами. Побудова ж класичної мережевої моделі проекту за технологією AoA змушує застосовувати штучні об'єкти – події, а також вводити фіктивні

¹ Fondahl J. Non-Computer Approach to the Critical Path Method for the Construction Industry, Stanford Univ., 1961

роботи та події для коректного відображення відношення передування робіт згідно заданої проектної таблиці. Це загалом характеризується складністю, необхідністю попередньої побудови мережевого (сіткового) графіка, що для крупних проектів зробити непросто, суб'єктивністю й неоднозначністю процесу мережевого моделювання проектів, саме тому перша за появою й традиційна технологія AoA ще використовується де-не-де лише за сталою традицією, але не у сучасних програмних продуктах з управління проектами.

Таким чином, виникла педагогічна й практична дилема реалізації, практичного використання та порівняльної оцінки функціональних можливостей та сфер застосування цих двох технологій. Сучасна практика проектного менеджменту пропонує кілька шляхів комп'ютерної реалізації мережевих моделей проектів, це:

а) універсальні системи управління проектами, розраховані на рядового користувача (лідер - програма MS Project у складі офісного пакету MS Office);

б) спеціалізовані програмні продукти, що розробляються на певній апаратній, операційній та мовній платформах на замовлення;

в) розробка розрахункового документа типу електронної таблиці на платформі наймасовішого за світовим досвідом використання, потужного й ефективного програмного продукту – табличного процесора MS Excel.

Технологія електронно-табличного моделювання (spreadsheet modeling) превалує у світовій системі бізнес-освіти, бо є ідеальним засобом інтеграції даних у вигляді табличних баз даних, організації табличних обчислень для реалізації принципу «Що, якщо ...?» та отримання розв'язку задач лінійної, потокової та нелінійної оптимізації за допомогою програми-надбудови Excel Solver (Поиск решения). Правда, фахівці, зокрема з проектного аналізу та менеджменту, звертають увагу на явну затримку у появі ефективних засобів мережевого моделювання проектів на тлі потужного й масштабного розвитку й впровадження універсальних засобів електронно-табличного моделювання. Тож ця робота ставить за мету скоротити цю затримку й надати рядовим користувачам досить дієвий інструментар для ефективного здійснення проектної діяльності.

У цій роботі на прикладі конкретного проекту пропонується простий й доступний підхід до мережевого моделювання проектної діяльності методом критичного шляху з використанням звичайних операцій та функцій Excel шляхом створення відповідної електронної таблиці для мереж за технологіями AoN та AoA. Відкритість моделі з-за відсутності будь-яких додаткових програмних модулів (макросів, надбудов) дозволяє на цій основі будь-кому, у першу чергу студентам та менеджерам-практикам, власноруч, досить просто і прозоро організувати й реалізувати процес моделювання проекту за принципом «Що, якщо ...?» чи, можливо,

шляхом побудови відповідної імітаційної моделі з отриманням статистичних характеристик часових характеристик проекту в умовах невизначеності й ризику.

З літератури з проектного менеджменту відомо, що пошук критичного шляху у проектній мережі зводиться до пошуку максимальних (критичних) шляхів від її початку до усіх проміжних й кінцевого вузлів, що здійснюється «прямим ходом» мережею від її початкового до кінцевого вузла шляхом обчислення відповідних максимумів для вузлів.

Для цього за технологією AoN розраховуються часові моменти:

- раннього початку (РП або EST, Early Start Time) та
- раннього завершення (РЗ або EFT, Early Finish Time) кожної роботи за формулами:

$$t_{рп}(i) = \max \{t_{рз}(k)\}, k \in P(i),$$

де $P(i)$ – підмножина робіт, що передують i -ій роботі

$$t_{рз}(i) = t_{рп}(i) + t(i), t(i) – \text{тривалість } i\text{-ої роботи.}$$

«Зворотним ходом» мережею від її кінцевого до початкового вузла розв’язується задача про пошук часткових мінімальних шляхів, для цього обчислюються відповідні мінімуми для вузлів та часові моменти:

- пізнього початку (ПП або LST, Late Start Time) та
- пізнього завершення (ПЗ або LFT, Late Finish Time) кожної роботи за формулами:

$$t_{пз}(i) = \min \{t_{пп}(j)\}, j \in S(i),$$

де $S(i)$ – підмножина робіт, що слідує за i -ою роботою

$$t_{пп}(i) = t_{пз}(i) - t(i),$$

тоді загальний резерв часу (Slack) роботи обчислюється за формулою:

$$r(i) = t_{рз}(i) - t_{рп}(i) = t_{пз}(i) - t_{пп}(i),$$

усього – відшукується 5 часових характеристик робіт (рис. 1).

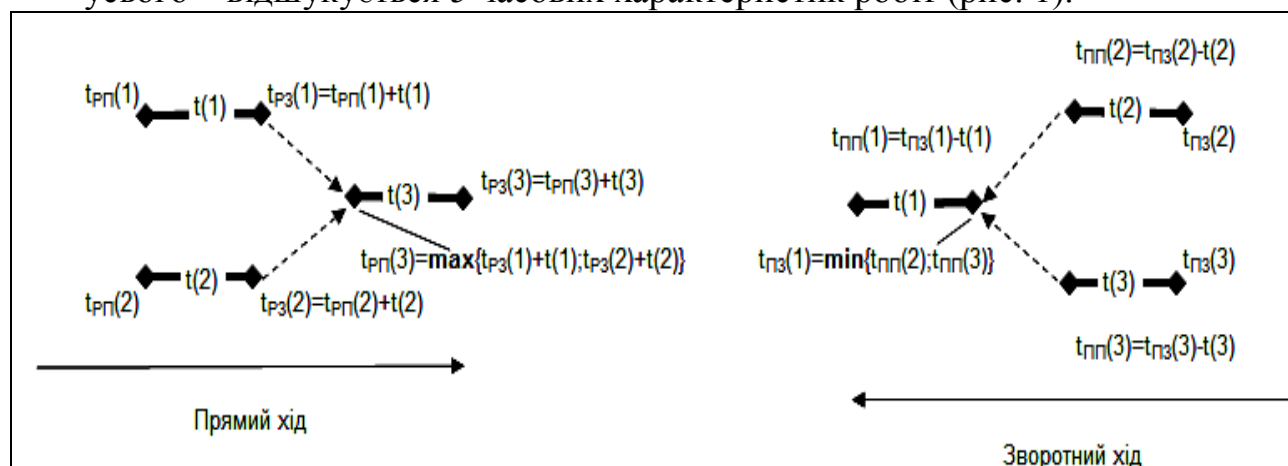


Рис. 1. Часові характеристики робіт

Таким чином, мережеве моделювання проекту зводиться до покрокового пошуку максимальних та мінімальних шляхів у мережі методом динамічного програмування.

Користуючись програмою Excel, є можливість здійснити ці розрахунки без застосування спеціальних програмних засобів.

Приклад. Проект з 10 робіт задано проектною таблицею (рис. 2, а), де перша та третя колонки визначають відношення передування робіт, ця таблиця є основою побудови мережевого графіка та виконання усіх наступних обчислень.

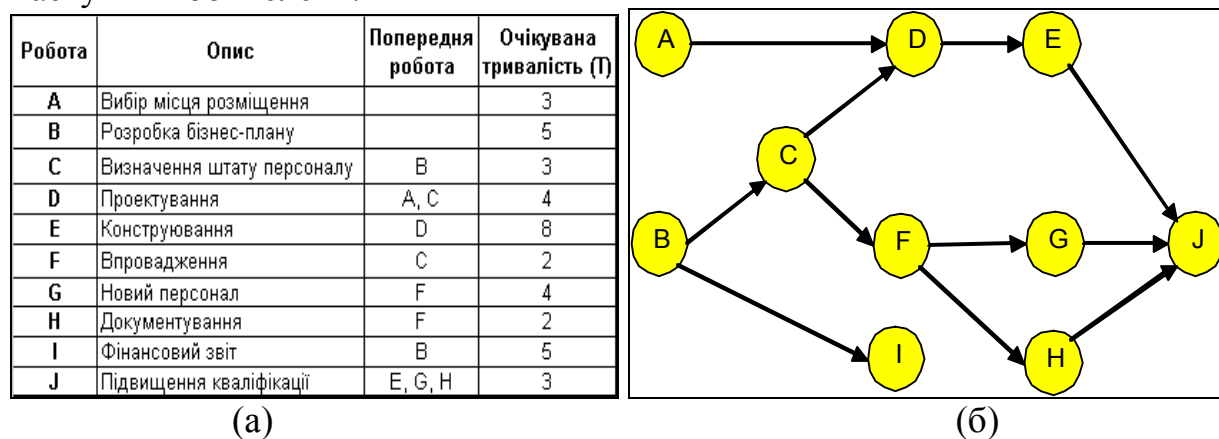


Рис. 2. Проектна таблиця та вузлова мережа

Технологія AoN

Просто й однозначно будується мережева модель проекту (рис. 2, б), де роботи представлені вузлами, а дуги між ними вказують на існуючі технологічні зв'язки, відповідний табличний документ має вигляд (рис. 3), де за вказаними формулами визначені часові характеристики усіх робіт й знайдено критичний шлях, утворений роботами: B – C – D – E – J, який зображено на мережевому графіку (рис. 4, а). На рис. 4, б зображені формули, за якими обчислюються п'ять часових характеристик робіт.

РП	ПП
Роб	Т
РЗ	ПЗ
Рез=	

Цей же обчислювальний процес можна представити наочною комбінацією розрахунків та засобів графіки за технологією т.зв. кліткових автоматів, рис. 5, де кожна робота представляється за допомогою шаблону, у його складі: заданий код роботи (Роб) та її тривалість (Т), результати обчислень за відповідними формулами п'яти часових характеристик (РП, ПП, РЗ, ПЗ, Рез).

Робота	Опис	Попередня робота	Очікувана тривалість (T)	РП (EST)	РЗ (EFT)	ПП (LST)	ПЗ (LFT)	Резерв (Slack)
A	Вибір місця розміщення		3	0	3	5	8	5
B	Розробка бізнес-плану		5	0	5	0	5	0
C	Визначення штату персоналу	B	3	5	8	5	8	0
D	Проектування	A, C	4	8	12	8	12	0
E	Конструювання	D	8	12	20	12	20	0
F	Впровадження	C	2	8	10	14	16	6
G	Новий персонал	F	4	10	14	16	20	6
H	Документування	F	2	10	12	18	20	8
I	Фінансовий звіт	B	5	5	10	18	23	13
J	Підвищення кваліфікації	E, G, H	3	20	23	20	23	0
Мінімальна тривалість				23				

Рис. 3. Мережева модель типу розрахункової таблиці

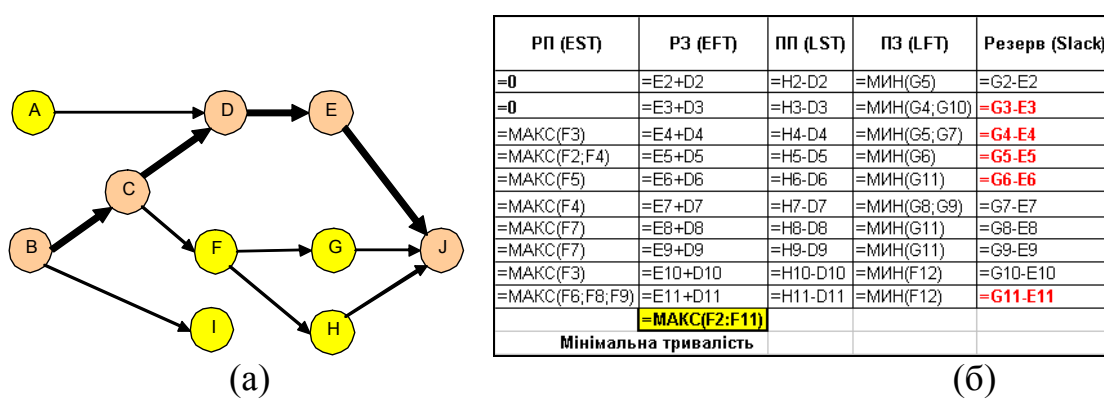
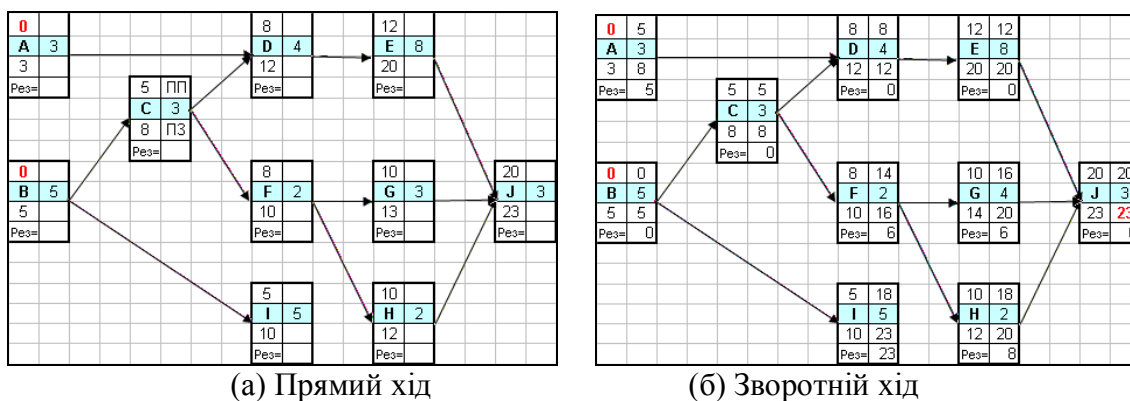


Рис. 4. Конфігурація критичного шляху



L	M	N/O	P	Q	R/S	T	U	V/W	X	Y	ZA	AB	AC
7	=E2	=M9-M8				=МАКС(L9;P12)	=U9-U8		=МАКС(T9)	=Y9-Y8			
8	A	3				D	4		E	8			
9	=L7+M8	=МИН(U7)				=T7+U8	=МИН(Y7)		=X7+Y8	=МИН(AC14)			
10	Рез=	=M7-L7				Рез=	=U7-T7		Рез=	=Y7-X7			
11													
12													
13													
14	=E3	=M16-M15				=МАКС(P12)	=U16-U15		=МАКС(T16)	=Y16-Y15			=МАКС(X9;X16;X22)
15	B	5				F	2		G	4			J
16	=L14+M15	=МИН(Q10;U20)				=T14+U15	=МИН(Y14;Y20)		=X14+Y15	=МИН(AC14)			=AB14+AC15
17	Рез=	=M14-L14				Рез=	=U14-T14		Рез=	=Y14-X14			=AB16
18													=AC14-AB14
19													
20													
21													
22													
23													
24													

(в) розрахункові формули

Рис. 5. Мережева модель типу кліткового автомату

Наведений приклад організації табличних обчислень часових характеристик робіт простий, але вимагає вручну й дуже уважно увести по 10 (по кількості робіт у проекті) унікальних формул для обчислення двох фундаментальних показників – РП та ПЗ кожної роботи (для певного спрощення тут уведені функції *МАКС* та *МИН* навіть для одного аргументу, які можна замінити прямим зверненням до клітинки), добре, що інші формули один раз вводяться й копіюються у діапазон клітинок (рис. 4, б).

Ясно, що для крупного проекту вводити ці унікальні формули досить непросто, тож саме тут виникла серйозна практична проблема розробки єдиної формули для кожної з цих двох колонок (РП та ПЗ) для скорочення часу й ручної праці, щоб таку формулу один раз увести й скопіювати у діапазон будь-якого розміру.

На цьому шляху зроблено багато спроб, скажімо, одна з них [8] з метою одноразового введення та багаторазового застосування розрахункових формул пропонує мережеву модель типу AoN до 200 робіт представити квадратною матрицею зв'язків «робота-робота» розміром до 200×200 (автор орієнтувався на максимальну кількість у 256 стовпців в Excel 2003), де можна застосувати універсальні формули для елементів матриці. Очевидний недолік цього підходу – обмежений розмір задачі (200 робіт^2), ручне створення й форматування крупної матриці зв'язків з заданої проектної таблиці, проблеми з формулами обробки матриць, зате цей приклад підкреслює непростий характер поставленої проблеми пошуку «двох формул».

У цій роботі пропонується для практичного використання вдосконалена й ефективна методика табличного розрахунку характеристик певної мережевої моделі, яка дозволяє суттєво зменшити кількість унікальних формул, зокрема, для мережевого моделювання проектів, побудованих за технологією AoN, вдалося знайти дві шукані уніфіковані формули, єдині на увесь табличний документ незалежно від розміру проектної задачі, завдяки чому кардинально зменшується обчислювальна робота для проектів практично будь-якого розміру й спрощується процедура модифікації моделі – це стало можливим завдяки розробці формул із застосуванням функцій для роботи с масивами (Array Formulas).

Відомо, що функції цього типу найчастіше застосовують у лінійній алгебрі для реалізації матричних (*M...*) операцій (*МОБР*, *МОПРЕД*, *МУМНОЖ*), адже вони характеризуються надзвичайною потужністю й універсальністю, правда, їх дія часто залишається мало зрозумілою особами, які не мають досвіду з комп'ютерного програмування.

² Використання Excel 2007 зі значно більшим числом стовпців електронної таблиці приведе до необхідності працювати з таблицею колосальних розмірів

Обробці масивів передуює виділення діапазону для розміщення майбутнього результату, далі уводиться відповідна формула з функціями для масиву, процес завершується натисканням комбінації трьох клавіш:

<Ctrl>+<Shift>+<Enter>.

Така формула уводиться один раз і Excel автоматично охоплює її фігурними дужками «{}», вона діє в межах попередньо визначеного масиву даних й повертає результат у вигляді одного числа чи масиву даних, який формується циклічним алгоритмом [9-10].

Ці дві формули теж реалізують циклічний (ітераційний) алгоритм обробки даних для:

- максимізації часткових критичних шляхів для обчислення РП (прямий хід мережею) та
- мінімізації зворотних шляхів для обчислення ПЗ робіт (зворотний хід мережею)

що надалі дозволяє визначити усі інші часові характеристики проекту.

Формули з масивами, про що йдеться, породжують ітераційні (циклічні) посилання (коли елементи формули у певній клітинці посиляються самі на себе прямо чи опосередковано через інші формули), на ці посилання Excel стандартно повідомляє про помилку виведенням панелі інструментів *Циклические ссылки*, дозволити ж такі посилання треба фіксацією пункту *Итерации* командою *Сервис* → *Параметры* → *Вычисления*.

Отже, тепер у таблиці (рис. 7) у кожній клітинці стовпця РП (це робота-вузол мережі) обчислюється максимум серед потоків, що входять у вузол, за допомогою єдиної складеної формули:

{=МАКС(ЕСЛИ(ЕОШ(НАЙТИ(\$A\$2:\$A\$11,C2)),0,\$F\$:\$F\$11))},

де застосовано 4 вкладених функції: *НАЙТИ()*, *ЕОШ()*, *ЕСЛИ()* та *МАКС()*, які утворюють цикл – послідовність операцій, що повторюються, звертаючись на кожному кроці до одних й тих же даних:

- функція *НАЙТИ (FIND)* для заданих робіт (у стовпці А) відшукує їх входження у набір робіт-попередників (стовпець С), якщо таких не знаходить, виводить повідомлення про помилку *#ЗНАЧ!*, інакше виводить число – номер першої позиції

- функція *ЕОШ (ISERR)* перевіряє наявність помилки (рос. *Есть Ошибка?*) й виводить логічне значення *ИСТИНА* (є) чи *ЛОЖЬ* (нема) в залежності від перевірки

- функція *ЕСЛИ (IF)* формує масив з 10 чисел для кожної поточної роботи, це нулі для *ИСТИНА* та значення РЗ робіт-попередників

- функція *МАКС (MAX)* для кожної поточної роботи знаходить максимум серед значень сформованого масиву РЗ з 10 чисел.

Результатом цієї процедури є часткові й повний критичні шляхи.

Аналогічно діє друга єдина формула мінімізації, це також циклічна конструкція, яка зворотним ходом знаходить мінімальні шляхи з кінця мережі до її початку:

$\{=МИН(ЕСЛИ(ЕОШ(НАЙТИ(A2;C$2:C$11));МАКС(F2:F11);G2:G11))\}$,

щоб мати змогу визначити резерви часу робіт.

Принципова різниця між цими формулами – тут функція *ЕСЛИ* у випадку результату *ИСТИНА* залишає максимальне значення ПЗ, інакше визначається мінімум зі значень ПП робіт.

Усі інші три часові характеристики, як відомо, визначаються за однаковими формулами.

Таким чином, проблема «двох формул» вирішена – запропоновано підхід із застосування двох унікальних формул, які, правда, дещо громіздкі й специфічні, зате уводяться один раз для пошуку максимуму та мінімуму у вузлах мережі, що дозволяє досить просто отримати результати з моделювання проекту будь-якого розміру.

За цими результатами тепер досить просто можна побудувати діаграму Гантта, яка у наочній формі ілюструє роботи проекту (тривалості і повні резерви) та їх взаємодію, рис. 6.

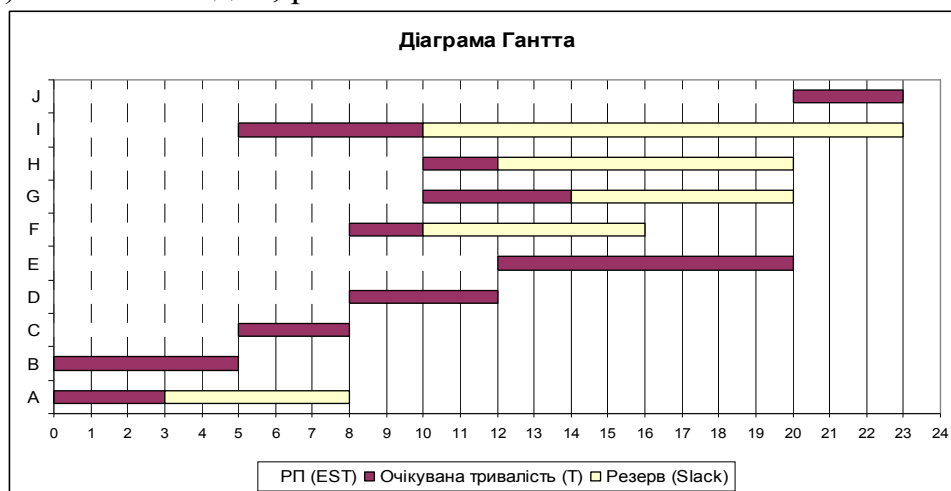


Рис. 6

E2		* {=МАКС(ЕСЛИ(ЕОШ(НАЙТИ(\$A\$2:\$A\$11;C2));0;\$F\$2:\$F\$11))}							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Робота	Опис	Попередня робота	Очікувана тривалість (T)	РП (EST)	РЗ (EFT)	ПП (LST)	ПЗ (LFT)	Резерв (Slack)
1									
2	A	Вибір місця розміщення		3	0	3	5	8	5
3	B	Розробка бізнес-плану		5	0	5	0	5	0
4	C	Визначення штату персоналу	B	3	5	8	5	8	0
5	D	Проектування	A, C	4	8	12	8	12	0
6	E	Конструювання	D	8	12	20	12	20	0
7	F	Впровадження	C	2	8	10	14	16	6
8	G	Новий персонал	F	4	10	14	16	20	6
9	H	Документування	F	2	10	12	18	20	8
10	I	Фінансовий звіт	B	5	5	10	18	23	13
11	J	Підвищення кваліфікації	E, G, H	3	20	23	20	23	0
12						23			
13					Мінімальна тривалість				

Рис. 7. Прямий хід алгоритму

H2 {=МИН(ЕСЛИ(ЕОШ(НАЙТИ(A2;\$C\$2:\$C\$11));МАКС(\$F\$2:\$F\$11);\$G\$2:\$G\$11))}									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Робота	Опис	Попередня робота	Очікувана тривалість (Т)	РП (EST)	РЗ (EFT)	ПП (LST)	ПЗ (LFT)	Резерв (Slack)
2	A	Вибір місця розміщення		3	0	3	5	8	5
3	B	Розробка бізнес-плану		5	0	5	0	5	0
4	C	Визначення штату персоналу	B	3	5	8	5	8	0
5	D	Проектування	A, C	4	8	12	8	12	0
6	E	Конструювання	D	8	12	20	12	20	0
7	F	Впровадження	C	2	8	10	14	16	6
8	G	Новий персонал	F	4	10	14	16	20	6
9	H	Документування	F	2	10	12	18	20	8
10	I	Фінансовий звіт	B	5	5	10	18	23	13
11	J	Підвищення кваліфікації	E, G, H	3	20	23	20	23	0
12						23			
13					Мінімальна тривалість				

Рис. 8. Зворотний хід алгоритму

Технологія AoA

За цією класичною технологією побудова мережевого графіка, що складається з робіт-дуг та подій-вузлів, є обов'язковою процедурою, оскільки лише на графіку можна побачити порушення одного з базових правил методу критичного шляху (CPM), а саме – наявність паралельних робіт між певною парою вузлів. На рис. 9,а зображено початковий варіант, що реалізує задану вище проектну таблицю, де видно, що робота С вимушено зображена двічі, а дві роботи G та H – паралельні, тож після корекції мережевий графік (рис. 9, б) має 9 вузлів-подій, з них вузол 8 фіктивний, та 12 дуг-робіт, з них дуги 5-3 та 8-7 – фіктивні³.

Лише тепер можна задати оновлену проектну таблицю, на основі якої формуються, не одна, а дві розрахункові таблиці: для подій та робіт. З-за неоднозначності технології AoA ці дві таблиці, якщо розроблені різними виконавцями, можуть бути різними, що практично унеможливує колективну роботу з управління крупним проектом за технологією AoA.

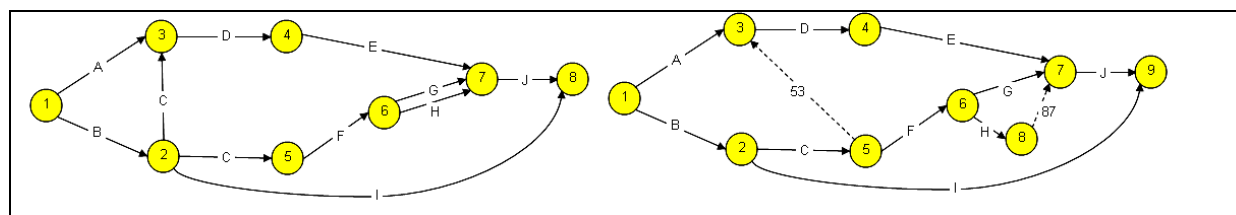


Рис. 9. Побудова мережевого графіка (AoA)

Обмежимося реалізацією цього мережевого графіка у вигляді кліткового автомату, для цього кожен вузол-подію представимо його шаблоном,

³ для «розпаралелення» двох робіт (G та H) існує 4 варіанти – звідси неоднозначність технології AoA

елементами якого є характеристики самої події та робіт, що входять у цей вузол [11].

Розрахунок часових характеристик мережі базується на фундаментальному принципі потокового програмування – збереження (балансу) потоку, що проходить через вузол. Саме цей принцип, що застосовується для пошуку екстремальних шляхів у мережі, став основою методу критичного шляху (J. Kelley, 1957-1959). За цим принципом відшукуються максимальні шляхи до кожного j-го вузла за формулою: $t(j) = \max\{t(i) + t_{ij}\}$, де: $i \in P(j)$, $P(j)$ – підмножина вузлів, які зв’язані з j-им вузлом роботами, рис. 10.

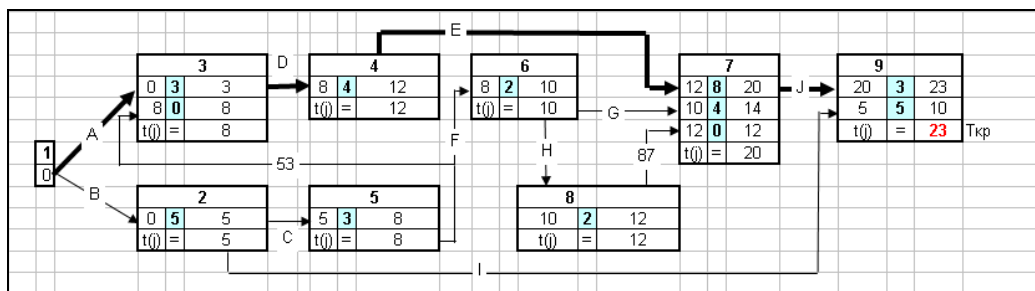
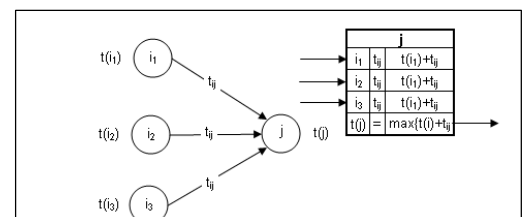


Рис. 10

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Основним результатом даного дослідження стали дві уніфіковані формули, за допомогою яких з’явилась можливість здійснювати мережеве моделювання навчальних чи реальних проектів фактично будь-якого розміру у доступному для усіх користувачів середовищі Excel. Наведена методика доповнена звичайними розрахунками за унікальними формулами, побудовою розрахункової документації на основі кліткових автоматів та діаграми Гантта.

Наступні етапи дослідження з проблематики мережевого моделювання динамічних процесів стосуються розробки математичних моделей задач оптимізації, формування та прийняття управлінських рішень на результатах моделювання. Щодо управління проектами мова йде, зокрема, про розробку комбінованих (формульних та оптимізаційних) методик та специфічних (неальтернативних [2]) моделей, які враховують різноманітні відносини між роботами, ресурсні обмеження та вартісні оцінки параметрів проекту.



Використані джерела інформації:

1. Kelley J., Walker M. Critical Path Planning and Scheduling, Proc. of the Eastern Joint Comp. Conf., 1959
2. PERT. Summary Report Phase 1, Special Project Office, Bureau of Ordinance, Dept. of the Navy, 1958

3. Fondahl J. Non-Computer Approach to the Critical Path Method for the Construction Industry, Stanford Univ., 1961
4. Ford L.R., Fulkerson D.R. Flows in Networks, Princeton Univ. Press, Princeton, N.J., 1962
5. Fulkerson D.R. Expected critical path lengths in PERT networks// OR, vol. 10, № 3, 1962
6. Ragsdale C. The Current State of Network Simulation in Project Management Theory and Practice, Omega: The International J. of Management Science, Vol. 17, No. 1, 1989, pp. 21-25.
7. Hillier F.S., Hillier M.S., Lieberman G.J. Introduction to Management Science. – Boston, MA, Irwin-McGraw-Hill, 2000. – 986 p.
8. Ragsdale C. Spreadsheet Modeling and Decision Analysis: A Practical Introduction to Management Science, 3-nd ed. – Cincinnati, Ohio: South-Western College Publishing, 2000. – 744 p.
9. Seal K.C. A Generalized PERT/CPM Implementation in a Spreadsheet, *INFORMS Transactions On Education*, Vol. 2, No 1, 2001, pp. 16-26.
10. Мур Дж., Уэдерфорд Л. Экономическое моделирование в MS Excel, 6-е изд.: Пер. с англ. – М.: «Вильямс», 2004. – 1024 с.
11. Математические основы управления проектами: уч. пос./ С.А. Баркалов и др. Под ред. В.Н. Буркова. – М.: Высш. шк., 2005. – 423 с.
12. Кузьмичов А.І. Математичне програмування в MS Excel: Навч. пос. – К.: Вид-во Європ. ун-ту, 2005. – 320 с.
13. Управление проектом. Основы проектного управления: учебник/ кол. авт.; под ред. проф. М.Л. Разу. – М.: КНОРУС, 2007. – 768 с.
14. Kuzmychov A. Operations Research: Optimization models for Decision-making: Навч. пос. – К.: АМУ, 2007. – 270 с.
15. Кузьмичов А.І. та ін. Табличний аналог електронних моделей задач потокової оптимізації// Електроніка та системи управління. – 2008. - №4(18). С.121-129.

Рецензент: д.т.н. Асланян А.Е.