

# 4

## PHƯƠNG PHÁP LẬP VÀ ĐIỀU HÀNH TIẾN ĐỘ THI CÔNG THEO SƠ ĐỒ MẠNG

---

### 4.1. KHÁI NỆM

Thông thường trong xây dựng người ta sử dụng phương pháp của Gant (sơ đồ ngang) để lập, biểu diễn, điều hành và quản lý tiến độ thi công. Ngoài việc đơn giản tiện lợi, sơ đồ ngang có những nhược điểm sau:

- Không thể hiện rõ và chặt chẽ mối quan hệ về công nghệ và tổ chức giữa các công việc
- Không chỉ ra được những công việc quan trọng quyết định sự hoàn thành đúng thời gian (pháp lệnh) của tiến độ
- Không cho phép bao quát được quá trình thi công những công trình phức tạp
- Dễ bỏ sót công việc khi quy mô công trình lớn
- Khó dự đoán được sự ảnh hưởng của tiến độ thực hiện từng công việc đến tiến độ chung.
- Trong thời gian thi công nếu tiến độ có trục trặc khó tìm được nguyên nhân và giải pháp khắc phục.

Để khắc phục được các nhược điểm trên, khi xây dựng các công trình phức tạp, quy mô lớn, người ta dùng sơ đồ mạng (SĐM) để lập tiến độ thi công.

Sơ đồ mạng là tên chung của nhiều phương pháp như CPM, MPM, PERT. Sơ đồ mạng ra đời vào những năm cuối của thế kỷ 19, được hoàn thiện và áp dụng ở Mỹ vào năm 1958. Cơ sở toán học của sơ đồ mạng là lý thuyết đồ thị.

Sơ đồ mạng có những ưu điểm sau:

- Cho thấy mối quan hệ chặt chẽ về công nghệ, tổ chức giữa các công việc.
- Chỉ ra được những công việc quan trọng, quyết định đến thời hạn hoàn thành công trình (các công việc này như sau này gọi là công việc "găng"). Do đó người quản lý biết tập trung chỉ đạo có trọng điểm.
- Loại trừ được những khuyết điểm của sơ đồ ngang.



Nếu chúng ta quy ước:

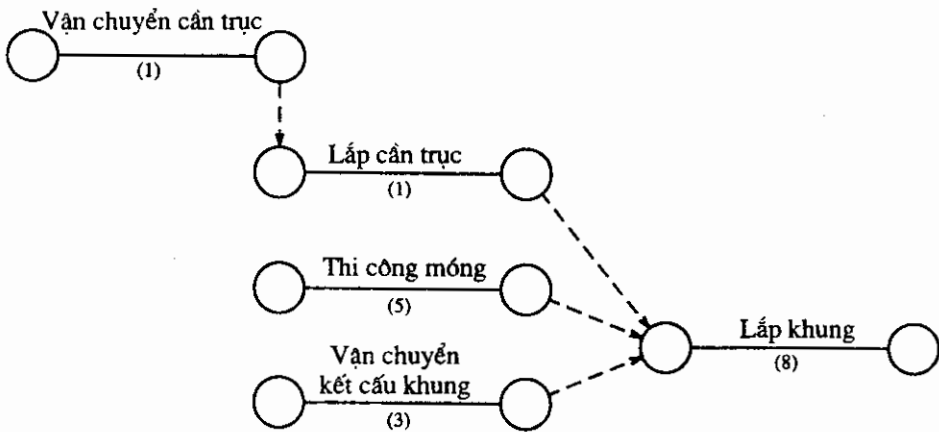
Kí hiệu công việc bằng mũi tên nét liền (không có tỷ lệ)

Dùng vòng tròn để đánh dấu thời điểm bắt đầu và thời điểm kết thúc công việc (vòng tròn được gọi là sự kiện)

Mối quan hệ về tổ chức và công nghệ được biểu diễn bằng mũi tên nét đứt

Tên công việc và thời gian thực hiện, tài nguyên thi công được trực tiếp ghi trên mũi tên công việc

Tiến độ thi công trên được biểu diễn dưới dạng mô hình mới như sau (hình 4.1):



Hình 4.1. Tiến độ thi công biểu diễn bằng mạng

Các công việc vận chuyển cần trục, làm móng, vận chuyển kết cấu khung có cùng mốc bắt đầu, để đơn giản ta dùng chung một vòng tròn sự kiện, ta có một hình mới (hình 4.2). Đó là sơ đồ mạng thể hiện tiến độ trên.

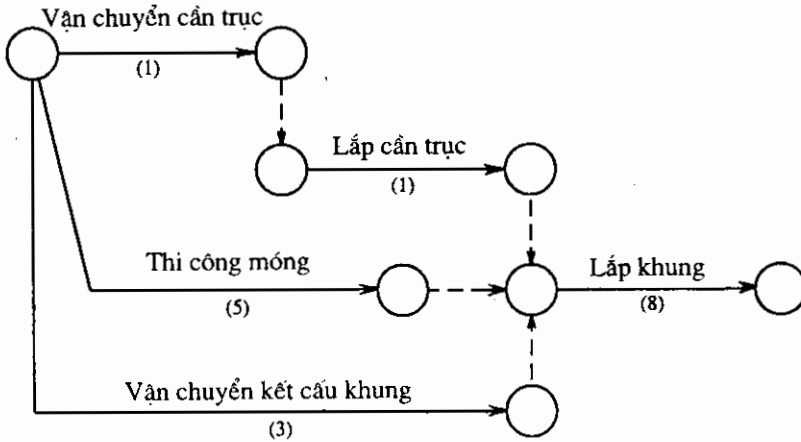
### 4.3. CÁC BỘ PHẬN CỦA SĐM

#### 1. Công việc

Công việc là một hay tập hợp quá trình lao động cần phải chi phí thời gian và tài nguyên thi công.

Trên SĐM, công việc được biểu diễn bằng mũi tên liên nét không có tỷ lệ liên quan đến thời gian thực hiện công việc. Phía trên mũi tên ghi tên công việc, phía dưới mũi tên ghi thời gian thực hiện công việc.

Ví dụ: công việc lắp cần trục ở hình 4.2.



Hình 4.2. Sơ đồ mạng (SDM) của tiến độ thi công

## 2. Sự chờ đợi

Sự chờ đợi là một quá trình thi công cần chi phí thời gian mà không cần chi phí tài nguyên thi công.

Ví dụ: công việc chờ bê tông đạt cường độ (để tháo ván khuôn)

Thực chất công việc chờ đợi là các gián đoạn kỹ thuật. Trên SDM, sự chờ đợi được biểu diễn bằng mũi tên liền nét với các chỉ dẫn về thời hạn và tên của sự chờ đợi.

## 3. Sự phụ thuộc (công việc ảo)

Chỉ mối liên quan (về mặt công nghệ và tổ chức) giữa hai hoặc nhiều công việc. Nó nói lên rằng sự khởi công của công tác này phụ thuộc vào sự kết thúc của công tác kia.

Ví dụ: trên hình 4.1- công tác lắp khung chỉ được bắt đầu khi các công việc làm móng, vận chuyển kết cấu khung, lắp cần trục đều hoàn thành. Công tác ảo có thời gian và chi phí tài nguyên bằng không.

## 4. Sự kiện

Là mốc đánh dấu sự bắt đầu hay sự kết thúc của một hoặc vài công việc (để công việc tiếp theo có thể bắt đầu được)

Trong SDM, sự kiện được biểu diễn bằng vòng tròn có đánh số thứ tự.

Sự kiện luôn có hai ý nghĩa: đối với công việc liền trước thì nó là mốc đánh dấu sự kết thúc công việc. Đối với công việc liền sau thì nó là mốc đánh dấu sự bắt đầu công việc (liền sau) đó.

Sự kiện không có công việc liên trước là sự kiện bắt đầu (khởi công). Sự kiện không có công việc liên sau gọi là sự kiện kết thúc SDM (sự kiện hoàn thành sau cùng).

**5. Đường trong SDM**

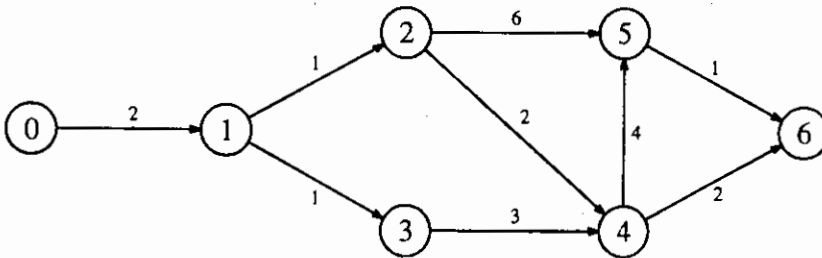
Đường trong SDM là một chuỗi liên tục các công việc trên SDM theo hướng xác định (chiều mũi tên). Chiều dài của đường bằng tổng thời gian thực hiện của các công việc đó.

- *Đường liền trước sự kiện*

Đường liền trước sự kiện *i* là một dãy liên tục các công việc đi từ sự kiện đầu (khởi công) đến sự kiện *i*. Một sự kiện có thể có một hay nhiều đường liền trước. Ví dụ trên hình 4.3, sự kiện 1 có một đường liền trước là đường 0-1. Sự kiện 5 có 3 đường liền trước là 0-1-2-5; 0-1-2-4-5 và 0-1-3-4-5.

- *Đường liền sau sự kiện*

Đường liền sau sự kiện *i* là một dãy liên tục các công việc đi từ sự kiện *i* đến sự kiện hoàn thành (kết thúc) SDM. Một sự kiện có thể có một hay nhiều đường liền sau. Ví dụ trên hình 4.3, sự kiện 5 có một đường liền sau đường 5-6. Sự kiện 2 có 3 đường liền sau là 2-4-6, 2-5-6, 2-4-5-6. Đường nối hai sự kiện *i-r* là tập hợp liên tục các công việc theo hướng xác định từ sự kiện *i* đến sự kiện *r*.



Hình 4.3. Các bộ phận của sơ đồ mạng

- *Đường xuyên mạng*

Là một dãy liên tục các công việc xuất phát từ sự kiện đầu (khởi công), kết thúc ở sự kiện cuối (hoàn thành) – đường nối sự kiện đầu và cuối của SDM.

Ví dụ: hình 4.3 có năm đường xuyên mạng

$$0 - 1 - 2 - 4 - 6$$

$$0 - 1 - 3 - 4 - 6$$

$$0 - 1 - 2 - 5 - 6$$

$$0 - 1 - 3 - 4 - 5 - 6$$

$$0 - 1 - 2 - 4 - 5$$

- *Đường gãy trong sơ đồ mạng*

Trong tất cả các đường xuyên của SDM, đường có chiều dài lớn nhất được gọi là đường gãy. Trong một SDM có thể có nhiều đường gãy.

Ví dụ: hình 4.2 ta có năm đường xuyên với chiều dài tương ứng là:

$$L_{0-1-2-4-6} = 2 + 1 + 2 + 2 = 7$$

$$L_{0-1-2-5-6} = 2 + 1 + 3 + 1 = 7$$

$$L_{0-1-2-4-5-6} = 2 + 1 + 2 + 4 + 1 = 10$$

$$L_{0-1-3-4-5-6} = 2 + 1 + 3 + 4 + 1 = 11 \Rightarrow L_{\max}$$

$$L_{0-1-3-4-6} = 2 + 1 + 3 + 2 = 8$$

Vậy đường gãy của SDM là đường:  $0 - 1 - 3 - 4 - 5 - 6$  đi qua các sự kiện 0, 1, 3, 4, 5, 6 với chiều dài 11.

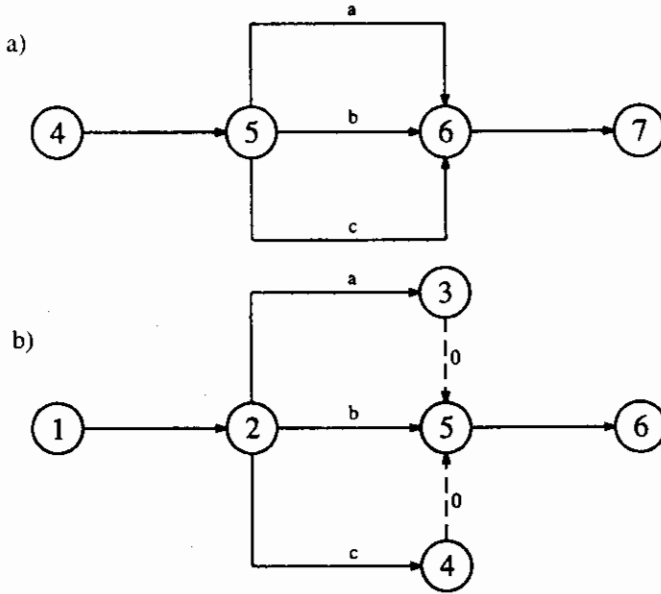
## 4.4. CÁC NGUYÊN TẮC VẼ SƠ ĐỒ MẠNG VÀ TRÌNH TỰ LẬP SƠ ĐỒ MẠNG

### 1. Nguyên tắc vẽ sơ đồ mạng

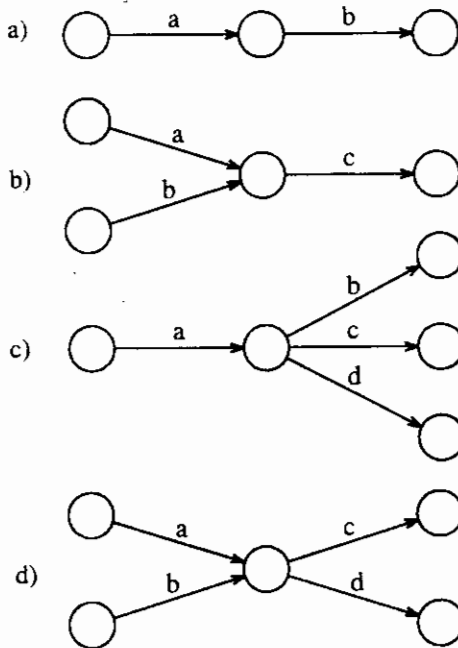
- Mỗi công việc là một cung định hướng theo trục thời gian thể hiện bằng mũi tên (các mũi tên công việc phải hướng từ trái sang phải).
- SDM phải đơn giản, các công việc phải giao cắt nhau ít nhất.
- SDM phải gọn, số sự kiện phải tối thiểu, không có sự kiện thừa.
- Mỗi công việc được giới hạn bằng hai sự kiện đầu và cuối, hai công việc khác nhau phải khác nhau ít nhất một sự kiện.

Ví dụ: trong trường hợp nhiều công việc tiến hành song song không được kí hiệu bởi cùng một sự kiện đầu và một sự kiện kết thúc công việc (hình 4.4a). Để biểu diễn các công việc đó ta thêm vào hai sự kiện (sự kiện phụ) và các phụ thuộc tương ứng (hình 4.4b).

Ba công việc a, b, c cùng được tiến hành song song. Biểu diễn như hình 4.4a là sai bởi vì ba công việc đó cùng có sự kiện bắt đầu và sự kiện kết thúc nên ba chập làm một nhất là khi mã hóa công việc bằng số của sự kiện máy tính không phân biệt được.



**Hình 4.4. Thể hiện công việc làm song song**  
 a) Thể hiện sai; b) Thể hiện đúng



**Hình 4.5. Thể hiện sự phụ thuộc của công việc**  
 a) b phụ thuộc a; b) c phụ thuộc a và b;  
 c) b, c, d cùng phụ thuộc a; d) c và d cùng phụ thuộc a và b.

- Sự phụ thuộc bắt đầu của công việc sau vào công việc trước thể hiện trên hình 4.5, cụ thể như sau:

Hình 4.5a: sự bắt đầu của công việc b chỉ phụ thuộc công việc a.

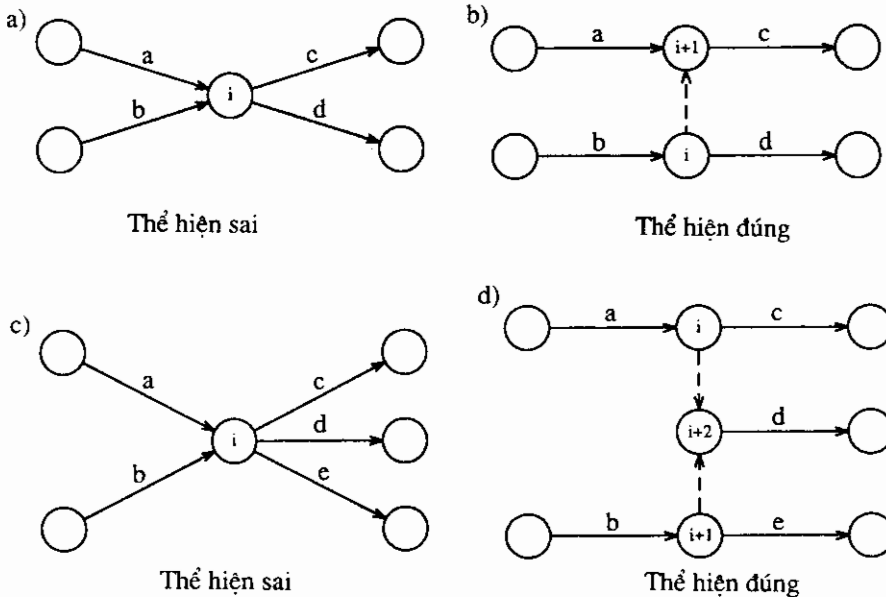
Hình 4.5b: công việc c bắt đầu phụ thuộc vào kết thúc hai công việc a và b.

Hình 4.5c: nhiều công việc b, c, d bắt đầu phụ thuộc kết thúc một việc a.

Hình 4.5d: hai công việc c, d bắt đầu phụ thuộc vào hai công việc a và b.

- Nếu một nhóm việc phụ thuộc không giống nhau vào kết thúc của nhóm việc trước thì phải thêm sự kiện và các mối liên hệ tương ứng để thể hiện (phương pháp tách nút) (hình 4.6)

Trường hợp công việc c phụ thuộc vào kết thúc của hai việc a, b nhưng d chỉ phụ thuộc vào b, nếu thể hiện như hình 4.6a là sai vì d không phụ thuộc a, vậy sự kiện phải tách làm hai, thêm phụ thuộc giữa chúng ta được hình 4.6b là đúng.



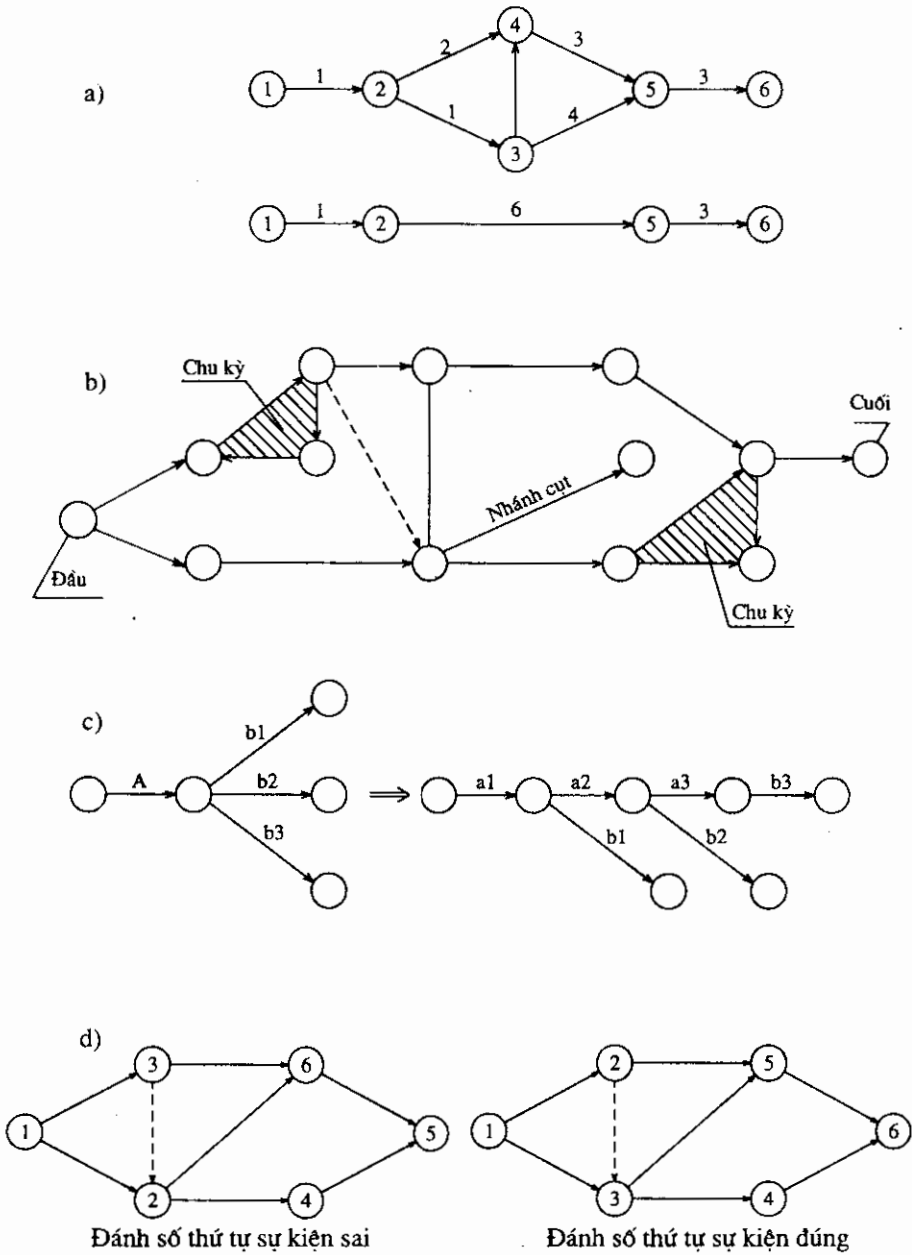
**Hình 4.6. Tách nút thể hiện sự phụ thuộc**

- a, c) Nút  $i$  không tách, thể hiện sai; b) Nút  $i$  tách làm hai sự kiện thể hiện đúng;  
d) Nút  $i$  tách làm ba sự kiện thể hiện đúng.

Trường hợp ba công việc c, d, e phụ thuộc khác nhau vào a, b, công việc c chỉ phụ thuộc a, công việc e chỉ phụ thuộc b nhưng d lại phụ thuộc cả hai a và b. Nếu thể hiện như hình 4.6c là sai, ta phải tách sự kiện  $i$  làm ba sự kiện và thêm các phụ thuộc tương ứng ta được hình 4.6d là đúng.



- Một nhóm công việc trong sơ đồ mạng có thể thay thế bằng một công việc gộp nếu trong nhóm công việc đó có một sự kiện bắt đầu và một sự kiện kết thúc, thời gian thực hiện của công việc thay thế phải có thời gian bằng thời gian của đoạn đường xuyên dài nhất qua hai sự kiện đầu, cuối của nhóm (hình 4.7a)



Đánh số thứ tự sự kiện sai

Đánh số thứ tự sự kiện đúng

**Hình 4.7. Thể hiện các công việc trong SDM**

- a) Thay nhóm công việc thành một công việc;
- b) Trong SDM không có chu kỳ, không có nhánh cut;
- c) Chia một việc làm nhiều việc kết hợp II;
- d) Đánh số sự kiện.

- Trong một SDM chỉ có một sự kiện đầu (chỉ có công việc đi ra) và một sự kiện cuối (chỉ có công việc đi vào). SDM không được có chu trình và không được có nhánh cụt (hình 4.7b). Khi lập SDM nếu thấy có công việc sau khi kết thúc không có công việc nào liền sau để khử dạng nhánh cụt ta nhập sự kiện kết thúc của công việc đó vào sự kiện hoàn thành SDM.
- Nếu có một số công việc có thể bắt đầu khi công việc trước chưa kết thúc thì nên chia nhỏ công việc trước ra nhiều công việc, mỗi công việc có khối lượng đủ để cho các công việc sau có thể bắt đầu được (hình 4.7c)
- Đánh số cho các sự kiện từ trái qua phải, từ trên xuống dưới, mỗi số chỉ được đặt cho một sự kiện, các số thứ tự đặt cho sự kiện không buộc tuân theo trình tự nhất định nhưng phải thoả mãn nguyên tắc: hai sự kiện của một công việc số sự kiện sau phải lớn hơn số sự kiện trước (hình 4.7d).

## 2. Các bước lập tiến độ theo phương pháp SDM (hình 4.8)

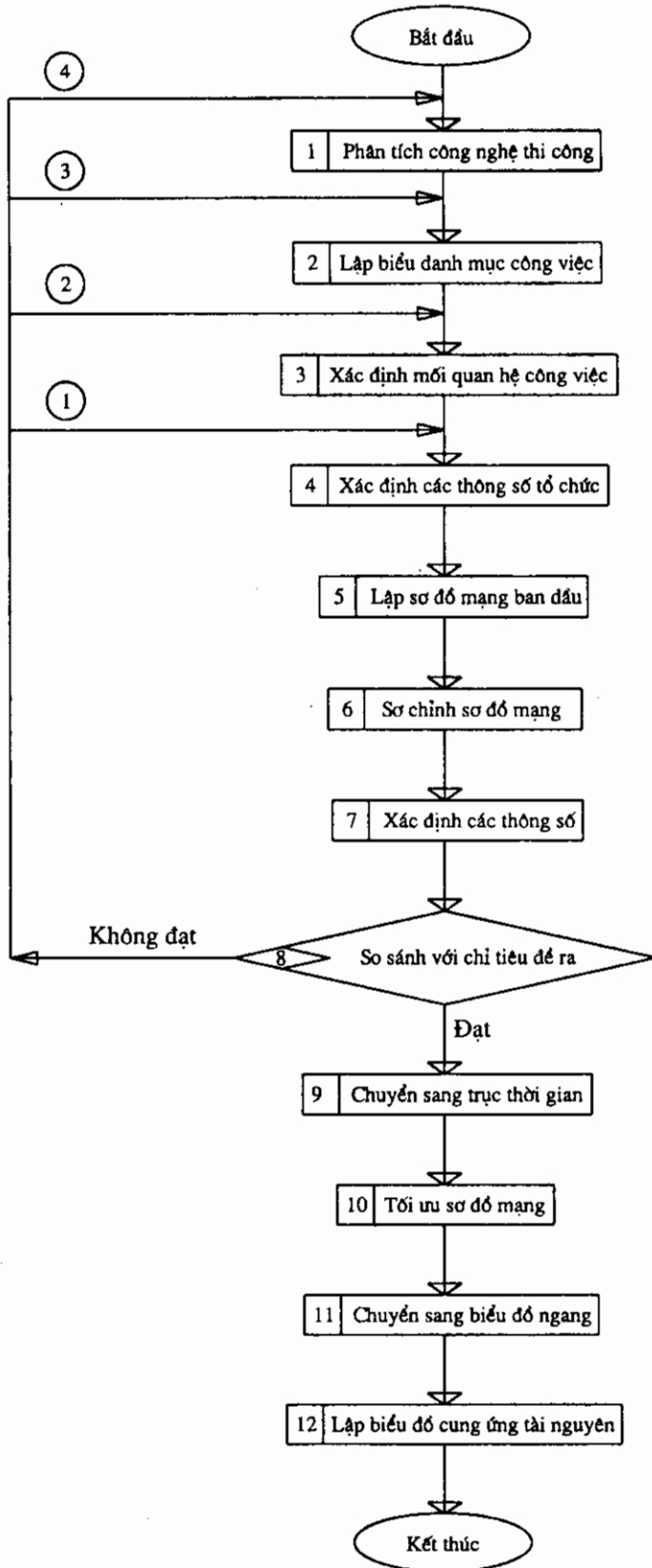
*Bước 1:* Phân tích công nghệ thi công xây dựng của công trình.

*Bước 2:* Phân chia lập biên danh mục công việc.

*Bước 3:* dựa trên kết quả phân tích các bước 1, 2, 3, ta xác định các mối quan hệ bắt buộc giữa các công việc. Quan hệ chủ yếu là kết thúc công việc trước – bắt đầu công việc sau (F – S). Nó được chia làm hai loại: quan hệ công nghệ và quan hệ tổ chức. Quan hệ công nghệ dựa theo quy trình thi công công việc. Quan hệ tổ chức ta chỉ đưa vào những quan hệ mang tính tổ chức không thể không đưa vào. Vì thiếu sẽ làm cho phương án thi công thay đổi (ví dụ việc sử dụng chung một cần trục hay máy bơm bê tông cho hai công việc a và b là bắt buộc thì điều kiện phải đưa vào là b bắt đầu sau khi a kết thúc mặc dù giữa a và b không có mối liên hệ công nghệ. Trái lại những ý đồ tổ chức không có lý do bắt buộc ta không đưa vào để SDM sẽ linh hoạt hơn, mô hình sản xuất sẽ mềm hơn, nó sẽ tạo điều kiện cho người điều hành năng động trong sản xuất.

*Bước 4:* Xác định khối lượng công việc theo danh mục đã lập.

*Bước 5:* lập sơ đồ mạng ban đầu: căn cứ mối quan hệ thiết lập ở bước 4, vận dụng các nguyên tắc về SDM, ta vẽ SDM ban đầu. Yêu cầu của sơ đồ mạng ban đầu là thể hiện hết các công việc với đầy đủ các mối quan hệ bắt buộc.



Hình 4.8. Các bước lập sơ đồ mạng

*Bước 6:* sơ chỉnh SDM: thường SDM ban đầu vừa lập chưa có hình dạng đơn giản, rõ ràng. Để có SDM hợp lý ta tiến hành đơn giản hóa SDM ban đầu. Trước tiên loại trừ những sự kiện, những mối liên hệ thừa bằng cách nhập nhiều sự kiện giống nhau làm một, loại bỏ những mối liên hệ (thường là công việc ảo) trùng lặp. Tiếp sau là di chuyển những sự kiện có thể để giảm sự cắt nhau giữa các công việc. Cuối cùng vẽ lại (không theo tỷ lệ) để SDM có hình dáng cân đối dễ nhìn, khoảng cách giữa các sự kiện vừa phải để ghi các số liệu cần thiết phù hợp cho tính toán (xem ví dụ hình 4.9).

*Bước 7:* xác định các thông số của SDM. Đây là bước quan trọng (có thể thực hiện bằng máy tính) xác định các thông số cần thiết theo các quy tắc sẽ trình bày ở các mục sau.

*Bước 8:* so sánh các thông số tính được với các tiêu chí đề ra (chỉ tiêu mục đích). Thông thường người ta quan tâm đầu tiên là độ dài đường găng, sau đó là các chỉ số về tiêu thụ tài nguyên, tùy theo mục đích của từng công trình. Nếu đạt tiêu chí ta chuyển sang bước 9 nếu không đạt ta phải quay lại theo vòng 1, 2, 3, 4.

Vòng 1: quay lại bước 4 để điều chỉnh các chỉ số tổ chức, tăng giảm nhân lực, máy móc, tổ chức lại các tổ để thay đổi thời gian thi công. Các bước 5, 6, 7, 8 lặp lại. Nếu vòng 1 không đạt chỉ tiêu ta chuyển sang vòng 2.

Vòng 2: quay lại bước 3 kiểm tra lại các mối quan hệ đã đưa vào, tìm kiếm những mối quan hệ không gây ảnh hưởng lớn đến công nghệ thi công (không bắt buộc) hoặc có thể thay đổi được để giải phóng SDM khỏi những ràng buộc đó. Kết quả ta được một SDM mới các bước tiếp theo được lặp lại để tính toán thông số mới.

Như vậy vòng 1 và 2 chỉ thay đổi trên SDM, số công việc không có gì thay đổi so với ban đầu. Hai vòng này là thay đổi cách thức tổ chức thực hiện công việc, nếu chưa đạt ta thực hiện hai vòng tiếp theo.

Vòng 3: quay lại bước 2 nghĩa là thay đổi phân chia công việc, thay đổi số tổ thợ, thay đổi mức độ chuyên môn hóa công việc. Nếu chưa đạt ta chuyển sang vòng 4.

Vòng 4 : quay lại bước 1 – nghĩa là bắt đầu lại công việc lập kế hoạch sản xuất, có sự thay đổi một phần công nghệ thi công. Thay đổi một số công nghệ có thể rút ngắn thời gian thi công hoặc ngược lại để đạt mục tiêu đề ra. Khi phải thay đổi lại công nghệ thi công có nghĩa là ta phải tìm một biện pháp thi công khác. Khi đó tất cả phải làm lại từ đầu.

Tuy nhiên các vòng 1, 2, 3, 4 sẽ được thực hiện lần lượt và quay nhiều vòng. Chỉ khi nào không giải quyết được ở vòng này mới chuyển sang vòng sau. Vì tính phức tạp tăng dần theo vòng điều chỉnh.

**Bước 9:** để dễ quan sát ta chuyển SDM sang trục thời gian để phục vụ nhiều mục đích tiếp theo.

**Bước 10:** khi SDM ta lập đã đạt các tiêu chí đề ra nhưng vẫn còn dự trữ nhiều khả năng hoàn thiện được ta tiến hành tối ưu nó. Thông thường người ta sử dụng các loại dự trữ để nâng cao các chỉ số mà người xây dựng mong muốn. Hiển nhiên khi tối ưu SDM không được làm thay đổi các tiêu chí theo chiều bất lợi.

**Bước 11:** để tiện cho việc sử dụng nhất là trong trường hợp điều hành tiến độ trên biểu đồ người ta chuyển SDM sang dạng biểu đồ ngang. Trên biểu đồ ngang ta thêm một số thông tin để người sử dụng dễ dàng nhận biết qua trực giác.

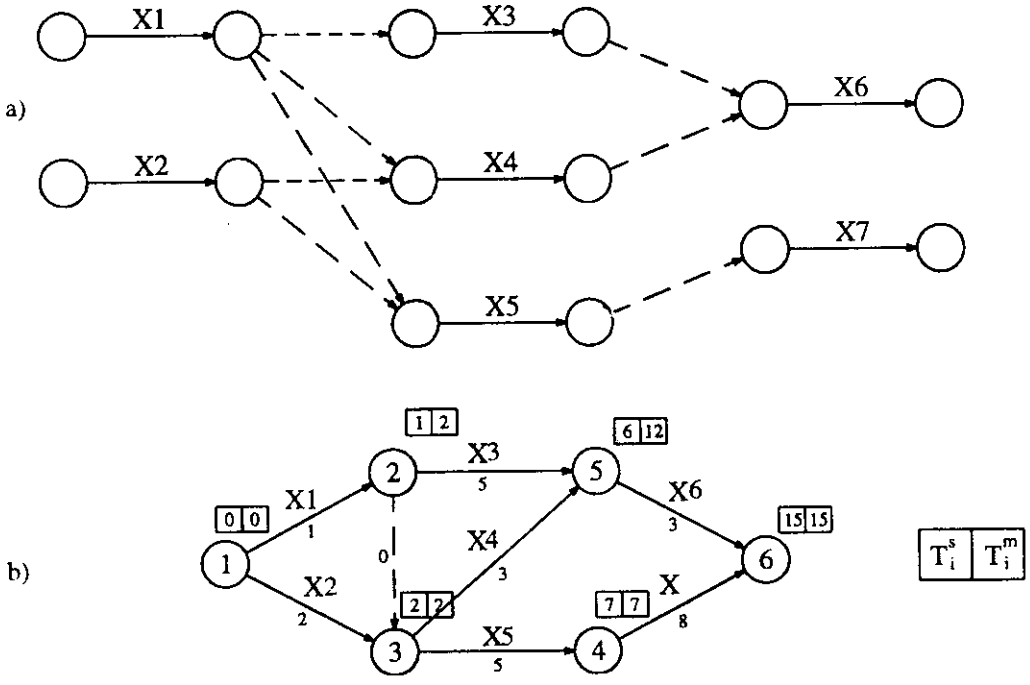
**Bước 12:** lập biểu đồ cung ứng tài nguyên giống như các cách đã trình bày đảm bảo tiến độ thực thi như kế hoạch. Các bước 9, 10, 11 sẽ trình bày cụ thể hơn ở các mục tiếp theo.

Ví dụ: lập SDM gồm các công việc có thời gian thực hiện và trình tự thực hiện (trình tự công nghệ và tổ chức) như bảng dưới (bảng 4.2):

**Bảng 4.2**

TT	Công việc	Thời gian thực hiện, $T_{ij}$	Quan hệ công việc
1	X1	1	Bắt đầu ngay
2	X2	2	Bắt đầu ngay
3	X3	5	Sau X1
4	X4	3	Sau X1, X2
5	X5	5	Sau X1, X2
6	X6	3	Sau X3, X4
7	X7	8	Sau X5

Trên hình 4.9 thể hiện cách lập sơ đồ mạng, bước đầu thể hiện các công việc và các mối liên hệ (hình 4.9a) Theo bảng 4.2 sau đó chỉnh lý để được sơ đồ mạng (hình 4.9b)



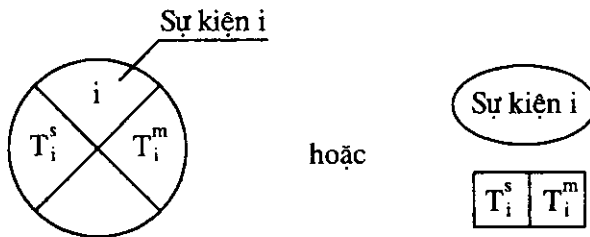
Hình 4.9. Lập và vẽ chỉnh lý SDM

a) Lập theo quan hệ công việc; b) Sau khi điều chỉnh và tính  $T_i^s, T_i^m$

## 4.5. CÁC THÔNG SỐ CỦA SDM

### 4.5.1. Thông số sự kiện

Một sự kiện  $i$  có ba thông số chính (hình 4.10)



Hình 4.10. Thông số của sự kiện

#### 1. Thời điểm sớm của sự kiện

$T_i^s$  - là thời điểm sự kiện  $i$  có thể xuất hiện sớm nhất. Từ sự kiện đầu có nhiều đường dẫn đến sự kiện  $i$ , các con đường này có độ dài khác nhau.

Con đường dài nhất quyết định sự xuất hiện sự kiện  $i$  sớm nhất, vì muốn sự kiện  $i$  xuất hiện khi và chỉ khi tất cả các sự kiện liền trước  $i$  đã hoàn thành. Vậy ta có:

$$T_i^s = \max L_{1+i} . \tag{4.1}$$

Từ đó ta có thể suy ra cách tìm  $T_i^s$  bằng cách tìm tất cả các con đường từ sự kiện đầu đến sự kiện đang xét, độ dài của con đường dài nhất là thời điểm xuất hiện sự kiện.

Ví dụ: tìm thời điểm  $T_6^s$  trên hình 4.9

$$T_6^s = \max \begin{cases} L_{1-2-5-6} = 1 + 5 + 3 = 9 \\ L_{1-2-3-5-6} = 1 + 0 + 3 + 3 = 7 \\ L_{1-3-5-6} = 2 + 3 + 3 = 8 \\ L_{1-3-4-6} = 2 + 5 + 8 = 15 \end{cases} = 15$$

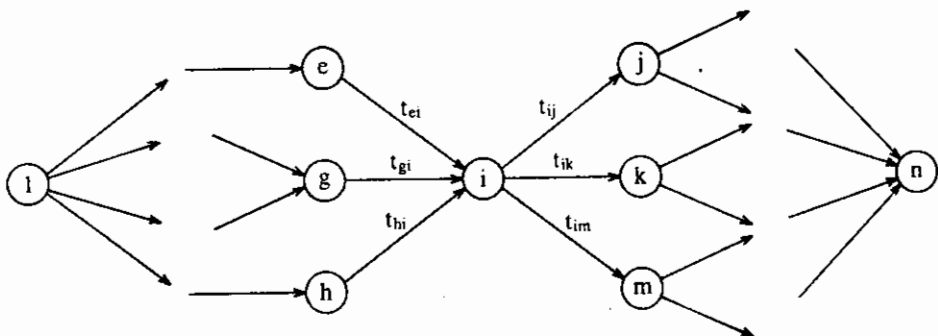
Như vậy để tính được  $T_i^s$  ta phải tính chiều dài của tất cả các đường từ sự kiện 1 đến sự kiện  $i$  tốn rất nhiều công sức. Quan sát kĩ ta thấy liền trước sự kiện  $i$  có nhiều sự kiện (chẳng hạn e, g, h (hình 4.11)) khi đó:

$$\text{Max } L_{1+i} = \max \begin{cases} \max L_{1+e} + t_{ei} \\ \max L_{1+g} + t_{gi} \\ \max L_{1+h} + t_{hi} \end{cases}$$

Theo định nghĩa thì  $\max L_{1+e} = T_e^s$

$\max L_{1+g} = T_g^s$

$\max L_{1+h} = T_h^s$



Hình 4.11. Sự kiện  $i$  trong sơ đồ mạng

Vậy ta có thể viết:

$$\max L_{1:i} = \max \begin{vmatrix} T_e^s + t_{ei} \\ T_g^s + t_{gi} \\ T_h^s + t_{hi} \end{vmatrix}$$

Từ đó ta có công thức (4.2) xác định  $T^s$ :

$$T_e^s = \max\{T_{e:(g,h)}^s + t_{e:(g,h)i}\}, \quad (4.2)$$

trong đó:  $T_i^s$  - thời điểm sớm của sự kiện  $i$ ;

$T_{g:(h,...s)}^s$  - thời điểm sớm của các sự kiện  $e, g, h \dots$  liền trước  $i$ ;

$t_{g:(h,...s)i}$  - thời gian của các công việc  $gi, hi, \dots ei$  kết thúc tại  $i$ .

Đây chính là công thức tính thời hạn sớm của một sự kiện theo các sự kiện liền trước. Trong trường hợp liền trước  $i$  chỉ có một sự kiện  $h$  thì:

$$T_i^s = T_h^s + t_{hi}.$$

Như vậy khi tính thời hạn sớm của một sự kiện ta luôn xuất phát từ sự kiện khởi công (từ trái sang phải)

Ví dụ: lấy lại ví dụ hình 4.9

$$T_1^s = 0;$$

$$T_2^s = T_1^s + t_{1-2} = 0 + 1 = 1$$

$$T_3^s = T_1^s + t_{1-3} = 0 + 2 = 2$$

$$T_4^s = T_3^s + t_{3-4} = 2 + 5 = 7$$

$$T_5^s = \max \begin{vmatrix} T_2^s + t_{2-5} = 1 + 5 \\ T_4^s + t_{4-6} = 2 + 3 \end{vmatrix} = 6$$

$$T_6^s = \max \begin{vmatrix} T_4^s + t_{4-6} = 6 + 3 \\ T_5^s + t_{5-6} = 7 + 8 \end{vmatrix} = 15$$

## 2. Thời điểm muộn của sự kiện

$T_i^m$  - là thời điểm sự kiện  $i$  có thể xuất hiện muộn nhất không làm ảnh hưởng đến xuất hiện của sự kiện cuối cùng. Nói cách khác, thời điểm xuất hiện muộn của sự kiện không làm kéo dài đường găng của SDM.

$$T_i^m + \max \{L_{in}\} = L_{g\acute{a}ng} \quad \text{hay} \quad T_i^m = L_{g\acute{a}ng} - \max \{L_{in}\} \quad (4.3)$$

trong đó:  $\{L_{in}\}$  - tập hợp tất cả các đường từ  $i$  đến  $n$ ;



Trường hợp sau i có nhiều đường đến sự kiện cuối cùng, nếu tìm đủ tất cả các đường đó tốn nhiều công sức ta viết cách khác:

$$T_i^m = \min \{ L_g - L_{in} \}. \tag{4.4}$$

Giả sử sau i có các sự kiện j, k, l, m (hình 4.11) ta chỉ chú ý những đường có độ dài lớn nhất từ các sự kiện j, k, l ... m đến n; đó là tập hợp:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max L_{j \rightarrow n} \\ \max L_{k \rightarrow n} \\ \dots\dots\dots \\ \max L_{m \rightarrow n} \end{array} \right\} \Rightarrow \max L_{i \rightarrow n} = \max \left\{ \begin{array}{l} \max L_{j \rightarrow n} + t_{ij} \\ \max L_{k \rightarrow n} + t_{ik} \\ \dots\dots\dots \\ \max L_{m \rightarrow n} + t_{im} \end{array} \right\} \tag{4.5}$$

Thay (4.5) vào (4.3) ta được:

$$T_i^m = L_{g\acute{a}ng} - \max \left\{ \begin{array}{l} \max L_{j \rightarrow n} + t_{ij} \\ \dots\dots\dots \\ \max L_{m \rightarrow n} + t_{im} \end{array} \right\} \tag{4.6}$$

Mặt khác theo (4.3) thì

$$T_{j(k\dots m)}^m = L_{g\acute{a}ng} - \max L_{j:(k\dots m) \rightarrow n}$$

Vậy ta có thể viết (4.6) như sau

$$T_i^m = \min \left\{ \begin{array}{l} T_j^m - t_{ij} \\ T_k^m - t_{ik} \\ \dots\dots\dots \\ T_m^m - t_{im} \end{array} \right\} \tag{4.7}$$

Viết gọn ta được:

$$T_i^m = \min \{ T_{j(k,e\dots m)}^m - t_{i(j,k\dots m)}^m \}, \tag{4.8}$$

trong đó:  $T_{j(k,e\dots m)}^m$  - thời điểm xuất hiện muộn của các sự kiện j, k...m;

$L_{j(k\dots m)n}$  - chiều dài các con đường đi từ sự kiện j, k...m đến sự kiện n

$t_{i(j,k\dots m)}^m$  - thời gian thi công các công việc ij, ik, ... im.

Từ công thức (4.8) ta thấy muốn tìm thời điểm muộn của sự kiện ta tìm giá trị nhỏ nhất của các hiệu  $T^m$  các sự kiện liên sau trừ đi thời gian công việc tương ứng từ sự kiện cần tìm đến các sự kiện đó. Tính  $T^m$  của SDM bắt đầu từ sự kiện cuối cùng ngược chiều mũi tên đến sự kiện đầu.

Trường hợp liên sau  $i$  chỉ có một công việc  $j$  thì :

$$T_i^m = T_j^m - t_{ij} \quad (4.9)$$

Ví dụ : SDM trên hình 4.9 ta có

$$T_6^m = T_6^s = 15$$

$$T_5^m = T_6^m - t_{5,6} = 15 - 3 = 12$$

$$T_4^m = T_6^m - t_{4,6} = 15 - 8 = 7$$

$$T_3^m = \min \begin{cases} T_5^m - t_{3,5} = 12 - 3 \\ T_4^m - t_{3,4} = 7 - 5 \end{cases} = 2$$

$$T_2^m = \min \begin{cases} T_3^m - t_{2,3} = 2 - 0 \\ T_5^m - t_{2,5} = 12 - 5 \end{cases} = 2$$

$$T_1^m = \min \begin{cases} T_2^m - t_{1,2} = 2 - 1 \\ T_3^m - t_{1,3} = 2 - 2 \end{cases} = 0$$

### 3. Dự trữ của sự kiện ( $Z_i$ )

Vì sự kiện  $i$  có thể xuất hiện sớm hoặc muộn nên có dự trữ thời gian:

$$Z_i = T_i^m - T_i^s \quad (4.10)$$

## 4.5.2. Thông số của công việc

### 1. Thời điểm khởi sớm của công việc

$t_{ij}^{kh.s}$  - là thời điểm công việc  $ij$  có thể bắt đầu sớm nhất - công việc  $ij$  bắt đầu từ sự kiện  $i$ .

Sự kiện  $i$  là mốc đánh dấu sự kết thúc của các công việc có sự kết thúc là  $i$ , đồng thời là thời điểm có thể bắt đầu công việc có sự kiện bắt đầu là  $i$ . Bởi vậy công việc  $ij$  chỉ bắt đầu sớm nhất khi sự kiện  $i$  xuất hiện:

$$t_{ij}^{kh.s} = T_i^s. \quad (4.11)$$

Theo (4.1) ta có:

$$T_i^s = \max L_{1,i}$$

Theo (4.2) ta có :

$$t_{i-j}^{kh.s} = \max\{T_{e(g,h)}^s + t_{(e,g,h)j}\} \quad (4.12)$$

trong đó: e, g, h - các sự kiện bắt đầu của các công việc liền trước công việc i-j;  
 $t_{(e, g, h)}$  - thời hạn của các công việc tương ứng ei, gi, hi...

Vì sự kiện khởi công có thời hạn hoàn thành sớm bằng không nên các công việc khởi công cũng có thời hạn bắt đầu sớm bằng không.

$$t_{1j}^{kh.s} = 0. \tag{4.12a}$$

Khi liền trước ij chỉ có một công việc (h-i chẳng hạn) thì từ (4.12):

$$t_{ij}^{kh.s} = t_{hi}^{kh.s} + t_{h-i}. \tag{4.12b}$$

Tính toán thời hạn bắt đầu sớm của công việc được tiến hành từ sự kiện khởi công đến sự kiện hoàn thành theo (4.12a), (4.12b) và (4.12).

### 2. Thời hạn kết thúc sớm (hoàn thành sớm) của công việc $t_{ij}^{hs}$

Vì thời gian thực hiện công việc i-j không đổi nên ta có:

$$t_{ij}^{k.s} = t_{i-j}^{kh.s} + t_{i-j},$$

trong đó:  $t_{i-j}$  - thời gian thực hiện công việc i-j

Mặt khác ta có (4.11):

$$t_{ij}^{kh.s} = T_i^s$$

cho nên

$$t_{ij}^{k.s} = T_i^s + t_{i-j} \tag{4.13}$$

### 3. Thời hạn kết thúc muộn nhất của công việc $t_{ij}^{hm}$

Vì j là sự kiện đánh dấu sự kết thúc công việc ij nên thời điểm xuất hiện muộn nhất của sự kiện j chính là thời điểm công việc phải kết thúc muộn nhất (không được muộn hơn).

$$t_{ij}^{km} = T_j^m. \tag{4.14}$$

Theo (4.9) ta có :

$$T_j^m = \min \{ T_{k(l,m)}^m - t_{j(k,l,m)} \},$$

trong đó: k, l, m - những sự kiện liền sau sự kiện j nên ta có :

$$t_{ij}^{km} = \min \{ T_{k(l,m)}^m - t_{j(k,l,m)} \}. \tag{4.15}$$

Với những công việc kết thúc ở sự kiện cuối cùng n ta có:

$$t_{in}^{km} = T_n^m = T_n^s.$$

Vì vậy tính thời hạn muộn của sự kiện và công việc ta bắt đầu từ sự kiện, công việc cuối cùng của SDM tính ngược chiều mũi tên về sự kiện, công việc khởi công theo (4.9) và (4.15).

#### 4. Thời điểm bắt đầu muộn nhất của công việc $t_{ij}^{kh.m}$

$t_{ij}^{kh.m}$  – thời điểm công việc phải bắt đầu để kết thúc muộn nhất:

$$t_{ij}^{kh.m} = t_{ij}^{k.m} - t_{ij} \quad (4.16)$$

Kết hợp (4.14), (4.15), (4.16) ta có:

$$t_{ij}^{k.m} = \min \{ t_{j(k,l,m)}^{kh.m} \}. \quad (4.15b)$$

Nghĩa là kết thúc muộn của công việc đi trước là bắt đầu muộn sớm nhất của công việc liên sau.

### 4.5.3. Dự trữ thời gian của công việc

Mỗi công việc  $ij$  bị giới hạn bởi hai sự kiện đầu  $i$  và cuối  $j$ . Do sự xuất hiện của sự kiện có thể thay đổi tạo cho công việc có khoảng dự trữ thời gian.

Dự trữ là khoảng thời gian công việc có thể thay đổi sự bắt đầu hay kéo dài thời gian thi công trong phạm vi có thể. Căn cứ vào phạm vi có thể người ta chia dự trữ ra bốn loại như sau (hình 4.12)

#### 1. Dự trữ toàn phần $Z_{ij}^{tp}$ (hay $Z^I$ )

Là khoảng thời gian lớn nhất có thể trì hoãn sự bắt đầu của công việc hoặc kéo dài thời hạn thi công vẫn không làm thay đổi tổng thời hạn xây dựng công trình được tính theo (4.17).

$$Z_{ij}^{tp} = T_j^m - T_i^s - t_{ij} = t_{ij}^{k.m} - t_{ij}^{k.s} = t_{ij}^{kh.m} - t_{ij}^{kh.s}. \quad (4.17)$$

Mặt khác ta có thể viết

$$\begin{aligned} Z_{ij}^{tp} &= L_{gàng} - \max L_{j-n} - \max L_{1-i} - t_{i-j} \\ &= L_{gàng} - (\max L_{j-n} + \max L_{1-i} + t_{i-j}) \\ &= L_{gàng} - \max L_{1-i-j-n} \end{aligned}$$

Vậy dự trữ toàn phần của  $ij$  là dự trữ của đường xuyên dài nhất đi qua  $i-j$ . Nói cách khác  $Z_{ij}^{tp}$  là dự trữ chung cho các công việc nằm trên đường xuyên dài nhất đi qua công việc  $ij$ . Nếu sử dụng hết  $Z_{ij}^{tp}$  thì đường xuyên đó trở thành đường găng.

**2. Dự trữ riêng của công việc**

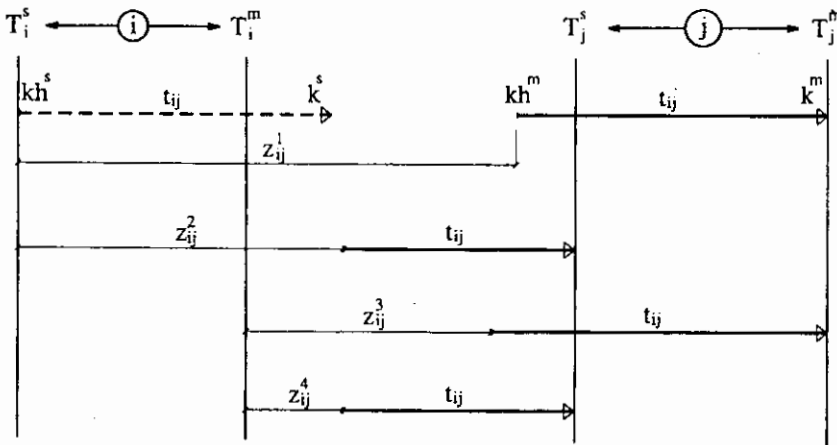
$Z_{ij}^1$  hay  $Z_{ij}^2$  là khoảng thời gian lớn nhất có thể kéo dài hay trì hoãn thời gian bắt đầu công việc, vẫn không làm ảnh hưởng đến bắt đầu sớm của các công việc liên sau.

$$Z_{ij}^2 = T_j^s - T_i^s - t_{ij} = t_{jk}^{kh.s} - t_{ij}^{k.s} , \quad (4.18)$$

trong đó:  $t_{jk}^{kh.s}$  - khởi sớm của những công việc liên sau ij

$Z_{ij}^1$  - dự trữ của riêng ij không chung với công việc phía sau.

Do vậy với mọi công việc có dự trữ riêng ta được phép sử dụng hết với điều kiện các việc đi trước chưa dùng mà vẫn không ảnh hưởng đến dự trữ của các công việc đi sau.



Hình 4.12. Dự trữ của công việc

**3. Dự trữ độc lập  $Z_{ij}^{dl}$  (hay  $Z_{ij}^3$ )**

Là khoảng thời gian có thể bắt đầu chậm hay kéo dài thời hạn thi công công việc ij vẫn không làm ảnh hưởng đến kết thúc muộn của các công việc đi trước:

$$Z_{ij}^{dl} = T_j^m - T_i^m - t_{i-j} . \quad (4.19)$$

Đối với công việc dự trữ độc lập sử dụng được không phụ thuộc các công việc liên trước đã sử dụng dự trữ toàn phần (nếu có). Khi sử dụng dự trữ độc lập thì dự trữ của các việc phía sau sẽ bị ảnh hưởng.

**4. Dự trữ tự do  $Z_{i,j}^{td}$  hay  $Z_{i,j}^4$**

Là khoảng thời gian công việc có thể bắt đầu chậm hay kéo dài thời hạn thi công không làm ảnh hưởng đến kết thúc muộn của việc đi trước và bắt đầu sớm của những việc đi sau:

$$Z_{ij}^{td} = t_j^s - t_i^m - t_{ij}. \quad (4.20)$$

Khi công việc có dự trữ tự do có thể tự do sử dụng không gây ảnh hưởng gì đến những công việc khác (trước cũng như sau).

## 4.6. TÍNH TOÁN SDM

Tính tay với SDM có số sự kiện nhỏ hơn 300, tính máy với số sự kiện lớn hơn 300. Tính toán SDM tức là tính toán tất cả các thông số của nó.

Có hai phương pháp tính toán: *tính trực tiếp trên SDM* (tính theo sự kiện) và *tính theo bảng* (tính theo công việc)

### 1. Tính trực tiếp trên SDM

Trình tự tính toán:

- Chia vòng tròn sự kiện ra bốn phần (để thể hiện tính và ghi kết quả tính toán) (hình 4.13).

Góc phần tư bên trái: ghi thời điểm xuất hiện sớm của sự kiện.

Góc phần tư bên phải: ghi thời điểm xuất hiện muộn của sự kiện.

Góc phần tư phía trên: ghi số thứ tự của sự kiện.

Góc phần tư phía dưới : ghi chỉ số k là số sự kiện bắt đầu của công việc đi vào i khi tính  $t_i^s$  (đường liền trước dài nhất đi qua các sự kiện đó đến i) (mục đích ghi chỉ số k là để khi tính song thời hạn sớm của các sự kiện chúng ta đọc ngay ra đường găng của SDM)

- Tính thông số  $T^s$  và ghi kết quả vào góc phần tư bên trái cho tất cả các sự kiện của SDM (tính từ sự kiện khởi công về sự kiện hoàn thành):

+ Sự kiện khởi công có  $T_i^s = 0$

+ Sự kiện còn lại tính theo công thức (4.21):

$$t_i^s = \max \left\{ T_{(f,g,h)}^s + t_{(f,g,h)i} \right\} \quad (4.21)$$

ở đây f, g, h là sự kiện liền trước,  $t_{(f,g,h)i}$  là thời gian các công việc tương ứng từ fi, gi, hi, ...

- Tính thông số muộn  $T^m$  và ghi kết quả vào góc phần tư bên phải cho các sự kiện theo trình tự từ sự kiện hoàn thành (n) về sự kiện khởi công (1).

$$T_n^s = T_n^m$$

Các sự kiện còn lại tính theo công thức:

$$t_i^m = \min \{ T_{j,k,l}^m - t_{i(j,k,l)} \}, \tag{4.22}$$

trong đó : j, k, l - các sự kiện liên sau ;

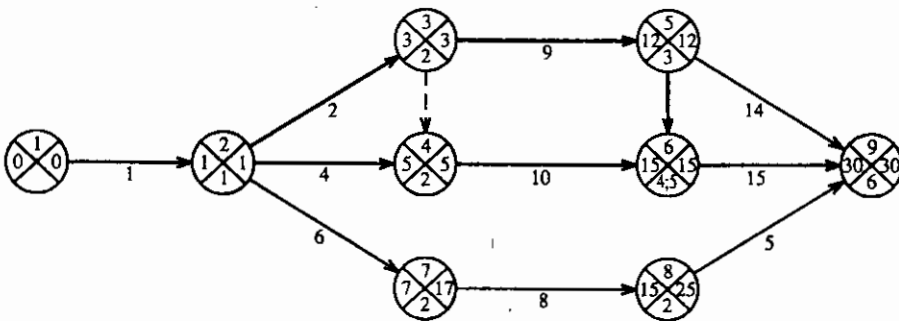
$t_{i(j,k,l)}$  - thời hạn các công việc tương ứng ij, ik, il.

Vẽ đường găng của SDM – nối các sự kiện có  $T^s = T^m$  bằng đường đậm nét từ sự kiện đầu tiên (1) đến sự kiện cuối cùng (n) ta được đường găng. Một SDM có thể có nhiều đường găng.

Tính dự trữ của công việc áp dụng các công thức từ (4.17) (4.18) (4.19) (4.20) ta tìm được các dự trữ cần biết và ghi bên cạnh công việc. Thông thường ta chỉ tính  $Z^1$  và  $Z^2$ .

Lập bảng thống kê các thông số của công việc hoặc quy ước cách ghi các thông số đó trên SDM (để tiện quản lý và điều hành SDM).

Thí dụ tính toán trực tiếp SDM thể hiện trên hình 4.13



Hình 4.13. Tính trực tiếp trên sơ đồ mạng

**2. Phương pháp tính trên bảng (tính theo công việc)**

Lập bảng (4.3) điền các số liệu ban đầu vào các cột 1,2,3 sau đó tiến hành tính các cột còn lại.

Cách tính:

Ví dụ tính SDM trên bảng 4.3.

- Từ số liệu ban đầu điền cùng lúc các cột 1, 2, 3.
- Cột 2 được điền theo thứ tự tăng dần của sự kiện bắt đầu công việc. Nếu có nhiều công việc đi ra khỏi một sự kiện thì tại đó điền theo thứ tự tăng dần của sự kiện kết thúc các công việc.

Bảng 4.3

Công việc	Kí hiệu công việc	Thời gian thực hiện $t_{ij}$	Thông số sớm		Thông số muộn		Dự trữ		Các việc găng
			$t_{ij}^{kh.s}$	$t_{ij}^{k.s}$	$t_{ij}^{kh.m}$	$t_{ij}^{k.m}$	$Z_{ij}^1$	$Z_{ij}^2$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X1	1-2	2	0	2	0	2	0	0	1-2
X2	1-3	1	0	1	1	2	1	1	-
X0	2-3	0	2	2	2	2	0	0	2-3
X3	2-4	4	2	6	2	6	0	0	2-4
X4	3-4	4	2	6	2	6	0	0	3-4
X5	3-5	5	2	7	5	10	3	0	-
X6	4-6	8	6	14	6	14	0	0	4-6
X7	5-6	4	7	11	10	14	3	3	-

- Cột 3 là thời gian thi công của công việc.
- Cột 4, cột 5 điền xen kẽ nhau: bắt đầu từ các công việc khởi công (có mã hiệu sự kiện đầu là 1) với  $t_i^{kh.s} = 0$  ghi vào cột 4. Cột 5 là tổng cột 3 + cột 4 sau đó lấy kết quả của cột 5 điền vào cột 4 cho những công việc bắt đầu từ nó. Việc điền sang theo nguyên tắc

$$t_{ij}^{kh.s} = \max t_{h-i,k-i}^{ks}$$

Nghĩa là lấy giá trị  $\max$  ở cột 5 của công việc liền trước của  $ij$  đưa xuống điền giá trị cột 4 của  $ij$

$$t_{ij}^{k.s} = t_{ij}^{kh.s} + t_{ij}$$

Giá trị cột 5 = giá trị cột 4 + giá trị cột 3.

Ví dụ :  $t_{4-6}^{kh.s} = \max \{t_{2-4}^{ks} ; t_{3-4}^{ks}\} = \max(6;6) = 6$  ghi cột 4;

$$t_{46}^{k.s} = 6 + 8 = 14 \text{ ghi cột 5.}$$

Chú ý những công việc có chung sự kiện bắt đầu có giá trị cột 4 như nhau.



- Điền cột 6, 7: tiến hành từ cuối bảng về đầu bảng.

Công việc cuối cùng: lấy giá trị max ở cột 5 đưa sang cột 7, giá trị ở cột 7 công việc bằng giá trị ở cột 6 của công việc liền sau [trong trường hợp có nhiều công việc liền sau thì lấy giá trị min ở cột 6 của các công việc liền sau đó (xem 4.15b)] giá trị ở cột 6 của một công việc bằng giá trị ở cột 7 của công việc đó trừ giá trị ở cột 3 của nó.

Chú ý : các công việc có chung sự kết thúc công việc sẽ có giá trị ở cột 7 như nhau.

$$\text{Ví dụ: } t_{2-3}^{km} = \min(t_{3-4}^{khn} ; t_{3-5}^{khn}) = \min(2;5) = 2 ; t_{2-3+}^{khn} = 2 - 0 = 2$$

- Điền cột 8: giá trị ở cột 8 tương ứng bằng cột 7 - cột 5 hoặc cột 6 - cột 4

$$\text{Ví dụ: } Z_{1-3}^1 = 2 - 1 = 2 - 1 = 1$$

- Điền cột 9: giá trị ở cột 9 của một công việc tương ứng bằng giá trị ở cột 4 của công việc liền sau trừ đi giá trị ở chính cột 5 của công việc đang tính.

$$\text{Ví dụ: } Z_{1-3}^2 = t_{3-4}^{kh.s} - t_{1-3}^{ks} = 2 - 1 = 1$$

- Điền cột 10: những công việc có  $Z_{ij}^1 = Z_{ij}^2 = 0$  được điền vào cột 10 bằng cách ghi kí hiệu các công việc đó (phải nhìn vào các cột 8 và 9 để đọc tên các công việc ở cột 2  $\Rightarrow$  điền được cột 10).

## 4.7. ĐƯỜNG GẮNG, Ý NGHĨA CỦA ĐƯỜNG GẮNG

Đường găng là đường dài nhất trong SDM đi từ sự kiện khởi công đầu đến sự kiện hoàn thành công trình. Do đó chiều dài đường găng là thời hạn thi công công trình. Các công việc thuộc đường găng không có dự trữ thời gian. Khi một công việc trên đường găng vì lý do nào đó bị chậm trễ thì thời hạn hoàn thành công trình bị chậm theo. Muốn hoàn thành công trình đúng thời hạn thì phải tập trung, ưu tiên cho các công việc thuộc đường găng.

Khi muốn rút ngắn thời gian thi công công trình ta phải rút ngắn độ dài đường găng. Trong SDM có thể có nhiều đường găng và những đường cận găng nên khi rút ngắn thời hạn thi công phải chú ý đến tất cả những đường này.

## 4.8. SDM TRÊN TRỤC THỜI GIAN

Mục đích chuyển SDM sang trục thời gian là để dễ vẽ và điều chỉnh các biểu đồ tài nguyên, đồng thời dễ quản lý tiến độ.

Ban đầu thông thường có 2 trường hợp chuyển về trục thời gian:

### 1. Các công việc đều bắt đầu sớm

Trình tự:

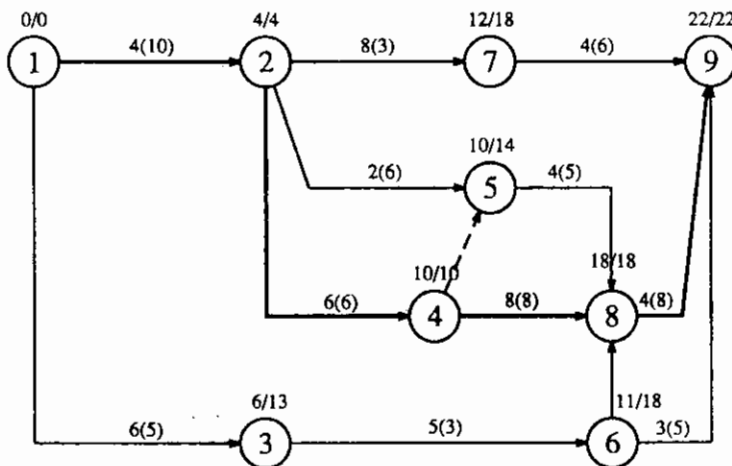
- Chọn trục thời gian  $O_t$ .
- Đưa các công việc găng về trục thời gian đặt các sự kiện găng ở đúng vị trí theo thời điểm  $T^s$  vẽ được công việc bằng cách nối các sự kiện lại.
- Đưa các công việc không găng về trục thời gian.

Đặt các sự kiện ở mốc hoàn thành sớm  $T^s$  sau đó vẽ mũi tên công việc bắt đầu từ sự kiện đầu. Chiều dài mũi tên công việc bằng thời gian thực hiện công việc (kí hiệu bằng đoạn thẳng hai nét song song) cộng với dự trữ riêng của công việc (kí hiệu bằng đoạn nét mảnh).

- Trên công việc ghi thời gian thực hiện và tài nguyên tương ứng.

### 2. Các công việc đều bắt đầu muộn

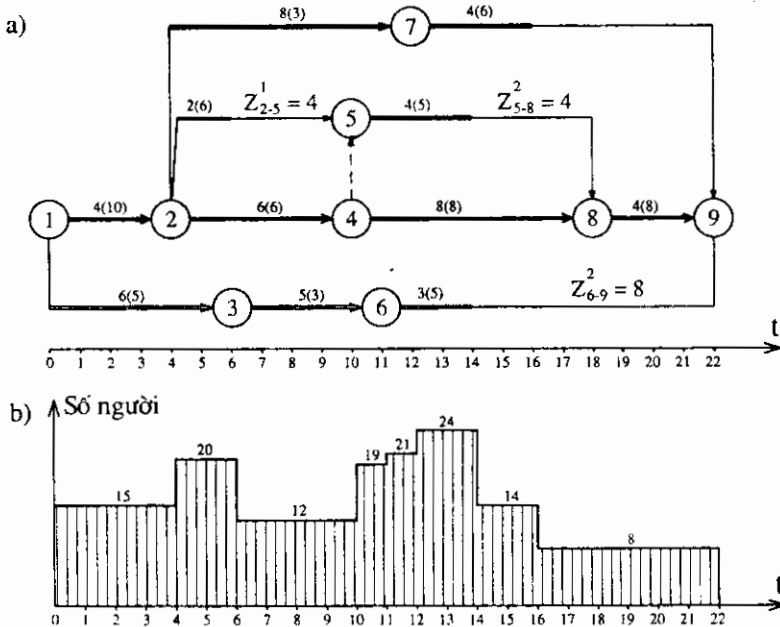
Tương tự như cách trên chỉ khác là các sự kiện đều đặt ở mốc hoàn thành muộn ( $T^m$ ).



Hình 4.14. Sơ đồ mạng không có trục thời gian

Trục thời gian có thể chọn trùng với đường găng hoặc đặt ngoài SDM.

Trên hình 4.14 thể hiện sơ đồ mạng không có trục thời gian. Hình 4.15a sau khi chuyển về trục thời gian theo  $T^s$  và hình 4.16a – chuyển về trục thời gian với  $T^m$ .

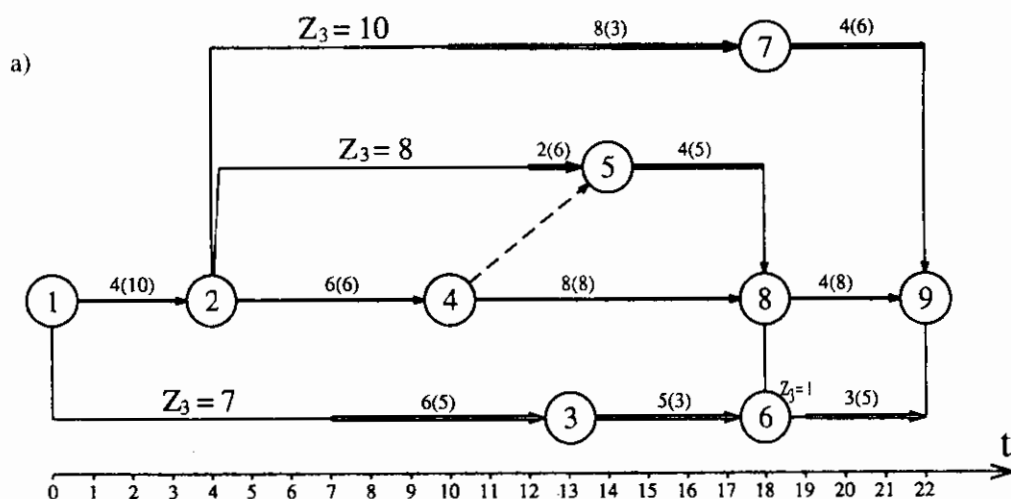


Hình 4.15

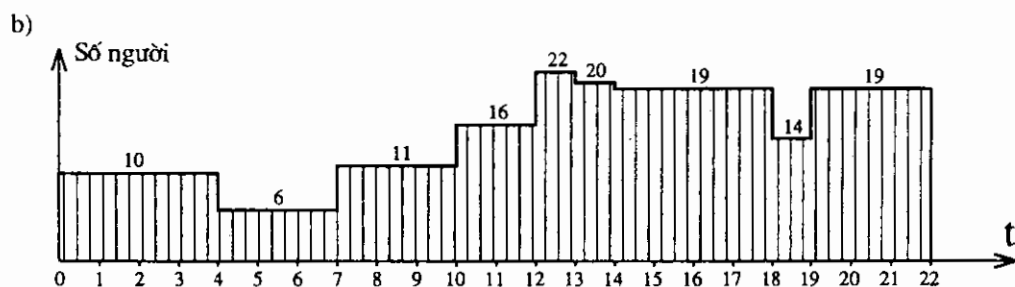
- a) Sơ đồ mạng trên trục thời gian với mọi công việc bắt đầu sớm ;
- b) Biểu đồ nhân lực.

### 3. Biểu đồ nhân lực trên SDM có trục thời gian

- Trên SDM, xác định các khoảng thời gian trong đó các công việc đồng thời thực hiện ổn định. Ranh giới giữa các khoảng đó là các vị trí mà tại đó có sự thay đổi số lượng các công việc thực hiện (tăng thêm hoặc giảm bớt công việc). Trên ví dụ hình 4.15b có 8 khoảng thời gian các công việc ổn định.
- Cộng dồn số nhân lực của các công việc thực hiện trên từng khoảng.
- Chọn tỷ lệ vẽ biểu đồ biến thiên nhân lực trên trục tọa độ  $t.O.N$  (ở đây trục tung  $ON$  thể hiện số người) ta được biểu đồ nhân lực.
- Tương tự tại hình 4.15b và 4.16b ta vẽ được biểu đồ nhân lực tương ứng với các công việc bắt đầu sớm, muộn của SDM hình 4.14.



Hình 4.16a. Sơ đồ mạng trên trục thời gian với mọi công việc bắt đầu muộn



Hình 4.16b. Biểu đồ nhân lực

## 4.9. CHUYỂN SDM SANG SƠ ĐỒ NGANG

Mục đích: - Đưa về cách quản lý quen thuộc

- Vẽ biểu đồ tài nguyên và phục vụ điều chỉnh tối ưu tiến độ.

Cách chuyển:

a) Lập trục tOy: trục hoành biểu diễn thời gian thực hiện công việc. Trục tung biểu diễn thứ tự công việc. Phía trái trục tọa độ Oy lập các cột ghi thông số cần thiết các công việc như thứ tự, tên, tài nguyên ... (hình 4.17)

b) Lần lượt đưa các công việc (đặt các công việc) của SDM lên hệ trục tOy theo nguyên tắc sau:

- Các công việc được đặt theo thứ tự tăng dần chỉ số sự kiện đầu công việc. Nếu có nhiều công việc có cùng sự kiện bắt đầu thì được đặt theo sự tăng dần của chỉ số sự kiện kết thúc công việc.

- Mỗi công việc được xác định bởi hai tọa độ là: hoành độ đầu mút trái (thời điểm bắt đầu công việc) và hoành độ đầu mút phải (thời điểm kết thúc công việc).

Chú ý : hoành độ đầu mút trái của một công việc bằng hoành độ đầu mút phải của công việc liền trước. Nếu có nhiều cặp việc liền trước thì hoành độ đầu mút trái của công việc cần biểu diễn được đặt trùng với hoành độ đầu mút phải của công việc liền trước nào ở xa gốc tọa độ nhất so với công việc kia (đặt theo hoành độ lớn nhất của công việc liền trước).

Hoành độ đầu mút phải của một công việc bằng hoành độ đầu mút trái cộng thời gian thực hiện.

c) Xác định đường găng và các thông số của SDM trên sơ đồ ngang:

- *Đường găng*

Đi từ công việc cuối cùng có hoành độ đầu mút phải lớn nhất trong SDM (hoành độ đó chính là chiều dài đường găng). Tìm được công việc găng cuối cùng  $\Rightarrow$  xác định được chỉ số sự kiện bắt đầu  $\Rightarrow$  tìm tiếp công việc liền trước có chỉ số sự kiện kết thúc trùng chỉ số sự kiện bắt đầu của công việc găng vừa tìm được  $\Rightarrow$  tìm được công việc găng tiếp theo  $\Rightarrow$  chỉ số sự kiện bắt đầu của nó  $\Rightarrow$  tìm tiếp cho đến công việc găng đầu tiên (công việc găng khởi công).

- *Thông số của SDM trên sơ đồ ngang*

Thời hạn bắt đầu sớm nhất của công việc: bằng hoành độ đầu mút trái của công việc trên trục tọa độ.

Thời hạn kết thúc sớm nhất: bằng hoành độ đầu mút trái cộng thời gian thực hiện (hay trùng hoành độ đầu mút phải)

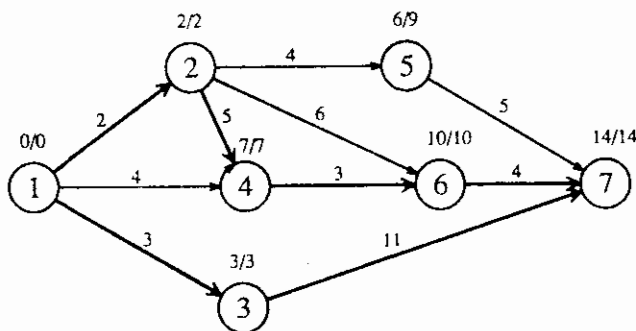
Thời hạn kết thúc muộn nhất của công việc: bằng hoành độ đầu mút phải sau khi đã tịnh tiến công việc sang phải bằng dự trữ toàn phần của công việc.

Thời hạn bắt đầu muộn: trùng hoành độ đầu mút trái của công việc sau khi đã tịnh tiến sang bên phải một lượng bằng dự trữ thời gian toàn phần của công việc.

Dự trữ riêng của công việc: khoảng trống giữa hai sự kiện kết thúc công việc có cùng chỉ số ( $Z_{ij}^2 = T_j^s - T_i^s - t_{ij}$ )

$$Dự\ trữ\ toàn\ phần: Z_{ij}^l = T_j^m - T_i^s - t_{ij}$$

Ví dụ: Chuyển SDM sang sơ đồ ngang và xác định các thông số của SDM trên sơ đồ ngang (thể hiện trên hình 4.17).



TT	Công việc	Biểu đồ ngang														
9	6 - 7	[Gantt bar from 6 to 7, float Z <sub>ij</sub> =2]														
8	5 - 7	[Gantt bar from 5 to 7, float Z <sub>ij</sub> =2]														
7	4 - 6	[Gantt bar from 4 to 6, float Z <sub>ij</sub> =2]														
6	2 - 6	[Gantt bar from 2 to 6, float Z <sub>ij</sub> =3]														
5	2 - 5	[Gantt bar from 2 to 5, float Z <sub>ij</sub> =3]														
4	2 - 4	[Gantt bar from 2 to 4, float Z <sub>ij</sub> =3]														
3	1 - 4	[Gantt bar from 1 to 4, float Z <sub>ij</sub> =3]														
2	1 - 3	[Gantt bar from 1 to 3, float Z <sub>ij</sub> =3]														
1	1 - 2	[Gantt bar from 1 to 2, float Z <sub>ij</sub> =3]														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Hình 4.17. Chuyển SDM sang biểu đồ ngang

#### 4.10. NHỮNG BÀI TOÁN TỐI ƯU SƠ ĐỒ MẠNG

Lập tiến độ bằng SDM có tính ưu việt mà các phương pháp khác khó mà đạt được đó là sau khi lập được một tiến độ phù hợp với công nghệ thi công người ta còn có thể làm cho tiến độ đạt được những chỉ số tốt hơn nữa. Quá trình đưa tiến độ đạt được những phẩm chất tốt đẹp hơn, mang lại hiệu quả cho tổ chức sản xuất ta gọi là tối ưu hóa hay cụ thể hơn là tối ưu hóa sơ đồ mạng.

Khi thực hiện tối ưu hóa SDM người ta thường đưa ra những mục đích cụ thể. Các mục đích này thường được biểu hiện bằng những điều kiện hạn chế. Một trong những điều kiện thường gặp trong lập kế hoạch (tiến độ) là sử dụng tài nguyên liên tục, điều hòa và đưa công trình vào sử dụng đúng kế hoạch đạt chất lượng xây lắp cao, giá thành thấp.

Tuy nhiên vấn đề tối ưu hóa tiến độ là bài toán có miền xác định rộng và phức tạp. Khó có bài toán nào có thể giải quyết nhiều mục tiêu cùng một lúc. Trong chừng mực cụ thể người ta đưa ra các bài toán với những chỉ tiêu hạn chế. Những bài toán tối ưu tiến độ (SDM) thường gặp là:

- 1) Bài toán điều chỉnh thời hạn thi công theo kế hoạch định trước
- 2) Bài toán phân phối tài nguyên thu hồi theo thời gian đã định
- 3) Bài toán thời gian và giá thành công trình
- 4) Bài toán phân phối tài nguyên sao cho thời gian thi công là ngắn nhất.
- 5) Bài toán xác định thời hạn xây dựng công trình tối ưu.

Sau đây ta xem xét cụ thể một số trong những bài toán đó.

#### 4.11. ĐIỀU CHỈNH SDM THEO THỜI GIAN VÀ NHÂN LỰC

Sau khi lập SDM (tính toán các thông số) ta có thể gặp các trường hợp:

- Sơ đồ mạng đáp ứng các tiêu chí cả về thời gian lẫn tài nguyên.
- Chiều dài đường găng nhỏ hơn thời hạn pháp lệnh ( $L_{g\ddot{a}ng} < T_{pl}$ ) nhưng tài nguyên thi công chưa điều hòa.
- Chiều dài đường găng vượt quá thời hạn pháp lệnh ( $L_{g\ddot{a}ng} > T_{pl}$ )

Trong cả hai trường hợp sau cần phải điều chỉnh SDM.

##### 1. Điều chỉnh SDM theo chỉ tiêu thời gian

Khi chiều dài đường găng của SDM vượt quá thời gian quy định, (tiến độ không đáp ứng thời gian quy định), hay công trình được thi công theo SDM mới lập không bàn giao đúng quy định, phải điều chỉnh SDM sao cho  $L_{g\ddot{a}ng} \leq t_{pl}$  (vì chiều dài của đường găng là thời hạn hoàn thành công trình). Có năm cách rút ngắn chiều dài đường găng:

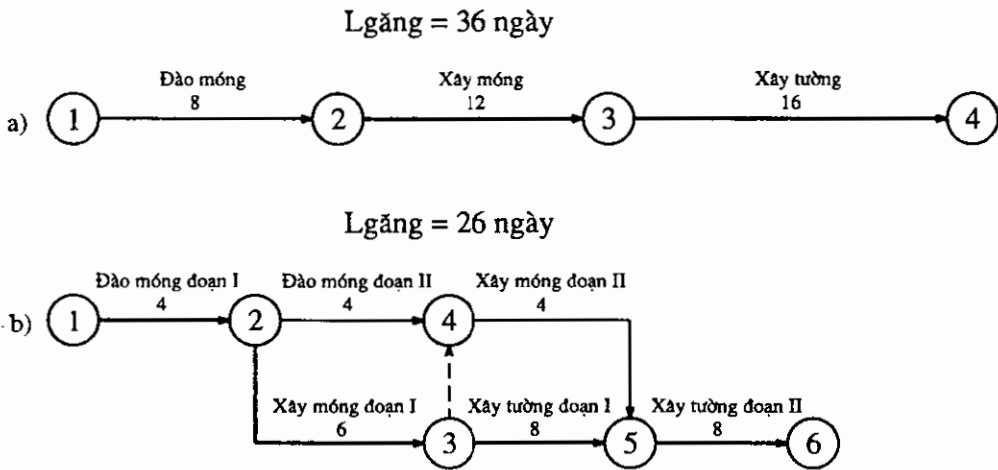
- Tăng tài nguyên thi công cho các công việc găng với điều kiện khi tăng không làm ảnh hưởng đến mặt bằng thi công (đủ không gian thi công) ( $N < N_{max}$ ).
- Tăng ca làm việc cho một số công việc găng với điều kiện đảm bảo công nhân làm việc bình thường.
- Điều tài nguyên thi công từ công việc có dự trữ thời gian sang cho các công việc găng với điều kiện khi điều tài nguyên các công việc không

găng được thực hiện với thời gian mới là  $t_{ij}^{i,j} \leq t_{ij} + Z_{ij}$ . Với điều kiện thứ hai là các công việc đó cùng tính chất kỹ thuật với công việc găng (cùng chuyên môn).

- Tổ chức thi công song song cho một số công việc găng (hình 4.18)

Ví dụ: Các công việc đào móng, xây móng, xây tường từ chỗ làm tuần tự mất 36 ngày chuyển sang làm song song kết hợp thời gian còn 26 ngày.

- Thay đổi biện pháp thi công (ví dụ: từ công nghệ bê tông tại chỗ chuyển sang lắp ghép sẽ bỏ được thời gian chờ đợi tháo ván khuôn).



Hình 4.18. Rút ngắn thời gian bằng cách tổ chức thi công song song

a) Chưa điều chỉnh; b) Đã điều chỉnh

## 2. Điều chỉnh SDM về thời gian nhân lực

Khi SDM đã đạt tiêu chuẩn thời gian ( $L_g \leq T_{pl}$ ) nhưng biểu đồ nhân lực chưa đạt các tiêu chí đề ra. Ta cần làm theo cách sau:

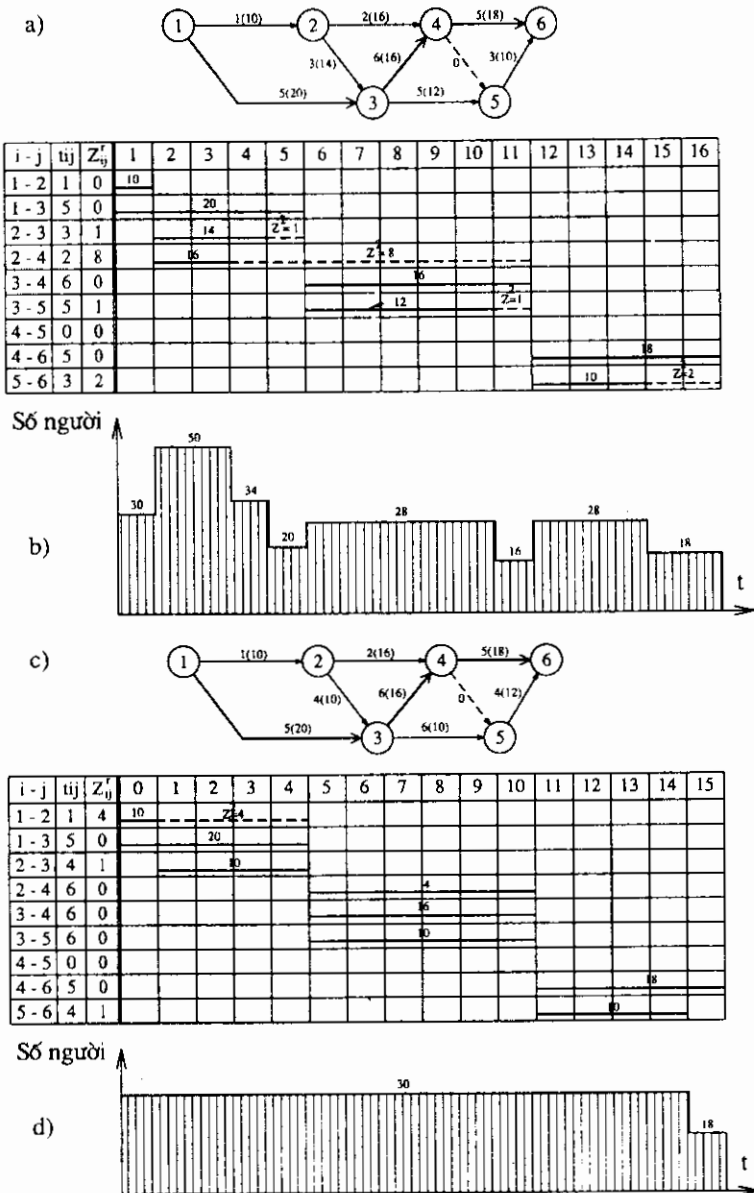
- Tìm trên biểu đồ nhân lực những khoảng có nhân lực tăng hoặc giảm đột ngột.
- Tìm các công việc nằm trong thời gian tương ứng với khoảng thời gian có biểu đồ không tốt nói trên.
- Giảm hoặc tăng nhân lực cho các công việc đó sao cho đạt được đoạn nhân lực hợp lý. Hoặc có thể xê dịch các công việc đó (thay đổi thời hạn bắt đầu) hoặc kéo dài thời gian thực hiện công việc (với điều kiện không vượt quá thời gian dự trữ) sao cho đạt được mục đích là: chỗ nhân lực tăng được giảm đến tung độ cần thiết, chỗ tung độ giảm được tăng đến tung độ cần thiết. Cứ điều chỉnh như vậy cho đến khi đạt được sự điều hòa cho tất cả các khoảng của biểu đồ nhân lực.



Ví dụ: điều chỉnh SDM về chỉ tiêu thời gian - nhân lực (hình 4.19).

Trên hình 4.19 trình bày các điều chỉnh SDM để giữ  $L_{\text{găng}}$  và biểu đồ nhân lực điều hòa.

Sơ đồ mạng sau khi tính toán (hình 4.19a) cho ta các thông số. Ta chuyển sang biểu đồ ngang và vẽ biểu đồ nhân lực (hình 4.19b) chưa điều chỉnh. Do biểu đồ nhân lực có nhiều đoạn nhô cao và trũng sâu quá so với mức trung bình ta tiến hành điều chỉnh các công việc 2.3, 2.4, 3.5, 5.6 bằng cách dịch chuyển và kéo dài ta được biểu đồ nhân lực điều hòa hơn (hình 4.19c,d).



Hình 4.19. Điều chỉnh sơ đồ mạng

- a, b) SDM và biểu đồ nhân lực chưa điều chỉnh;
- c, d) SDM và biểu đồ nhân lực đã điều chỉnh.

## 4.12. TỐI ƯU HÓA SDM THEO CHỈ TIÊU THỜI GIAN - CHI PHÍ

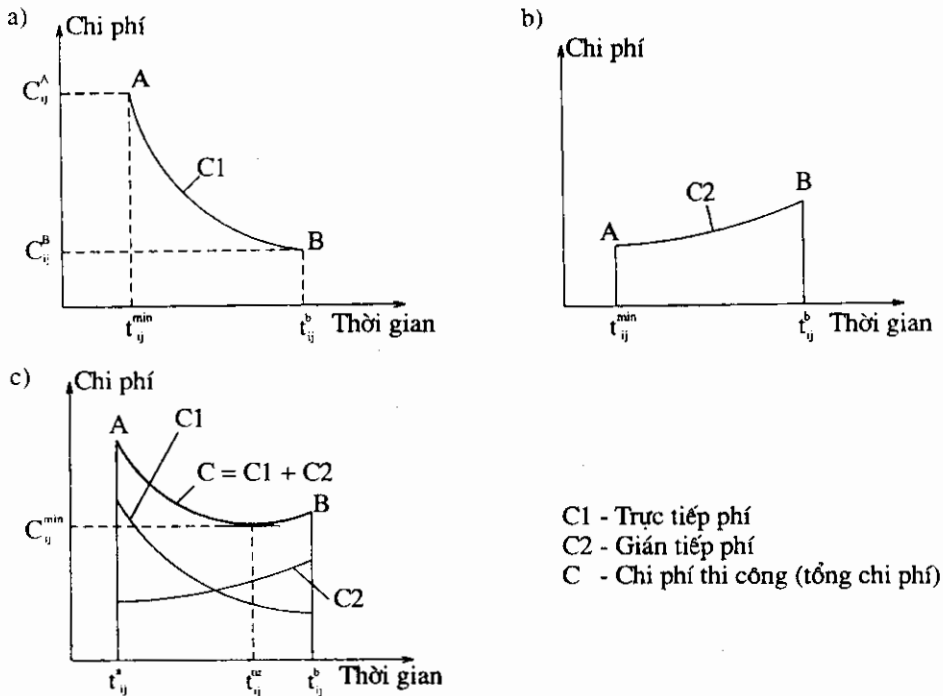
Chi phí trong xây dựng gồm hai loại: trực tiếp phí và gián tiếp phí. Mối quan hệ giữa trực tiếp phí với thời gian thi công của công việc được biểu diễn như hình 4.20a

**Điểm A:** ứng với thời gian thi công  $t_{ij}^{\min}$  cho  $C_{ij}^A$  có giá trị lớn nhất ( $t_{ij}^{\min}$  ứng với thời gian thi công khẩn trương nhất).

**Điểm B:** công việc thi công với thời gian bình thường, chi phí là nhỏ nhất  $C_{ij}^B$ .

Vượt qua điểm B: chi phí trực tiếp lại tăng lên. Mối quan hệ giữa gián tiếp phí với thời gian thi công được biểu diễn trên hình 4.20b

Thời gian thi công nhỏ nhất cho chi phí gián tiếp nhỏ nhất. Thời gian thi công kéo dài thì chi phí gián tiếp càng tăng. Đường cong chi phí tổng cộng – thời gian thi công (đường C) biểu diễn trên hình 4.20c



Hình 4.20. Mối quan hệ chi phí và thời gian thi công

Điểm D cho  $C_{\min}$  ứng với thời gian thi công tối ưu  $t_{ij}^{tw}$ .

Cách giải bài toán tối ưu SDM theo thời gian chi phí là:

- Lập đường cong chi phí trực tiếp – thời gian thi công  $C_1$
- Lập đường cong chi phí gián tiếp – thời gian thi công  $C_2$

- Lập đường cong chi phí tổng cộng – thời gian thi công  $C(t)$
- Tính đạo hàm bậc nhất:

$$\frac{dc(t)}{dt} = f'(t)$$

- Triệt tiêu đạo hàm bậc nhất  $f'(t) = 0 \Rightarrow$  tìm được  $t^{*w}$ .

Việc giải chính xác bài toán tối ưu theo trình tự trên là khó khăn vì không viết được chính xác phương trình biểu diễn  $C_1, C_2, C(t)$ . Do vậy để giải bài toán người ta thường quan niệm quan hệ giữa chi phí và thời gian thực hiện công việc là bậc nhất (đường thẳng). Và bài toán được giải theo trình tự như sau:

Lập SDM với thời gian thi công bình thường để có chi phí là tối thiểu.

Rút ngắn dần thời gian thi công về tối thiểu với điều kiện chi phí tăng lên ít nhất. Như vậy sẽ có tổng chi phí bị tăng lên ít nhất, có nghĩa là xuất phát từ  $t_B$  đi dần đến điểm cho  $t^{*w}$ .

Muốn cho chi phí tăng lên ít nhất thì cần rút ngắn lần lượt ở từng công việc hoặc nhóm công việc có phụ phí tăng lên ít nhất (chi phí bù ít nhất).

Gọi chi phí bù của công việc  $i, j$  là:  $e_{ij}$

$$e_{ij} = \frac{(C_{ij}^A - C_{ij}^B)}{(t_b^{i-j} - t_{min}^{i-j})}$$

Cứ rút ngắn  $L_{găng}$  của SDM với tất cả các công việc thi công bình thường với điều kiện chi phí bù tăng lên ít nhất cho đến khi mọi công việc có  $t_b^b = t_{ijmin}$  nghĩa là rút ngắn đến khi có thể.

Ví dụ: tối ưu hóa SDM theo tiêu chuẩn "thời gian chi phí". Số liệu cho trong bảng 4.4 SDM với các công việc thi công bình thường (hình 4.21).

Bài toán ở đây đặt ra cho người ta là rút ngắn thời gian thi công ngắn nhất với giá thành thấp nhất có thể. Ta tiến hành các bước như sau:

**Bước 1:** tính chi phí cho từng công việc (bảng 4.5)

**Bước 2:** tính SDM với chế độ bình thường (hình 4.22).

**Bước 3:** tính SDM với chế độ thi công khẩn trương nhất (hình 4.23)

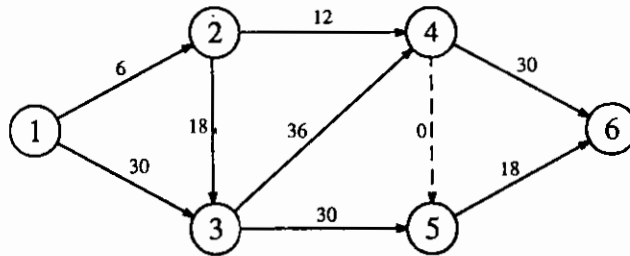
**Bước 4:** công việc 4-6 nằm trên đường găng ( $L_{găng} = 96$  ngày) có chi phí bù nhỏ nhất (0,057 đơn vị). Rút ngắn thời gian thực hiện công việc 4-6 đi 14 ngày (thời gian thực hiện công việc còn lại là  $30 - 14 = 16$  ngày). Tính SDM với thời gian thực hiện công việc là 16 ngày.

Đường găng mới (hình 4.24) có chiều dài 84 ngày. Rút ngắn công việc của đường găng có  $L = 96$  ngày đi 14 ngày, song chiều dài thực tế của đường găng mới là 84 ngày chênh 12 ngày.

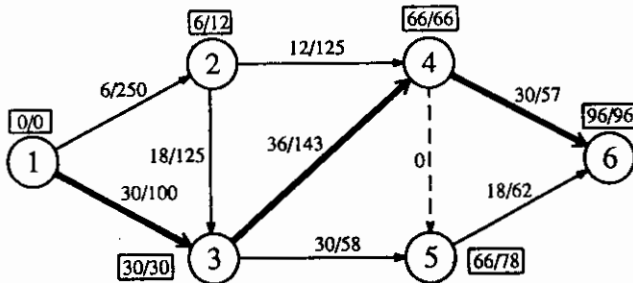
Vậy chỉ nên rút ngắn thời gian thi công công việc 4-6 (hình 4.23) đi 12 ngày. Tính lại ta có kết quả như hình 4.25.

**Bảng 4.4**

Công việc	Thời gian thi công		Chi phí thi công	
	Khẩn trương ( $t_{\min}$ )	Bình thường ( $t_b$ )	Khẩn trương (100 nghìn đồng)	Bình thường (100 nghìn đồng)
1-2	4	6	2	1,5
1-3	20	30	10	9
2-3	10	18	6	5
2-4	8	12	4,5	4
3-4	22	36	14	12
3-5	18	30	9,2	8,5
4-5	0	0	0	0
4-6	16	30	10,3	9,5
5-6	10	18	5	4,5



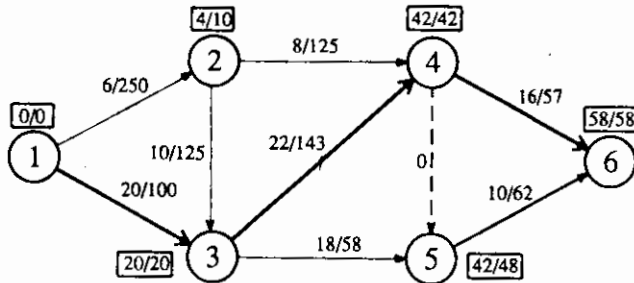
**Hình 4.21**



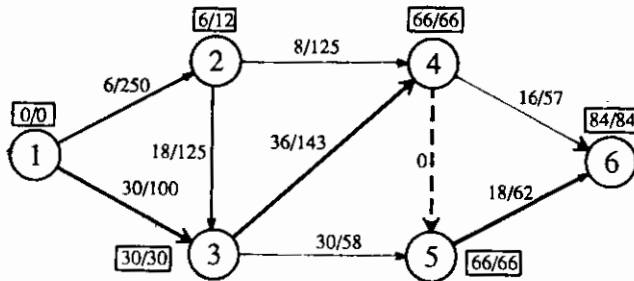
**Hình 4.22**

Bảng 4.5

Công việc	$t_{ij}^{min}$	$t_{ij}^b$	$C_{ij}^B$ (100 nghìn đồng)	$C_{ij}^A$ (100 nghìn đồng)	$t_{ij}^b - t_{ij}^{min}$	$C_{ij}^A - C_{ij}^B$	$e_{ij}$ (100 nghìn đồng)
1-2	4	6	1,5	2	2	0,5	0,25
1-3	20	30	9	10	10	1	0,1
2-3	10	18	5	6	8	1	0,125
2-4	8	12	4	4,5	4	0,5	0,125
3-4	22	36	12	14	14	2	0,143
3-5	18	30	8,5	9,2	12	0,7	0,58
4-5	0	0	0	0	0	0	0
4-6	16	30	9,5	10,3	14	0,8	0,057
5-6	10	18	4,5	5	8	0,5	0,062



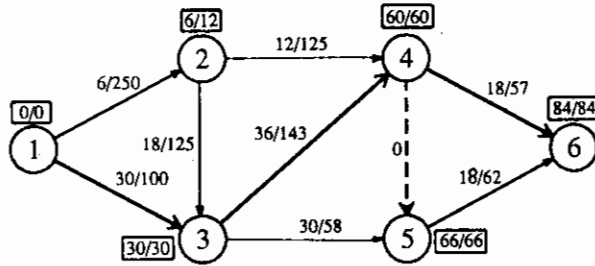
Hình 4.23



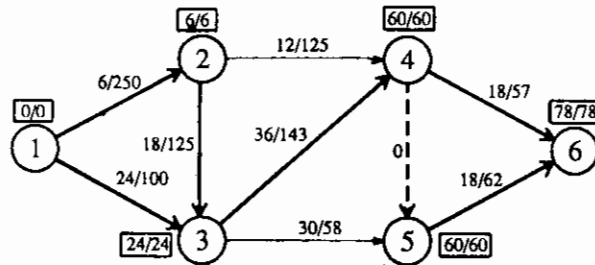
Hình 4.24

Bước 5: SĐM hình 4.25 có hai đường găng. Để rút ngắn thời gian thi công , phải rút ngắn cả hai đường găng. Đường găng 1-3-4-6 có công việc 4-6 có chi phí bù nhỏ nhất (0,057 đơn vị). Đường găng 1-3-4-5-6 có công

việc 5-6 có chi phí bù nhỏ nhất (0,062 đơn vị). Nếu rút ngắn hai công việc đó 1 ngày, chi phí bù tăng lên là:  $0,057 + 0,062 = 0,119$  đơn vị, trong khi đó công việc 1-3 chung cho cả hai đường găng, rút ngắn 1 ngày thì chi phí bù tăng lên 0,1 đơn vị. Vậy rút ngắn thời gian thực hiện công việc 1-3 là tốt hơn. Rút ngắn công việc 1-3 đi 6 ngày ( $t_{1,3} = 30 - 6 = 24$ ). Tính lại SDM. Hình 4.26.



Hình 4.25

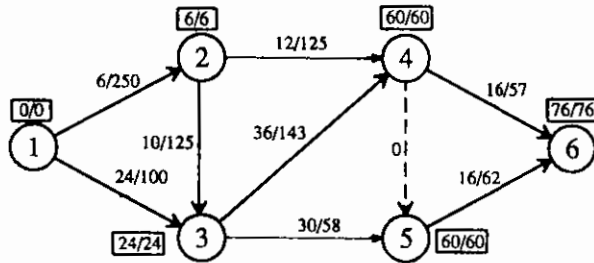


Hình 4.26

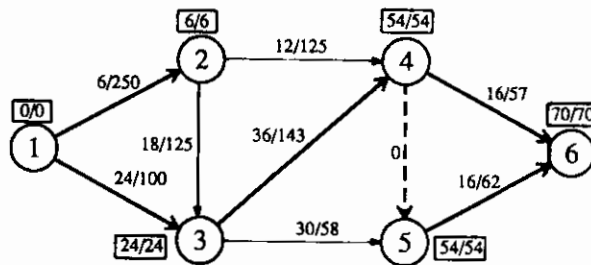
**Bước 6:** SDM hình 4.26 có 4 đường găng. Cả 4 đường găng có chung công việc 3-4. Rút ngắn một đơn vị thời gian ở công việc 3-4 thì cả 4 đường găng cùng được rút ngắn, chi phí tăng lên 0,143 đơn vị. Công việc 4-6 chung cho hai đường găng 1-2-3-4-6 và 1-3-4-6, công việc 5-6 chung cho hai đường găng 1-2-3-4-5-6 và 1-3-4-5-6. Công việc 4-6 có chi phí bù là 0,057 đơn vị, công việc 5-6 có chi phí bù là 0,062 đơn vị. Tổng chi phí bù khi rút ngắn công việc 4-6 và 5-6 đi một đơn vị là  $0,057 + 0,062 = 0,119$  đơn vị  $< 0,143$  đơn vị. Vậy rút ngắn ở công việc 4-6 và 5-6 là hợp lý. Hai công việc đó chỉ rút ngắn được 2 ngày (vì rút ngắn hơn nữa thì hai công việc đó không thực hiện được vì thời gian thực hiện công việc nhỏ hơn thời gian thi công khẩn trương nhất). Vậy rút ngắn công việc 4-6 và 5-6 đi 2 ngày. Kết quả tính toán hình 4.27.

**Bước 7:** Cũng lập luận như trên, rút ngắn thời gian công việc 3-4 (chung cho cả 4 đường găng) đi 6 ngày ( $t_{3,4} = 36 - 6 = 30$ ) tính SDM với  $t_{3,4} = 30$  ngày. Kết quả như hình 4.28.

Bước 8: SDM trên hình 4.28 có 6 đường găng. Rút ngắn ở 2 công việc 3-4 và 3-5 sẽ cho chi phí bù tăng lên ít nhất. Công việc 3-4 chung cho 4 đường găng. Công việc 3-5 chung cho 2 đường găng còn lại. Công việc 3-4 có thời gian rút ngắn tối đa là  $t_{3-4} = 30 - 22 = 8$  ngày. Công việc 3-5 có thời gian rút ngắn tối đa là  $t_{3-5} = 30 - 18 = 12$  ngày. Vậy phải cùng lúc rút ngắn công việc 3-4 và 3-5 đi 8 ngày. Kết quả tính toán như hình 4.29.



Hình 4.27



Hình 4.28

Bước 9: SDM hình 4.29 có 6 đường găng. Muốn rút ngắn thời hạn thi công phải rút cả 6 đường.

Công việc 1-3 chung cho 3 đường găng, có chi phí bù 0,1 đơn vị

Công việc 2-3 chung cho 3 đường găng, có chi phí bù 0,125 đơn vị

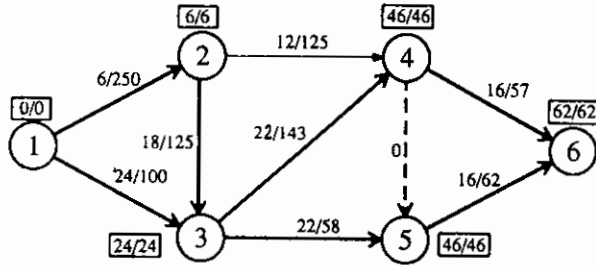
Trong các phương án rút ngắn, phương án rút ngắn 2 công việc 1-3 và 2-3 cho chi phí bù tăng lên ít nhất.

Thời gian rút ngắn tối đa của 1-3 là:  $24 - 20 = 4$  ngày

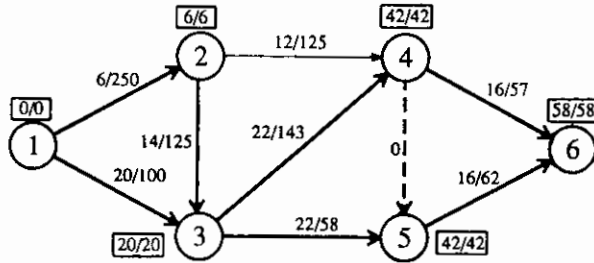
Thời gian rút ngắn tối đa của 2-3 là:  $28 - 20 = 8$  ngày

Vậy rút ngắn 4 ngày cho 1-3 và 2-3. Kết quả tính toán như hình 4.30.

Đến bước này ta thấy: trừ công việc 2-4. Tất cả các công việc còn lại của SDM có thời gian thi công bằng thời gian thi công khẩn trương nhất ( $t_{i-j}^b \Rightarrow t_{\min} = t^{\text{khẩn trương}}$ ). Mặc dù đường tổng cộng 1-2-4-6 có chiều dài là  $6 + 12 + 16 = 34 < 58$  nhưng không thể rút ngắn tiếp tục vì đường găng đã ở mức giới hạn (các công việc đều đã thi công khẩn trương). Bài toán kết thúc. Kết quả tối ưu được tổng kết trong bảng 4.6.



Hình 4.29



Hình 4.30

Bảng 4.6

Bước	Các công việc được rút ngắn	Số ngày rút ngắn	Chi phí bù dv	Chi phí bù tăng thêm cho số ngày rút ngắn	Tổng chi phí dv	Thời hạn hoàn thành công trình
0	-	-	-	-	54,000	96 ngày
4	4 - 6	12	0,057	0,684	54,684	84 ngày
5	1 - 3	6	0,1	600	55,284	78 ngày
6	4 - 6; 5 - 6	2	0,119	238	55,522	76 ngày
7	3 - 4	6	0,143	858	56,380	70 ngày
8	3 - 4; 3 - 5	8	0,201	1608	57,988	62 ngày
9	1 - 3; 2 - 3	4	0,225	900	58,888	58 ngày



### 4.13. PHÂN PHỐI VÀ SỬ DỤNG TÀI NGUYÊN TỐI ƯU TRONG LẬP KẾ HOẠCH VÀ CHỈ ĐẠO SẢN XUẤT

Khi lập tiến độ bằng SĐM ngoài việc chú ý đến tiêu chí thời hạn xây dựng công trình, người ta còn chú ý đến vấn đề phân phối và sử dụng tài nguyên cho sản xuất. Vì ngoài việc hoàn chỉnh công trình đúng thời hạn cần phải chú ý đến hiệu quả kinh tế của phương án tổ chức thi công. Tài nguyên sử dụng cho sản xuất xây dựng gồm nhiều loại khác nhau. Chúng có thể là nhân lực lao động, cán bộ kỹ thuật, máy móc thiết bị, vật liệu xây dựng, kết cấu chế tạo trước, năng lượng, tài chính... Khi làm việc với SĐM người ta thường phân loại chúng theo đặc tính của các loại tài nguyên sử dụng trong quá trình xây dựng đó là nó có hay không thay đổi khối lượng khi được sử dụng.

Theo tiêu chí này người ta chia tài nguyên ra làm hai loại: *tài nguyên thu hồi được* và *tài nguyên không thu hồi được* sau sử dụng.

Tài nguyên thu hồi là tài nguyên không biến đổi số lượng trong quá trình sử dụng. Trong loại này gồm nhân lực, cán bộ kỹ thuật, máy móc, thiết bị, cơ sở sản xuất phụ trợ. Người ta còn gọi loại này là tài nguyên không xếp kho được. Số lượng của chúng không thay đổi trong quá trình sản xuất, nó chỉ thay đổi khi có sự trao đổi với các đơn vị xây lắp khác.

Điều kiện ràng buộc của tài nguyên thu hồi trong phân phối cho sản xuất là:

$$R_i(t) \leq H_i(t), \quad (4.23)$$

trong đó:  $R_i(t)$  - cường độ sử dụng tài nguyên  $i$  tại thời điểm  $t$ ;

$H_i(t)$  - khối lượng hiện có của tài nguyên  $i$  tại thời điểm  $t$ .

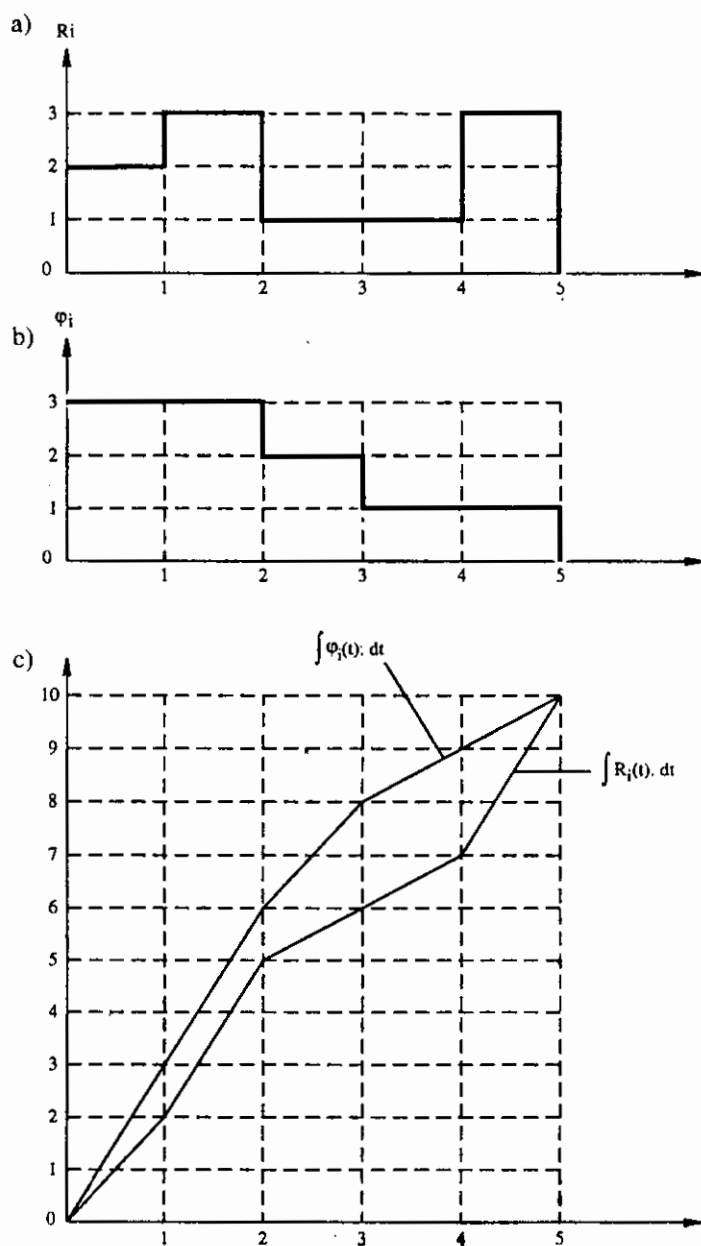
Ý nghĩa của công thức (4.23) là không lập kế hoạch tiêu thụ tài nguyên vượt quá mức hiện có của đơn vị thi công.

Loại thứ hai là tài nguyên thay đổi khối lượng trong quá trình sử dụng. Khối lượng biến đổi tỉ lệ thuận với khối lượng công việc hoàn thành (không kể đến mọi sự hao mòn trong bảo quản, vận chuyển), do biến thành sản phẩm. Trong nhóm này điển hình là vật liệu, nhiên liệu bán thành phẩm, cấu kiện và đặc biệt là tiền vốn.

Điều kiện ràng buộc liên quan đến loại tài nguyên này khi lập kế hoạch sản xuất là:

$$\int_0^T R_i(t) dt \leq \int_0^T \varphi_i(t) dt, \quad (4.24)$$

trong đó:  $R_i(t)$  - cường độ sử dụng tài nguyên  $i$  tại thời điểm  $t$  theo kế hoạch;  
 $\varphi_i(t)$  - mức độ cung cấp tài nguyên  $i$  tại thời điểm  $t$ .



**Hình 4.31. Mối quan hệ giữa cung và tiêu thụ tài nguyên**

Vế trái (4.24) thể hiện tổng tài nguyên đã sử dụng từ đầu đến thời điểm đang xét. Nếu có nhiều công việc cùng sử dụng một loại tài nguyên  $i$  thì  $R_i(t)$  phải là tổng mức tiêu thụ của tất cả các công việc đó.

Vế phải (4.24) thể hiện tổng tài nguyên  $i$  công trường được cung cấp từ đầu đến thời điểm đang xét.

Cần chú ý là tài nguyên không thu hồi có thể dự trữ trong kho nên cường độ tiêu thụ không phải lúc nào cũng nhỏ hơn mức cung cấp. Trên hình 4.31 thể hiện tính chất này.

Trong lập kế hoạch vấn đề tổ chức sản xuất sao cho việc sử dụng tài nguyên hợp lý là mục đích theo đuổi của các nhà tổ chức cũng như kinh tế. Trong lý thuyết cũng như thực tế nhiều tài liệu đã đi sâu nghiên cứu những bài toán tối ưu về sử dụng tài nguyên, nhưng vì tính đa dạng của nó người ta chỉ giải quyết những bài toán với một vài chỉ tiêu cụ thể. Còn bài toán tổng thể thì hầu như còn bỏ ngỏ.

#### 4.14. TỐI ƯU PHÂN BỐ TÀI NGUYÊN THU HỒI KHI THỜI HẠN XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH XÁC ĐỊNH

Tài nguyên thu hồi có đặc điểm là không biến đổi số lượng trong quá trình sử dụng và cũng không được phép dự trữ. Vì vậy đối với mỗi công trình người ta huy động với số lượng vừa đủ để thi công. Huy động càng ít thì hiệu quả của kế hoạch sản xuất càng cao. Muốn vậy khi lập kế hoạch sản xuất phải đề ra chỉ tiêu là việc sử dụng tài nguyên loại này phải điều hòa và liên tục. Cụ thể là phải bố trí các công việc sử dụng cùng một loại tài nguyên sao cho điều hòa. Nghĩa là ta phải tối ưu phân phối tài nguyên trong quá trình sản xuất.

Tối ưu phân phối tài nguyên khi thời hạn xây dựng công trình xác định được hiểu là sự dịch chuyển các công việc theo thời gian nhưng vẫn giữ quan hệ công nghệ và tổ chức sao cho sai phương của biên độ sử dụng tài nguyên so với trung bình sử dụng là nhỏ nhất. Để đơn giản bài toán thường chỉ giải với một loại tài nguyên.

Trên biểu đồ tiến độ trong khoảng thời gian  $t_{ij}$  của mỗi công việc nó sẽ sử dụng tài nguyên với cường độ  $r_{ij}$ . Vậy toàn bộ thời gian xây dựng công trình số tài nguyên ta sử dụng là:

$$R = \sum r_{ij} t_{ij} . \quad (4.25)$$

Cường độ sử dụng trung bình tài nguyên đó là:

$$R_{tb} = \frac{R}{T} = \frac{1}{T} \sum_{ij} r_{ij} t_{ij} , \quad (4.26)$$

trong đó: T - thời gian xây dựng công trình.

Nếu ta gọi hàm  $R(t)$  biểu thị sử dụng tài nguyên ở thời điểm  $t$  thì độ sai phương trung bình  $E$  của sử dụng tài nguyên là:

$$E = \frac{1}{T} \int_0^T [R(t) - R_{tb}]^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^T R^2(t) dt - R_{tb}^2. \quad (4.27)$$

Ta biết chỉ số sai phương càng nhỏ biểu đồ càng điều hòa. Vậy đến đây bài toán là cực tiểu hóa biểu thức  $\int_0^T R^2(t) dt$ . Ta có thể viết một cách khác:

$$\int_0^T R^2(t) dt = \sum_{m=1}^q \tau_m r_m^2, \quad (4.28)$$

trong đó  $\tau_m$  - khoảng thời gian trên tiến độ với cường độ sử dụng tài nguyên  $r_m$  là không đổi;

$q$  - số khoảng thời gian có  $r$  không đổi. Khi đó bài toán trở thành bài toán quy hoạch tuyến tính với :

Hàm mục đích

$$\sum_{m=1}^q \tau_m r_m^2 \rightarrow \min \quad (4.29)$$

và điều kiện  $\sum_{m \ni ij} \tau_m = t_{ij}$  với mọi việc  $ij$

$$\tau_m \geq 0 \quad m = 1 \dots q$$

Với thuật toán giải lập ta sẽ được lời giải gần đúng.

Để đơn giản trong một số trường hợp bài toán sử dụng tài nguyên tối ưu lấy tiêu chí giảm tối thiểu sự sai lệch giữa chi phí và sử dụng trung bình hàng ngày:

$$\left| \max_{t \in (0, T)} (R(t) - R_{tb}) \right| \rightarrow \min. \quad (4.30)$$

Hoặc: 
$$\left| \max_{t \in (0, T)} R(t) \right| \rightarrow \min. \quad (4.31)$$

Dựa trên phương pháp quy hoạch tuyến tính các phương pháp và thuật toán chỉ cho ta lời giải gần đúng.

Khi xây dựng công trình ta tiến hành rất nhiều công việc. Mỗi công việc sử dụng một vài loại tài nguyên khác nhau, mặt khác việc sử dụng nhiều loại tài nguyên lại đan xen nhau theo suốt thời gian sản xuất. Vai trò, khối lượng sử

dụng của mỗi loại cũng khác nhau làm cho bài toán sử dụng tối ưu tài nguyên càng trở nên phức tạp. Khi giải bài toán thêm một loại tài nguyên thì độ phức tạp tăng lên gấp bội, nếu nhiều đôi khi không giải nổi. Trong thực tế người ta tìm cách đơn giản hóa độ phức tạp của bài toán sao cho lời giải đạt yêu cầu sản xuất là đủ. Một trong những cách đó là:

Chọn trong những tài nguyên liên quan những tài nguyên có ý nghĩa nhất. Trong những tài nguyên chọn ra tìm tài nguyên chủ đạo. Giải bài toán với tài nguyên chủ đạo lấy lời giải làm cơ sở để xét tiếp đến những tài nguyên còn lại theo thứ tự ưu tiên (mức quan trọng trong sản xuất).

Trong sản xuất xây dựng tài nguyên chủ đạo thường là nhân lực (lao động sống) nên kèm theo một tiến độ xây dựng hợp lý phải có biểu đồ nhân lực tối ưu.

Cũng phải chú ý là trong sản xuất rất nhiều loại tài nguyên cường độ sử dụng luôn luôn song hành và tỉ lệ thuận với tài nguyên chủ đạo, ví dụ: nhu cầu về sử dụng vật tư, trang thiết bị sản xuất tỉ lệ với biểu đồ nhân lực đó là điều dễ hiểu vì người đông sẽ sản xuất nhiều nên phải dùng nhiều thiết bị dụng cụ và vật tư để sản xuất.

Để minh họa cho bài toán tối ưu phân phối tài nguyên ta làm ví dụ sau (hình 4.32).

Trên hình 4.32a là SDM xây dựng công trình theo một công nghệ xác định. Thời gian thi công và nhu cầu nhân lực (trong ngoặc) của các công việc được ghi trên hình vẽ. Bài toán đặt ra là phải tối ưu hóa sử dụng tài nguyên (nhân lực) của kế hoạch sản xuất đã lập (SDM).

Sơ đồ mạng đã được đưa về trục thời gian (hình 4.32b) cùng với biểu đồ nhân lực tương ứng. Qua biểu đồ nhân lực ta thấy còn biến động khá nhiều.

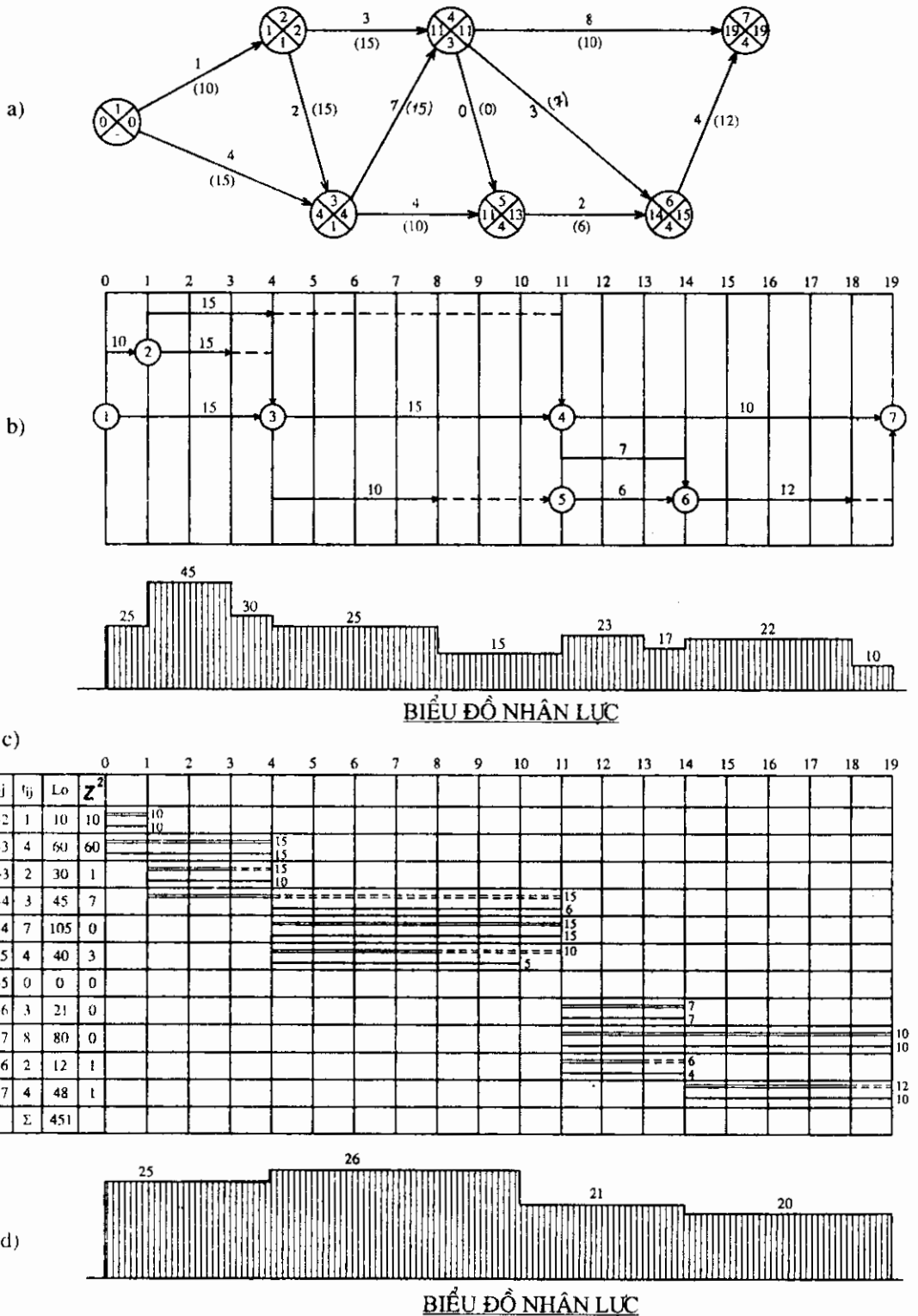
Chỉ số phân tán :  $R_{\max} - R_{\min} = 45 - 13,7 = 21,3$  quá cao

Hệ số điều hòa :

$$K_1 = \frac{R_{\min}}{R_{\max}} = \frac{13,7}{45} = 0,30 < 0,6$$

Hệ số ổn định:

$$K_2 = \frac{T_v}{T} = \frac{8}{19} = 0,42$$



Hình 4.32. Biểu đồ nhân lực

- a) Sơ đồ mạng;
- b) Sơ đồ mạng trên trục thời gian và biểu đồ nhân lực tương ứng;
- c) Sơ đồ mạng thể hiện trên sơ đồ ngang trước và sau khi tối ưu;
- d) Biểu đồ nhân lực sau khi tối ưu.

Vậy ta phải tối ưu biểu đồ nhân lực với điều kiện là:

- Không làm thay đổi thời hạn thi công đã chọn ( $T = 19$ ).
- Ngày đông người nhất không quá 30 ( $N_{\max} \leq 30$ ).

Với điều kiện đó ta chỉ sử dụng những dự trữ thời gian của công việc. Trước tiên là dịch chuyển các công việc không thuộc đường găng nhưng vẫn giữ nguyên thứ tự công nghệ. Trên hình 4.32c ta vẽ biểu đồ ngang của SDM đó. Bên trái thêm các cột công việc, thời gian thi công, nhân công yêu cầu và dự trữ riêng. Bên phải là biểu đồ thể hiện công việc (liền nét) và dự trữ riêng của nó (đứt nét) dưới là thời gian thi công lựa chọn cho các công việc (đậm nét) không thuộc đường găng. Để thỏa mãn điều kiện đặt ra là  $N_{\max} \leq 30$ ,  $T = 19$ , ta xét từng khoảng thời gian  $\tau_i$  tương ứng của biểu đồ nhân lực, bắt đầu từ góc tọa độ  $\tau_0$ .

Đoạn  $\tau_1$ , từ 0 ÷ 1 công việc 1,2 không có dự trữ  $t_{1,2} = 1$ ;  $N_{1,2} = 10$

Đoạn  $\tau_2$ , từ 1 ÷ 3 công việc 2,3 có dự trữ  $Z_2 = 1$  chọn  $t_{2,3} = 3$ , nhân lực giảm từ 15 xuống 10 người.

Đoạn  $\tau_3$  từ 1 ÷ 4 công việc 2,4 có dự trữ từ  $Z_2 = 7$  chọn  $t_{2,4} = 7$  và dịch chuyển sang đoạn 4 -11 bắt đầu chậm 3 ngày nhân lực giảm từ 15 xuống 6 người. Khi đó nhân công bố trí lại chỉ có  $6 \times 7 = 42$  ngày công mà yêu cầu công việc là 45 ngày công. Vậy công nhân phải làm tăng năng suất 7% (điều dễ thực hiện).

Tương tự ta thực hiện với những việc còn lại:

Công tác 3,5 kéo dài thêm 2 ngày, công nhân giảm từ 10 xuống 6, tăng năng suất 11%.

Công tác 5,6 kéo dài thời gian thi công  $t_{5,6} = 3$  ngày.  $N_{5,6} = 4$ .

Công việc 6,7,  $t_{6,7} = 5$ ,  $N = 10$  thiếu việc 0,4%.

Kết quả sau khi điều chỉnh ta có biểu đồ nhân lực mới (hình 4.32d) với  $T = 19$  ngày và  $P_{\max} = 26 < 30$  đáp ứng đầu bài.

Các chỉ số của biểu đồ nhân lực lúc này là:

Độ phân tán tài nguyên:  $26 - 23,7 = 2,3$

Hệ số điều hòa:  $23,7 : 26 = 0,91 \gg 0,6$ .

Hệ số ổn định:  $10 : 19 = 0,52$ .

Tất cả đều tốt hơn trước, thời gian thi công vẫn bảo đảm  $T = 19$  không cần tăng chi phí sản xuất.





# 5

## SƠ ĐỒ MẠNG NÚT, MẠNG PERT

### 5.1. KHÁI NIỆM VỀ SƠ ĐỒ MẠNG NÚT

Sơ đồ mạng truyền thống trình bày trong chương IV là sơ đồ mạng công việc thể hiện bằng cung còn sự kiện thể hiện bằng các nút. Tuy phương pháp sơ đồ mạng truyền thống có nhiều ưu điểm nhưng còn một số nhược điểm là phương pháp thể hiện còn quá chi tiết và rườm rà, tính mềm dẻo chưa được cao. Nhất là những sơ đồ mạng có nhiều sự kiện (công việc) việc tính toán và điều hành có những hạn chế. Hiện ở các nước phương Tây (Anh, Mỹ, Pháp...) người ta sử dụng khá phổ biến một loại sơ đồ mạng nút công việc. Về nguyên lý cơ bản cũng như sơ đồ mạng truyền thống nhưng khắc phục được những nhược điểm ở trên làm cho sơ đồ mạng này mềm dẻo hơn để phù hợp với thực tế sản xuất hơn.

Để phân biệt hai loại sơ đồ mạng, loại truyền thống ta gọi là sơ đồ mạng sự kiện. Còn sơ đồ mạng nút công việc ta gọi là sơ đồ mạng công việc hay ngắn gọn hơn là sơ đồ mạng nút.

Như vậy, sơ đồ mạng (SDM) là danh từ dùng chung cho các phương pháp sơ đồ mạng.

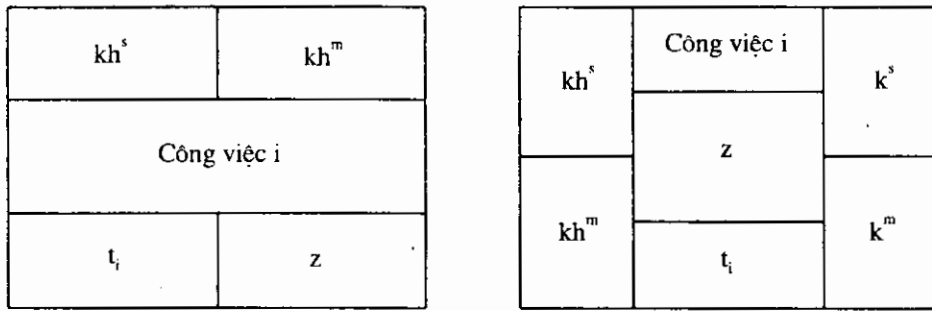
*SDM sự kiện là SDM trong đó nút thể hiện sự kiện.*

*SDM công việc là SDM trong đó nút thể hiện công việc gọi tắt là SDM nút.*

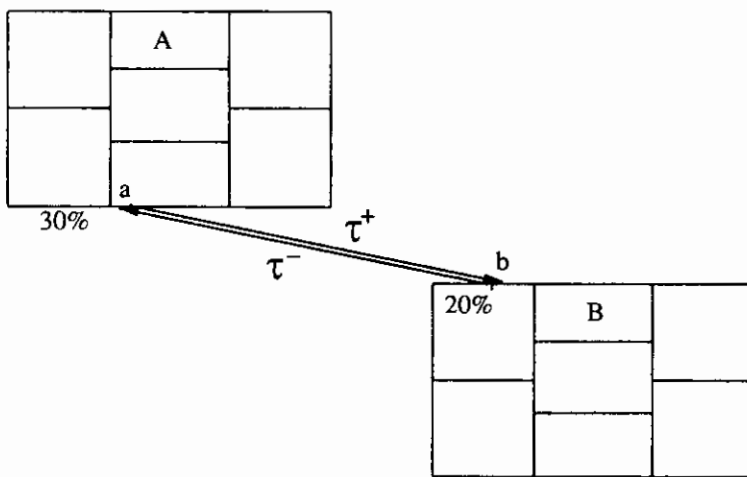
*Trong tài liệu này từ đây về sau chúng ta sẽ dùng hai danh từ SDM sự kiện và SDM nút.*

### 5.2. THỂ HIỆN SƠ ĐỒ MẠNG NÚT

Trong sơ đồ mạng nút các nút thể hiện một công việc. Giữa các công việc thể hiện sự phụ thuộc lẫn nhau. Nút của mạng thể hiện công việc có dạng hình chữ nhật, trong đó ghi các thông số (hình 5.1) của công việc. Tùy theo mục đích của người lập SDM mà các thông số ghi trong nút công việc cũng khác

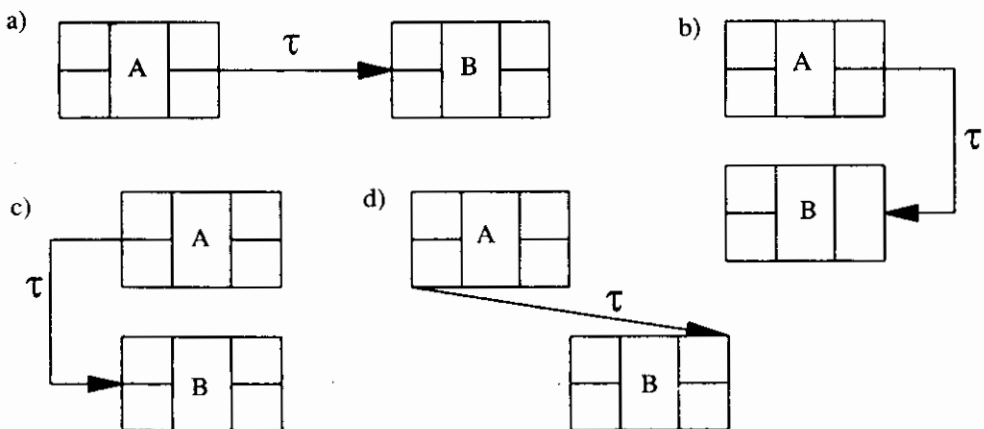


Hình 5.1. Thể hiện công việc trên mạng nút



Hình 5.2. Liên hệ giữa hai công việc A và B

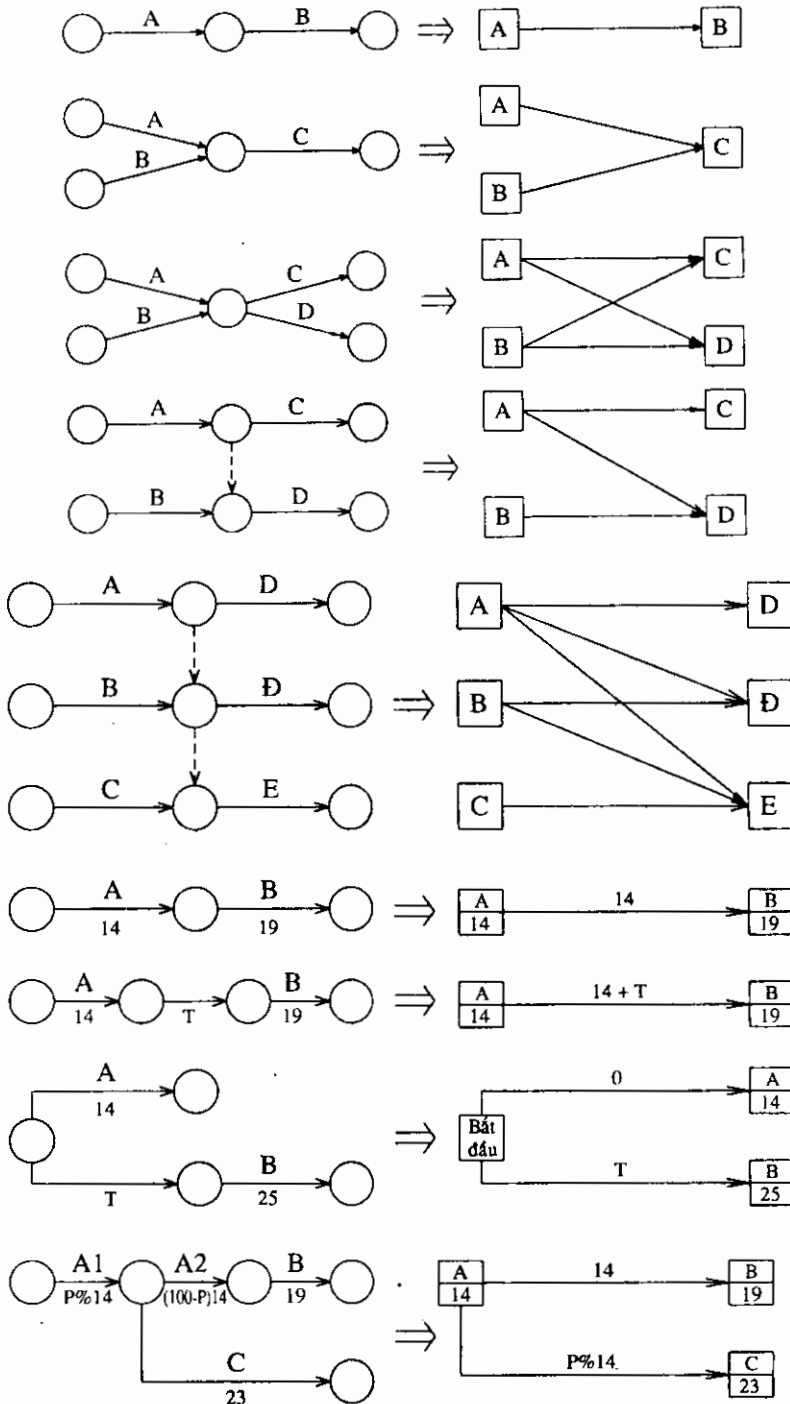
a, b- hai thời điểm liên hệ giữa hai việc;  $\tau$ - thời gian liên hệ giữa hai thời điểm.



Hình 5.3. Các trường hợp liên hệ giữa công việc

- a) Liên hệ kết thúc - bắt đầu FS;
- b) Liên hệ kết thúc - kết thúc FF;
- c) Liên hệ bắt đầu - bắt đầu SS;
- d) Liên hệ bắt đầu - kết thúc SF.

nhau. Nhưng các thông số chủ yếu (tên công việc  $i$ , thời gian thực hiện  $t_i$ , thời điểm khởi sớm  $Kh^s$ , thời điểm khởi muộn  $Kh^m$ ) đều phải có. Ngoài ra, người ta còn có thể ghi thêm các thông số cần quan tâm như chi phí các loại tài nguyên  $R$ , sử dụng vật liệu, máy móc, dự trữ ( $z$ ) của công việc.



Hình 5.4. Sự tương đồng giữa hai loại SDM  
a) Mạng sự kiện; b) Mạng nút.

Mối quan hệ giữa các công việc trong SDM nút thể hiện bằng các mũi tên, bao gồm chiều mũi tên và giá trị thời gian phụ thuộc đó. Thông thường người ta có thể thể hiện liên hệ giữa một thời điểm bất kỳ (a) của công việc này với một thời điểm (b) của công việc kia (hình 5.2).

Điểm liên hệ a và b thường lấy theo số % khối lượng công việc đã hoàn thành, còn thời gian liên hệ là điều kiện ràng buộc.

Ví dụ trên hình 5.2 công việc A phải hoàn thành 30% khối lượng công việc trước 7 ngày công việc B hoàn thành 20% khối lượng công việc.

Trong thực tế ta thường gặp các điểm liên hệ là lúc bắt đầu (S) và kết thúc (F). Trên hình 5.3 thể hiện các liên hệ đó.

Các mối liên hệ dễ dàng chuyển đổi từ quan hệ này sang quan hệ khác, phổ biến nhất là SS và FS. Chiều mũi tên có thể thuận từ công việc trước sang công việc sau thể hiện mối liên hệ không sớm hơn và chiều nghịch – thể hiện không muộn hơn.

Giá trị phụ thuộc  $\tau$  không sớm hơn mang dấu dương (+) và không muộn hơn mang dấu (-).

Với cách trình bày như vậy trên SDM nút không có việc ảo và những việc làm song song nối tiếp không phải tách ra thành nhiều việc như SDM sự kiện.

Tuy nhiên, giữa hai loại SDM sự kiện và nút luôn có sự tương đồng có thể chuyển đổi từ loại này sang loại kia. Trên hình 5.4 thể hiện một số trường hợp cụ thể.

## 5.3. TÍNH SƠ ĐỒ MẠNG NÚT

### 1. Trường hợp giữa các công việc chỉ có quan hệ thuận ( $\tau_i > 0$ )

Trường hợp mối quan hệ giữa các công việc là  $F_i S_j = 0$  hay  $S_i S_j = \tau_i$  khởi sớm của công việc xác định tương tự như trong SDM sự kiện bằng cách tìm đường đi dài nhất từ công việc đầu đến công việc đang xét.

$$Kh_j^s = \max \{L_{1j}\}. \quad (5.1)$$

Khởi muộn của công việc cũng tương tự đi ngược từ công việc cuối cùng tìm con đường dài nhất từ công việc đó đến công việc cuối cùng.

$$Kh_j^m = L_{\bar{g}} \max \{L_{jn}\} \quad (5.2)$$

Cụ thể nếu liên trước việc đang xét  $j$  chỉ có một công việc  $i$  thì :

$$Kh_j^s = Kh_i^s + t_i . \tag{5.3}$$

Nếu liên trước có nhiều việc e,g,h,i thì

$$Kh_j^s = \max \{ Kh_e^s + t_e ; Kh_g^s + t_g ; Kh_i^s + t_i \} . \tag{5.4}$$

Tương tự khi xét khởi muộn chỉ có một việc liên sau việc đang xét thì :

$$Kh_i^m = Kh_j^m - t_i \tag{5.5}$$

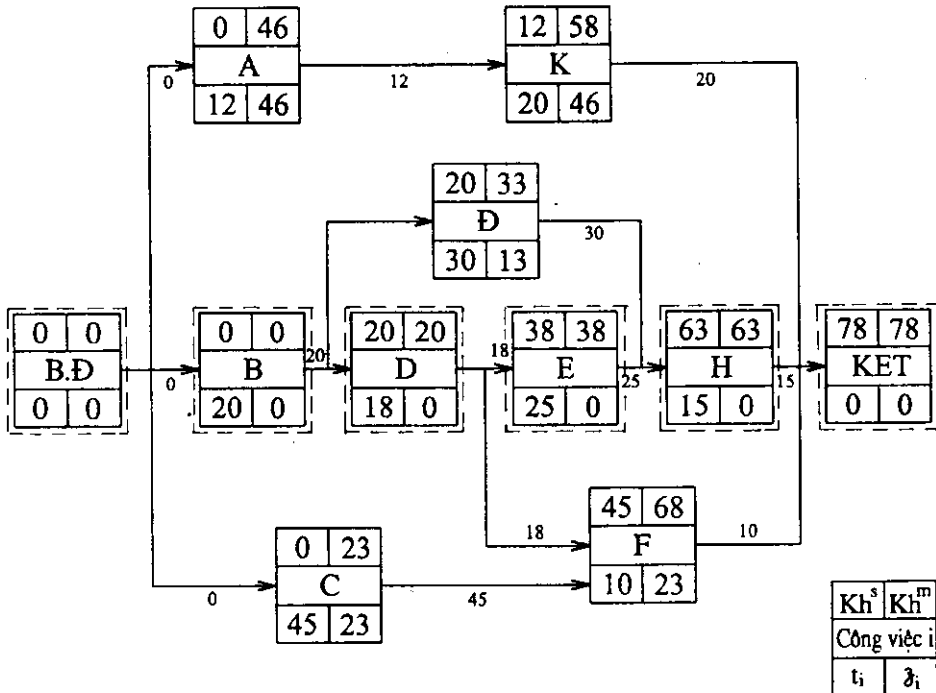
Nếu liên sau có nhiều việc (j, k, l, o, p) thì :

$$Kh_i^m = \min \{ Kh_j^m - t_i ; Kh_k^m - t_i ; Kh_p^m + t_i \} . \tag{5.6}$$

Dự trữ toàn phần của công việc xác định theo công thức (5.7) :

$$Z_i^1 = Kh_i^m - Kh_i^s . \tag{5.7}$$

Trên hình 5.5 trình bày ví dụ tính toán SDM nút với quan hệ thuận :



Hình 5.5. Tính toán SDM nút với quan hệ thuận

Xác định  $Kh^s$  của công việc:

Công việc bắt đầu (B.Đ) có khởi sớm là thời điểm lựa chọn, ở ví dụ này lấy là không (gốc trục tọa độ thời gian, cũng có thể lấy một ngày nào đó ta muốn).

Các công việc A, B, C đều chỉ có một việc liên trước là BĐ nên :

$$Kh_A^s = Kh_B^s = Kh_C^s = 0 + 0 = 0$$

Công việc D và Đ có một công việc liên trước B với khởi sớm bằng 0 và thời gian  $t_B = 20$  nên :

$$Kh_D^s = Kh_{\Delta}^s = 0 + 20 = 20$$

Công việc F có hai việc liên trước là D và C nên :

$$Kh_F^s = \max \{ Kh_D^s + t_D = 20 + 18; Kh_C^s + t_C = 0 + 45 \} = 45$$

Tương tự ta tính được các thông số còn lại :

$$Kh_K^s = Kh_A^s + t_A = 0 + 12 = 12$$

$$Kh_E^s = Kh_D^s + t_D = 20 + 18 = 38$$

$$Kh_H^s = \max \{ Kh_D^s + t_D = 20 + 30; Kh_E^s + t_E = 38 + 25 \} = 63$$

$$Kh_{KẾT}^s = \max \left\{ \begin{array}{l} Kh_K^s + t_K = 12 + 20 \\ Kh_H^s + t_H = 63 + 15 \\ Kh_F^s + t_F = 45 + 0 \end{array} \right\} = 78.$$

Các giá trị tính được ghi góc trái của hình chữ nhật.

Các thông số muộn ta bắt đầu từ công việc "kết" đi theo đường ngược chiều mũi tên. Ta có:

$$Kh_{KẾT}^s = Kh_{KẾT}^m = 78.$$

Các công việc K, H, F chỉ có một việc liên sau là "KẾT" với  $Kh_{KẾT}^m = 78$  nên ta có :

$$Kh_K^m = Kh_{KẾT}^m - t_K = 78 - 20 = 58$$

$$Kh_H^m = Kh_{KẾT}^m - t_H = 78 - 15 = 63$$

$$Kh_F^m = Kh_{KẾT}^m - t_F = 78 - 10 = 68$$

Công việc E, Đ chỉ có một việc liên sau là H nên :

$$Kh_E^m = Kh_H^m - t_E = 63 - 25 = 38$$

$$Kh_{\Delta}^m = Kh_H^m - t_{\Delta} = 63 - 30 = 33$$

Công việc D có hai việc liên sau là E và F nên :

$$Kh_D^m = \min \{ Kh_E^m - t_D = 38 - 18; Kh_F^m - t_D = 68 - 18 \} = 20$$

Các công việc còn lại tương tự ta tính được các thông số :

$$Kh_C^m = Kh_F^m - t_C = 68 - 45 = 23$$

$$Kh_A^m = Kh_K^m - t_A = 58 - 12 = 46$$

$$Kh_B^m = \min \{ Kh_D^m - t_B = 33 - 20; Kh_D^m - t_B = 20 - 20 \} = 0$$

$$Kh_{BD}^m = Kh_{BD}^s = 0$$

Dự trữ của các công việc tính theo công thức (5.7) :

$$z_A = Kh_A^m - Kh_A^s = 46 - 0 = 46$$

$$z_K = Kh_K^m - Kh_K^s = 58 - 12 = 46$$

$$z_D = Kh_D^m - Kh_D^s = 33 - 20 = 13$$

$$z_C = Kh_C^m - Kh_C^s = 23 - 0 = 23$$

$$z_F = Kh_F^m - Kh_F^s = 68 - 45 = 23$$

Các công việc B, D, E, H có  $Kh^s = Kh^m$ , không có dự trữ. Đây là những công việc căng, đường nối các công việc BĐ, B, D, E, H, KẾT là đường căng của SDM (trên hình 5.5 thể hiện bằng các ô chữ nhật đóng khung bằng đường nét đứt).

## 2. Trường hợp giữa các công việc có quan hệ ngược ( $\tau_i < 0$ ) sự bắt đầu không muộn hơn

Trong SDM thông thường sự phụ thuộc thường là thuận, sự bắt đầu, kết thúc công việc sau phụ thuộc vào các công việc đi trước. Trong thực tế nhiều khi công việc sau quyết định sự bắt đầu, kết thúc của công việc đi trước. Đó là các điều kiện đặt ra như thời điểm phải kết thúc công việc, phải bàn giao hay tiếp nhận vật tư máy móc ..., thời điểm kết thúc, chuyển giao các giai đoạn thi công. Từ những thời điểm đó ta quyết định các công việc liền trước phải bắt đầu muộn nhất bao nhiêu ngày để kế hoạch đạt mục đích đề ra.

Đưa những mối quan hệ ngược vào SDM nút là điểm khác biệt với SDM sự kiện chúng ta vẫn làm quen.

Ví dụ trên hình 5.6 trình bày một SDM nút đơn giản gồm năm công việc. Mối quan hệ giữa các công việc là thuận, riêng giữa C và D có mối quan hệ ngược (công việc D bắt đầu không muộn hơn 19 ngày kể từ khi bắt đầu công việc C).

Tính SDM nút có quan hệ ngược ta làm như sau :

**Bước 1:** Tính  $Kh^s$  theo chiều mũi tên thuận như phần a cùng mục.

**Bước 2:** Tính  $Kh^m$  theo chiều ngược của mũi tên từ công việc cuối trở về đầu. Đối với những công việc chỉ có một mối liên hệ thuận ta áp dụng công thức đã biết để tính (phần a).

Đối với công việc có quan hệ ngược đi ra ta tìm  $Kh^m$  như sau (công việc j) :

$$Kh_j^m = \min \{ Kh_i^m - (-\tau_i); Kh_k^m - \tau_j \}, \quad (5.8)$$

trong đó: i - công việc liền trước j;

j - công việc có quan hệ ngược;

k - công việc liền sau j.

Đối với công việc có liên hệ ngược đi vào ta tính như công việc bình thường:

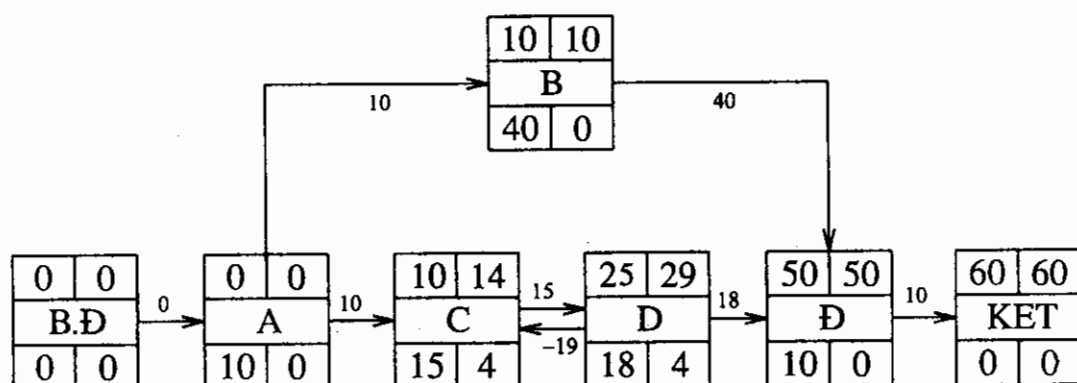
$$Kh_i^m = Kh_j^m - \tau_i \quad (5.9)$$

trong đó: i - công việc có liên hệ ngược đi vào;

j - công việc có liên hệ ngược đi ra;

$\tau_i$  - quan hệ thuận  $S_i S_j$ .

Trên hình 5.6 trình bày ví dụ tính SDM nút với năm công việc A, B, C, D, Đ trong đó giữa công việc C, D có mối liên hệ ngược.



Hình 5.6. Tính SDM nút có quan hệ ngược

**Bước 1:** Tính  $Kh^s$  theo chiều mũi tên ta áp dụng công thức (5.3), (5.4) kết quả ghi vào góc trái trên ô vuông.

**Bước 2:** Tính  $Kh^m$  theo chiều ngược của mũi tên bắt đầu công việc kết thúc "KẾT" có  $Kh_{KẾT}^m = Kh_{KẾT}^s = 60$



Các công việc còn lại áp dụng công thức (5.8), (5.9) ta có :

$$Kh_D^m = 60 - 10 = 50$$

$$Kh_B^m = 50 - 40 = 10$$

$$Kh_D^m = \min \{ Kh_C^m - (-\tau_D) = 10 - (-19); Kh_D^m - \tau_D = 50 - 18 \} = 29$$

$$Kh_C^m = Kh_D^m - t_C = 29 - 15 = 14$$

$$Kh_A^m = \min \{ Kh_B^m - t_A = 10 - 10; Kh_C^m - t_A = 14 - 10 \} = 0$$

Kết quả ghi vào góc phải trên của hình chữ nhật.

Dự trữ của công việc tính theo công thức (5.7). Ta có :

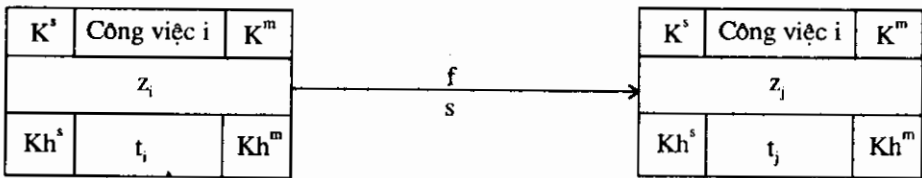
$$Z_C = 14 - 10 = 4 ;$$

$$Z_D = 29 - 25 = 4.$$

Các công việc còn lại có  $Kh^s = Kh^m$  nên  $z = 0$  đó là các công việc găng (A, B, D).

**3. Trường hợp giữa các công việc có hai mối liên hệ  $S_i S_j = s_{ij}$  và  $F_i F_j = f_{ij}$**

SĐM nút có thể hiện mối quan hệ S.S và F.F cho ta biết khoảng thời gian công việc sau bắt đầu muộn hơn công việc trước và tương tự khoảng cách giữa kết thúc của hai việc liên nhau. Điều đó cho biết thời gian các việc có liên quan cùng thực hiện song song, khi tính trên hình chữ nhật có ghi đầy đủ  $Kh^s, K^s, Kh^m, K^m$  cùng dự trữ công việc (hình 5.7)



Hình 5.7. Sơ đồ mạng nút có hai mối liên hệ.  $f = F.F; s = S.S$

Phương pháp tính các thông số sơ đồ mạng nút với hai mối liên hệ  $f, s$  không khác so với SĐM sự kiện. Trên hình 5.8 trình bày một ví dụ minh họa.

**1) Xác định khởi sớm công việc  $Kh^s$**

Bắt đầu từ công việc đầu tiên theo chiều mũi tên đến công việc cuối cùng giống như trong SĐM sự kiện. Mỗi một hình chữ nhật coi như một sự kiện, thời gian giữa các sự kiện là  $s$ . Vậy :

$$Kh_j^s = Kh_i^s + S_{ij} \quad (5.10)$$

ở đây trước công việc  $j$  chỉ có một việc  $i$ . Trong trường hợp trước  $j$  có nhiều công việc ( $g, h, i$ ) khởi sớm xác định theo công thức quen thuộc (5.11):

$$Kh_j^s = \max \{ Kh_g^s + s_{gj}; Kh_h^s + s_{hj}; Kh_i^s + s_{ij} \} \quad (5.11)$$

Cụ thể mạng trên hình 5.8 ta có:

$$Kh_A^s = 0$$

$$Kh_B^s = Kh_A^s + s_{A,B} = 0 + 4 = 4$$

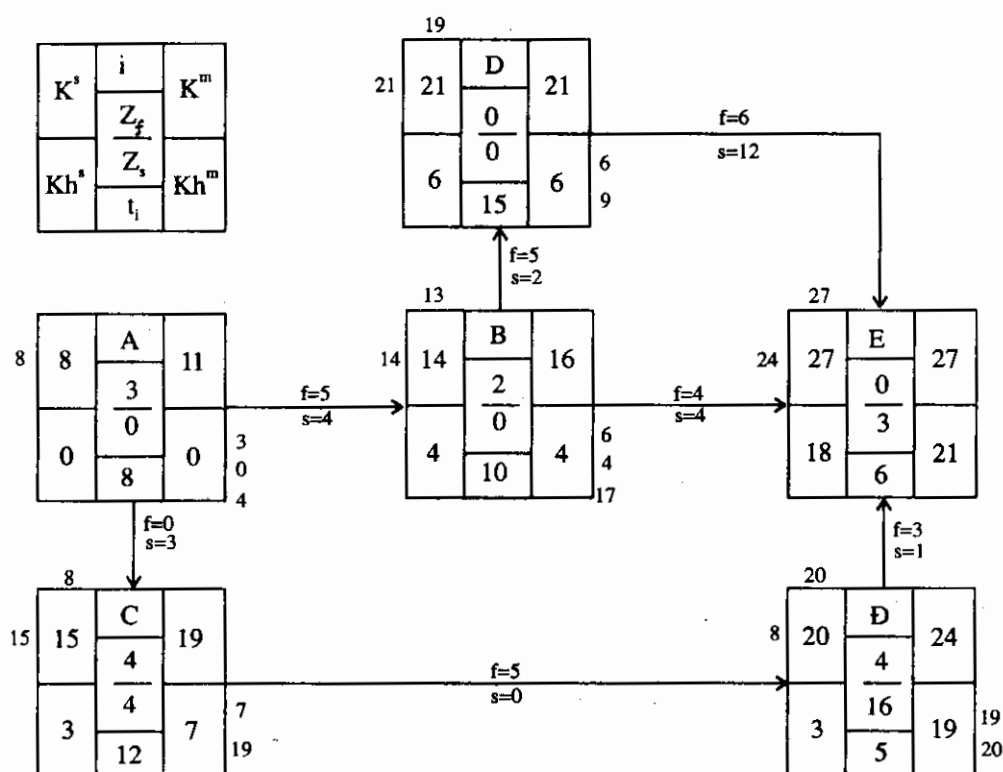
$$Kh_C^s = Kh_A^s + s_{A,C} = 0 + 3 = 3$$

$$Kh_D^s = Kh_B^s + s_{B,D} = 4 + 2 = 6$$

$$Kh_E^s = Kh_C^s + s_{C,E} = 3 + 0 = 3$$

$$Kh_E^s = \max \{ Kh_D^s + s_{DE} = 6 + 12 = 18;$$

$$Kh_B^s + s_{BE} = 4 + 4 = 8; Kh_C^s + s_{CE} = 3 + 1 = 4 \} = 18$$



Hình 5.8. Tính SDM nút hai mối liên hệ FF và SS

2) *Xác định kết sớm của công việc*

Kết sớm của công việc phụ thuộc hai mối liên hệ : khởi sớm của chính nó và kết sớm của việc liền trước. Thông số kết sớm được xác định theo công thức (5.12) :

$$K_j^s = \max \{ Kh_j^s + t_j ; K_i^s + f_{ij} \} \quad (5.12)$$

Cụ thể với sơ đồ mạng nút hình 5.8 ta tính được:

$$K_A^s = Kh_A^s + t_A = 0 + 8$$

$$K_B^s = \max \left\{ \begin{array}{l} Kh_B^s + t_B = 4 + 10 \\ K_A^s + f_{AB} = 8 + 5 \end{array} \right\} = 14 ;$$

$$K_C^s = \max \left\{ \begin{array}{l} Kh_C^s + t_C = 3 + 12 \\ K_A^s + f_{AC} = 8 + 0 \end{array} \right\} = 15 ;$$

$$K_D^s = \max \left\{ \begin{array}{l} Kh_D^s + t_D = 6 + 15 \\ K_B^s + f_{BD} = 14 + 5 \end{array} \right\} = 21 ;$$

$$K_D^s = \max \left\{ \begin{array}{l} Kh_D^s + t_D = 3 + 5 \\ K_C^s + f_{CD} = 15 + 5 \end{array} \right\} = 20 .$$

Đối với công việc E vì có ba việc liền trước nên xác định  $K_E^s$  phải so sánh cả ba hướng để lấy giá trị lớn nhất.

$$K_E^s = \max \{ Kh_E^s + t_E = 18 + 6 ; K_B^s + f_{BE} = 14 + 4 ; K_D^s + f_{DE} = 21 + 6 ; K_D^s + f_{DE} = 20 + 3 \} = 27$$

Khi tính trực tiếp trên sơ đồ các kết quả trung gian  $Kh^s + t$  và  $K^s + f$  ta ghi bên ngoài góc trái hình chữ nhật, sau đó chọn giá trị lớn nhất ghi vào góc trong trên bên trái hình chữ nhật (xem hình 5.8)

3) *Xác định kết muộn của công việc*

Bắt đầu từ công việc cuối cùng ta lấy  $K_n^s = K_n^m$  . Các công việc còn lại ta tính ngược chiều mũi tên đến công việc đầu tiên. Khi tính  $K^m$  ta coi các hình chữ nhật công việc như sự kiện trong mạng sự kiện, thời gian giữa các công việc để tính là  $f_{ij}$  . Kết muộn của công việc liền trước tính theo công thức (5.13) :

$$K_i^m = K_j^m - f_{ij} \quad (5.13)$$

Khi có nhiều công việc liền sau (j, k, l)  $K_i^m$  tính theo công thức (5.14) :

$$K_i^m = \min \{ K_j^m - f_{ij}; K_k^m - f_{ik}; K_e^m - f_{ie} \}. \quad (5.14)$$

Cụ thể trong thí dụ ở hình (5.8) ta tính được :

$$K_D^m = K_E^m - f_{DE} = 27 - 6 = 21$$

$$K_D^m = K_E^m - f_{DE} = 27 - 3 = 24$$

$$K_C^m = K_D^m - f_{CD} = 24 - 5 = 19$$

$$K_B^m = \min \{ K_E^m - f_{BE} = 27 - 4; K_D^m - f_{BD} = 21 - 5 \} = 16$$

$$K_A^m = \min \{ K_B^m - f_{AB} = 16 - 5; K_C^m - f_{AC} = 19 - 0 \} = 11$$

#### 4) Xác định khởi muộn của công việc ( $Kh_i^m$ )

Khởi muộn của công việc phụ thuộc hai mối quan hệ đó là kết muộn của chính công việc đó và khởi muộn của công việc liền sau. Ta coi công việc như sự kiện trong SĐM sự kiện khoảng thời gian giữa hai "sự kiện" là quan hệ  $S_i S_j = s_{ij}$ . Khi tính khởi muộn ta bắt đầu từ công việc cuối cùng ngược chiều mũi tên về công việc đầu tiên. Theo công thức (5.15) :

$$Kh_i^m = \min \{ K_i^m - t_i; Kh_j^m - s_{ij} \} \quad (5.15)$$

khi liền sau  $i$  chỉ có một việc  $j$ . Theo công thức (5.16) nếu sau  $i$  có nhiều việc ( $j, k, h \dots$ ) :

$$Kh_i^m = \min \{ K_i^m - t_i; Kh_j^m - s_{ij}; Kh_h^m - s_{ih} \}. \quad (5.16)$$

Cụ thể với thí dụ trên SĐM hình 5.8 ta tính được :

$$K_E^m = K_E^s = 27;$$

$$Kh_E^m = K_E^s - t_E = 27 - 6 = 21;$$

$$Kh_D^m = \min \{ K_D^m - t_D = 24 - 5; Kh_E^m - s_{DE} = 21 - 1 \} = 19;$$

$$Kh_D^m = \min \{ K_D^m - t_D = 21 - 15; Kh_E^m - s_{DE} = 21 - 12 \} = 6;$$

$$Kh_C^m = \min \{ K_C^m - t_C = 19 - 12; Kh_D^m - s_{CD} = 19 - 0 \} = 7.$$

Với công việc B có hai đường từ D và E đi tới nên :

$$Kh_B^m = \min \{ K_B^m - t_B = 16 - 10; Kh_E^m - s_{BE} = 21 - 4;$$

$$Kh_D^m - s_{BD} = 6 - 2 \} = 4;$$

$$Kh_A^m = \min \{ K_A^m - t_A = 11 - 8; Kh_B^m - s_{AB} = 4 - 4;$$

$$Kh_C^m - s_{AC} = 7 - 3 \} = 0.$$

Khi tính trực tiếp trên sơ đồ cũng giống như khi xác định kết sớm các giá trị trung gian ( $K^m - t$  và  $Kh^m - s$ ) ghi bên ngoài góc dưới hình chữ nhật. Sau đó giá trị nhỏ nhất trong những giá trị đó sẽ ghi vào góc dưới bên phải (xem hình 5.8)

#### 5) Dự trữ

Dự trữ trong SDM nút là hiệu của các thông số khởi muộn và khởi sớm hoặc kết muộn và kết sớm. Trong SDM nút hai hiệu số đó không luôn luôn bằng nhau nên dự trữ công việc là số nhỏ trong hai số đó. Vây đường găng trong SDM nút là đường đi qua những công việc có dự trữ bằng không. Tuy nhiên, cũng là việc thuộc đường găng nhưng có việc găng cả thời điểm khởi đầu và kết thúc nhưng cũng có những việc chỉ găng ở thời điểm khởi đầu hoặc kết thúc.

Trên hình 5.8 các công việc găng là A, B, D, E trong đó D găng cả hai đầu còn A, B găng khởi đầu, E găng ở điểm kết thúc.

#### 4. SDM nút có nhiều mối liên hệ

Ở mục a, b, c cùng mục trình bày các trường hợp tính toán SDM thường gặp. Các trường hợp còn lại trong đó có trường hợp đầy đủ các mối liên hệ về lý thuyết vẫn có thể có. Khi gặp các trường hợp có nhiều mối quan hệ trước khi tính toán ta cần loại bỏ những mối liên hệ trái ngược nhau (liên hệ nào không hợp lý loại bỏ). Sau đó mới thực hiện tính toán.

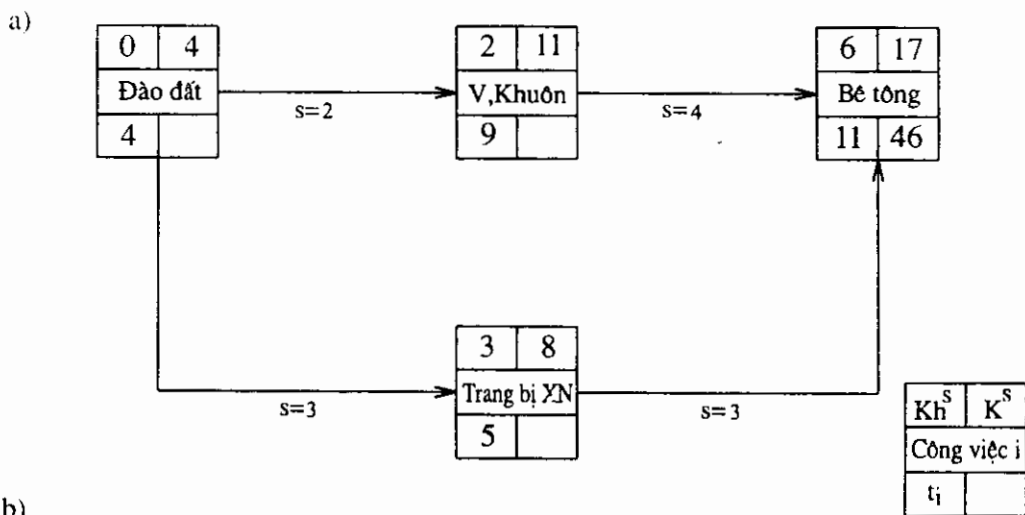
Cách tính toán cũng tương tự như đã trình bày trên đây.

## 5.4. CHUYỂN SDM NÚT SANG SƠ ĐỒ NGANG

Để tiện cho việc theo dõi, điều hành, các tiến độ lập theo SDM nút được chuyển sang sơ đồ ngang (Gantt). Khi dùng chương trình máy tính người ta cũng thường thể hiện kết quả trên sơ đồ ngang không qua giai đoạn thể hiện mạng nút.

Nguyên tắc chuyển SDM nút sang sơ đồ ngang sao cho hình thức thể hiện gần với ý đồ thể hiện tiến độ. Các thông số tính toán của công việc sẽ được thể hiện đầy đủ. Phía bên phải là biểu đồ lấy thời gian làm trục. Phía bên trái là các số liệu về công việc (tên, ký hiệu, thời gian thi công, nhân lực, tài nguyên, tiền vốn, mối quan hệ...). Mỗi công việc thể hiện một đường ngang bắt đầu từ  $Kh^s$  kết thúc ở  $K^m$ . Trên biểu đồ tiến độ thể hiện đoạn liền nét là công việc thực hiện, đoạn đứt đoạn (vẽ mờ) là dự trữ.

Trên hình 5.9 trình bày một thí dụ chuyển SDM nút có mối liên hệ S.S sang biểu đồ ngang.



b)

Công việc	Thời gian																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Đào đất	[Bar from 1 to 4]																	
Ván khuôn		[Bar from 2 to 5]																
Bê tông			[Bar from 3 to 7]															
Trang bị XN		[Bar from 2 to 4]																

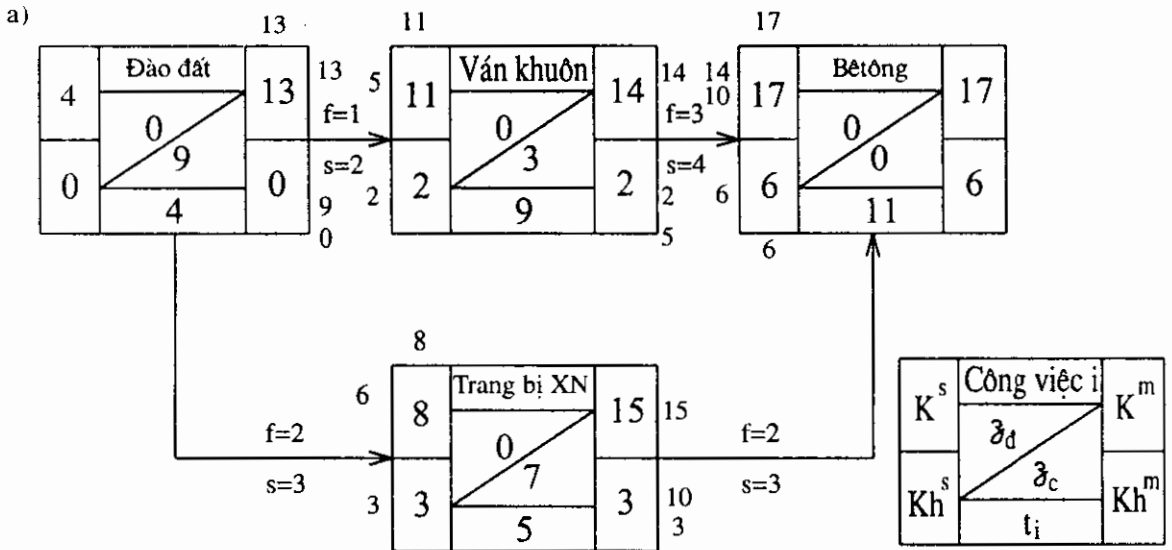
Hình 5.9. Chuyển SDM nút một mối liên hệ S.S sang biểu đồ ngang

Về SDM này sau khi tính toán ta thấy chỉ quan tâm đến thời điểm khởi đầu của các công việc nên các công việc được thể hiện với sự liên quan đến các thời điểm bắt đầu.

Trên hình 5.10 trình bày SDM nút có hai mối liên hệ S.S và F.F sang sơ đồ ngang. Sau khi tính toán (hình 5.10a) có đủ thông số ta thể hiện trên biểu đồ ngang với các thông số tính được (hình 5.10b).

Trên biểu đồ thể hiện mối liên hệ đầu và cuối của các công việc liên nhau. Các công việc đều không có dự trữ đầu ( $z_d = 0$ ). Các công việc đào đất, ván khuôn và sản xuất xi nghiệp không có dự trữ đầu ( $z_d = 0$ ) đều có dự trữ cuối tương ứng là 9; 3; 7.

Các công việc không có dự trữ (găng) phải thực hiện đúng thời gian ấn định. Các công việc không có dự trữ đều phải bắt đầu công việc đúng hạn  $Kh^s$ .



b)

Công việc	Thời gian																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
Đào đất	-----																					
Ván khuôn			-----																			
Bê tông																						
Sản xuất XN		3															2					

Hình 5.10. Chuyển SDM nút có hai mối liên hệ S.S và F.F sang biểu đồ ngang

### 5.5. SƠ ĐỒ MẠNG PERT

Sơ đồ mạng là một hình thức thể hiện đồng bộ các công việc cần thiết để thi công xây dựng công trình. Khi phân tích SDM nhờ có những thông số cho ta biết tình hình thi công công trình để tìm cách lập kế hoạch và chỉ đạo thực hiện.

Một trong những thông số chủ yếu trong SDM là thời hạn hoàn thành các công việc ( $t_{ij}$ ). Chất lượng của SDM và hiệu quả của việc quản lý điều hành tiến độ phụ thuộc rất nhiều vào độ chính xác của thông số thời gian. Thông số thời gian thực hiện các công việc chính xác càng cao thì SDM càng sát thực tế, các biện pháp điều hành thi công càng có hiệu quả.

Trong các mục trước chúng ta đã nghiên cứu SDM với các thông số thời gian xác định. Để có các thông số thời gian hoàn thành công việc trong lập kế hoạch xây dựng người ta thường dựa trên các định mức. Tuy nhiên, trong định mức chỉ có những công việc những chi phí thời gian đạt độ chính xác cao, còn những công việc điều kiện thi công phụ thuộc nhiều yếu tố khách quan nên tính xác định rất thấp (định mức không phản ánh đầy đủ).

Một khi kế hoạch bao gồm những yếu tố không xác định thì việc hoàn thành đúng dự định có tính ngẫu nhiên. Để đánh giá khả năng hoàn thành kế hoạch người ta dựa vào phương pháp phân bố xác suất. Đó là nội dung chủ yếu của phương pháp SDM "P.E.R.T" (Program Evaluation and Review Technique).

Bản chất của phương pháp PERT là đưa yếu tố không xác định vào ước lượng thời gian thực hiện các công việc và hoàn thành dự án. Vì những công việc không đủ dữ kiện để người ta xác định thời hạn hoàn thành chính xác dẫn đến việc hoàn thành dự án cũng có độ tin cậy khác nhau.

Phương pháp PERT lấy thời gian trung bình mong muốn ( $t_c$ ) kèm theo một đại lượng đo độ không xác định của thời gian thực hiện công việc vào lập kế hoạch và đánh giá khả năng hoàn thành dự án. Đại lượng đó là độ lệch chuẩn ( $\sigma_c$ ) hay phương sai ( $v_c$ ) của thời gian trung bình mong muốn.

Thời gian trung bình mong muốn là thời gian ước lượng có khoảng 50% khả năng thực hiện sớm hơn và 50% khả năng thực hiện muộn hơn. Để xác định giá trị đó mỗi công việc cần phải có hàm phân bố xác suất thực hiện. Do không có thông tin về phân bố xác suất thời gian thực hiện công việc vì nó có nhiều biến động ngẫu nhiên và kéo dài nên người ta phải giả thiết một hàm phân bố phù hợp với từng công việc.

Dựa trên ước lượng những giá trị thời gian nằm trong đường cong lý thuyết cho phép suy ra bằng toán học giá trị trung bình mong muốn với độ lệch chuẩn và phương sai của nó (hình 5.11)

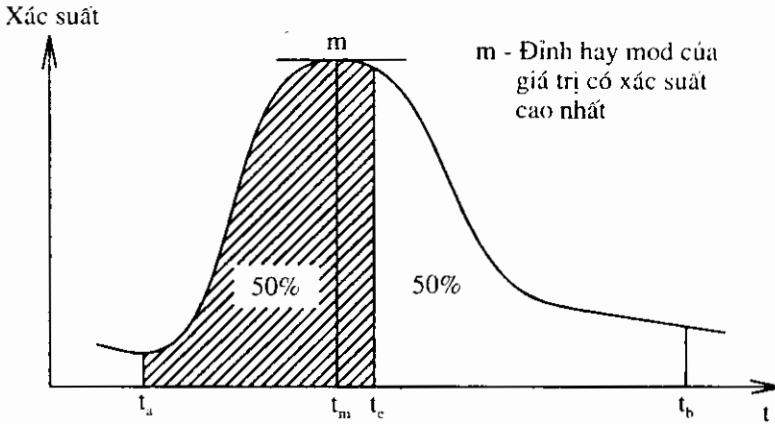
Ba giá trị đó là :

*Thời gian lạc quan  $t_a$*  : là thời gian công việc hoàn thành sớm nhất khi gặp điều kiện đặc biệt thuận lợi.

*Thời gian có xác suất cao nhất  $t_m$* : là thời hạn hoàn thành công việc có nhiều khả năng xảy ra nhất.

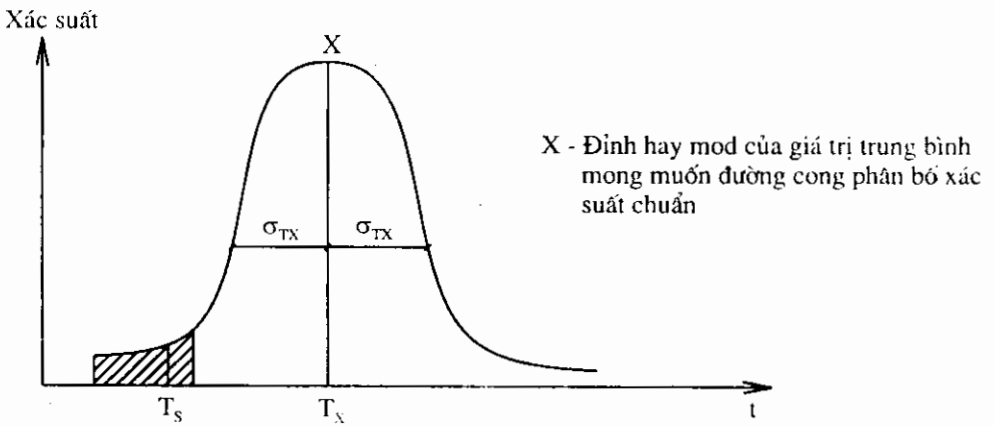
*Thời gian bi quan  $t_b$*  : là thời gian tối đa (muộn nhất) hoàn thành công việc khi gặp điều kiện khó khăn nhất.





Hình 5.11. Đường cong phân bố xác suất thời gian hoàn thành công việc

Khi ước lượng ba giá trị thời gian này người lập kế hoạch đã lường trước được những khó khăn thuận lợi khi thực hiện công việc. Sau khi ước lượng ba giá trị đó làm sườn người ta thiết lập đường cong phân bố xác suất thời gian thực hiện công việc. Đường cong phân bố giả thiết có dạng hàm  $\beta$  (hình 5.12).



Hình 5.12. Xác suất gặp thời gian mong muốn  $T_s$

Thời gian trung bình mong muốn được xác định theo công thức :

$$t_e = (t_a + 4t_m + t_b) / 6 \tag{5.16}$$

Độ lệch chuẩn là sự tản mạn của đường cong phân bố xung quanh giá trị trung bình của nó tính theo công thức:

$$\sigma_e = (t_b - t_a) / 6 \tag{5.17}$$

Phương sai là bình phương độ lệch chuẩn:

$$v_e = \sigma_e^2 = \{(t_b - t_n)/6\}^2. \quad (5.18)$$

Giá trị độ lệch chuẩn cho ta biết trước độ không xác định của giá trị ước lượng. Độ lệch chuẩn càng lớn thì độ không xác định càng cao.

Sau khi xác định được thời gian mong muốn thì SDM, đường găng được tính như trong phương pháp CPM. Song trong phương pháp PERT thời gian thực hiện còn có độ lệch chuẩn và phương sai của nó. Các thông số thời gian tính được là trung bình mong muốn. Thời gian thực hiện dự án là tổng số thời gian trung bình mong muốn của các công việc nằm trên đường găng nên nó cũng là thời gian trung bình mong muốn hoàn thành của dự án.

Giả thiết thời gian thực hiện các công việc là độc lập với nhau thì phương sai của thời gian thực hiện dự án là tổng các phương sai riêng của các công việc nằm trên đường găng. Đó là :

$$v_{T_{xp}} = \sum v_{tc} = \sum (\sigma_{tc})^2, \quad (5.19)$$

trong đó  $T_{xp}$  là thời gian trung bình hoàn thành dự án mong muốn cũng là thời gian trung bình mong muốn của sự kiện cuối và độ lệch chuẩn của nó ( $\sigma_{tx}$ ).

Một khi biết  $T_{xp}$  và  $\sigma_{tx}$  theo lý thuyết xác suất ta có thể xác định khả năng gặp thời gian mong muốn hoàn thành dự án  $T_s$ . Xác suất gặp  $T_s$  xác định bằng số % miễn cắt bởi thời gian này so với diện tích chung nằm dưới đường cong phân bố chuẩn (hình 5.12).

Cách xác định xác suất gặp  $T_s$  tiến hành như sau:

Tính giá trị  $Z = (T_s - T_x) / \sigma_{tx}$ . (5.20)

Dùng bảng 5.1 tra để tìm xác suất gặp  $T_s$  qua  $Z$ .

Ví dụ : tiến độ xây dựng một công trình được thể hiện bằng sơ đồ mạng (hình 5.13). Thời gian thi công các công việc đều không xác định mà được ước lượng bằng ba đại lượng  $t_a$ ,  $t_m$ ,  $t_b$  (bảng 5.2)

Để đánh giá khả năng hoàn thành dự án với thời gian kế hoạch khác nhau ta áp dụng phương pháp PERT. Các bước tiến hành như sau:

**Bước 1:** Tính thời gian trung bình mong muốn của các công trình theo công thức (5.16) và độ lệch chuẩn cũng như phương sai của nó theo công thức (5.17) và (5.18). Kết quả cũng ghi vào bảng 5.2.

**Bảng 5.1**

Z	Xác suất	Xác suất	Z
-2	0,02	0,98	2,0
-1,5	0,07	0,93	1,5
-1,3	0,10	0,90	1,3
-1,0	0,16	0,84	1,0
-0,9	0,18	0,82	0,9
-0,8	0,21	0,79	0,8
-0,7	0,24	0,76	0,7
-0,6	0,27	0,73	0,6
-0,5	0,31	0,69	0,5
-0,4	0,34	0,66	0,4
-0,3	0,38	0,62	0,3
-0,2	0,42	0,58	0,2
-0,1	0,46	0,54	0,1
0	0,50	0,50	0

**Bảng 5.2**

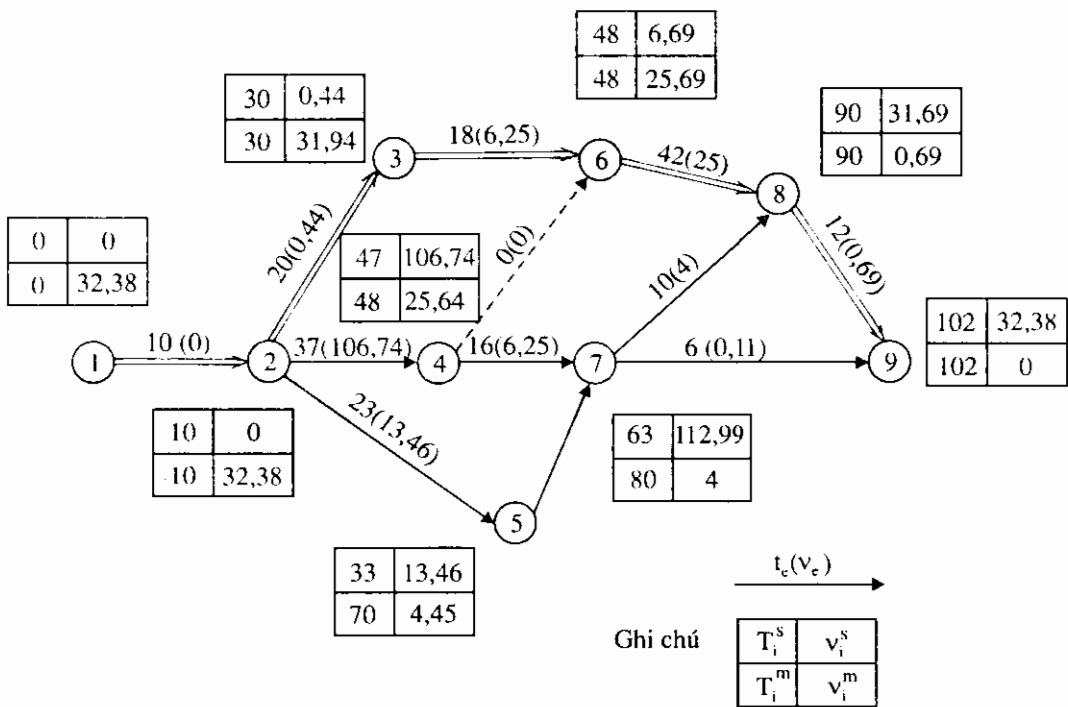
TT	Công việc	Thời gian ước lượng					
		$t_a$	$t_m$	$t_b$	$t_e$	$\sigma_{te}$	$\gamma_{te}$
1	1 – 2	10	10	10	10	0	0
2	2 – 3	18	20	22	20	0,67	0,44
3	2 – 4	20	30	82	37	10,33	106,74
4	2 – 5	18	20	40	23	3,67	13,46
5	3 – 6	10	18	25	18	2,5	6,25
6	4 – 6	0	0	0	0	0	0
7	4 – 7	10	15	25	16	2,50	6,25
8	5 – 7	8	10	12	10	0,67	0,45
9	6 – 8	30	40	60	42	5,00	25
10	7 – 8	8	8	20	10	2,00	4
11	7 – 9	5	6	7	6	0,33	0,11
12	8 – 9	10	12	15	12	0,83	0,69

**Bước 2:** Viết các giá trị công việc  $t_e$  và  $v_e$  của các công việc trên SDM. Như vậy, mỗi công việc có giá trị thời gian ước lượng với phương sai tương ứng (xem hình 5.13).

**Bước 3:** Tính SDM theo phương pháp CPM để xác định  $T_x$  của sự kiện cùng với phương sai  $v_x$  của nó (xem hình 5.13). Ở đây  $T_x$  là thời gian xuất hiện sự kiện trung bình mong muốn (có thể là  $T^s$  hoặc  $T^m$ ).

**Bước 4:** tính  $v_x$  theo công thức (5.19) của sự kiện cần đánh giá và  $\sigma_x = \sqrt{v_x}$  thường là sự kiện cuối cùng vì  $T_x$  của sự kiện cuối cùng cũng là giá trị trung bình mong muốn hoàn thành dự án.

**Bước 5:** Đánh giá khả năng hoàn thành dự án (kế hoạch) với thời gian kế hoạch đề ra bằng cách tính Z theo (5.20) và tra bảng 5.1 để tìm xác suất gặp  $T_x$  (thời gian kế hoạch).



Hình 5.13. Sơ đồ mạng xây dựng công trình

Cụ thể ở thí dụ trên ta tính được đường găng đi qua sự kiện 1, 2, 3, 6, 8, 9 với  $T_x^s = 102$  ngày có phương sai  $v_x = 32,38$  ;  $\sigma_x = 5,69$ . Nếu kế hoạch chọn thời gian là  $T_x = 80, 90, 100, 110$  ngày thì xác suất dự án hoàn thành sẽ tương ứng là: (xem bảng 5.3). Theo kết quả của bảng 5.3 thì nếu muốn kế hoạch hoàn thành với xác suất trên 90% thì phải cho thời hạn thi công lớn hơn 110 ngày.

**Bảng 5.3**

Sự kiện	$T_x$	$\sigma_{T_x}$	$T_s$ (kế hoạch)	Z	Xác suất hoàn thành kế hoạch %
9	102	5,69	80	- 3,87	<2%
			90	- 2,1	≈ 2%
			100	- 0,35	36%
			110	+ 1,40	91,5%

Tương tự nếu ta chọn  $T_x$  là thời hạn hoàn thành kế hoạch thì thời hạn khởi muộn của các công việc cùng với phương sai của nó sẽ được tính như xác định các thông số muộn của sự kiện. Cái khác ở đây là giá trị tìm được chỉ là trung bình mong muốn. Đánh giá khả năng bắt đầu công việc theo kế hoạch cũng dựa vào xác suất như đánh giá hoàn thành công việc.

Trên hình 5.13 các giá trị muộn của công việc được ghi vào hàng dưới của ô hình chữ nhật.



# TÀI LIỆU THAM

---

1. *Trần Trung Ý.*

TỔ CHỨC XÂY DỰNG - LÝ THUYẾT DÂY CHUYỀN XÂY  
Trường đại học xây dựng Hà Nội, 1981.

2. *Trần Trung Ý.*

TỔ CHỨC XÂY DỰNG.  
Trường đại học xây dựng Hà Nội, 1991.

3. *Nguyễn Văn Chơn.*

QUẢN LÝ NHÀ NƯỚC VỀ KINH TẾ VÀ QUẢN TRỊ KINH  
TRONG XÂY DỰNG.  
Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội, 1999.

4. *Tủ sách Đại học kinh tế quốc dân.*

TOÁN KINH TẾ PHỔ THÔNG, tập 3, Hà Nội, 1972.

5. *Nguyễn Quang Thái, Hoàng Phong Oanh.*

PHƯƠNG PHÁP SƠ ĐỒ MẠNG LƯỚI.  
Đại học tổng hợp Hà Nội, 1972.

6. *Lê Văn Kiểm.*

NHỮNG BÀI TOÁN KINH TẾ TRONG XÂY DỰNG.  
Đại học xây dựng Hà Nội, 1988.

7. MỘT SỐ VĂN BẢN HƯỚNG DẪN THỰC HIỆN QUY CHẾ QUẢN L  
XÂY DỰNG.

Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội, 2000.

8. *Lê Kiều.*

HƯỚNG DẪN LẬP KẾ HOẠCH (TIẾN ĐỘ) XÂY DỰNG.  
Trường đại học xây dựng Hà Nội, 1985.

9. *Kelley, j.E.*

CRITICAL PATH PLANNING AND SHEDULING MATHE  
BASIC, OPERATION RESRARCH.  
Stokholm, 1971.

10. *М.С. Будников, П.И. Недавний, В.И. Рыбальский*  
ОСНОВЫ - ПОТОЧНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА.  
Киев, 1961.
11. *Иван Х. Сакарев.*  
ОРГАНИЗАЦИЯ НА СТРОИТЕЛЬСТВОТО.  
София, 1977.
12. *Иван Х. Сакарев, А.С. Янчулев, М.П. Младенов.*  
КАЛЕНДАРНО ПЛАНИРАНЕ НА СТРОИТЕЛЬСТВОТО.  
София, 1978.
13. *Проф. И.Г. Галкина.*  
ОРГАНИЗАЦИЯ, ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ.  
Москва, 1978.
14. *Л.К. Дикман.*  
ОРГАНИЗАЦИЯ, ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ.  
Москва, 1977.
15. *И.Г. Бородин.*  
СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВОМ.  
Москва, 1976.
16. *Б.И. Шикоров.*  
ЭКОНОМИКО - МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДИ  
ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.  
Москва, 1976.



# MỤC LỤC

Trang

LỜI GIỚI THIỆU.....	III
LỜI NÓI ĐẦU.....	V
<b>1 KHÁI NIỆM VỀ CHUYÊN NGÀNH TỔ CHỨC XÂY DỰNG.....</b>	<b>1</b>
1.1. Nhiệm vụ và mục đích của chuyên ngành tổ chức xây dựng.....	1
1.2. Đặc điểm của chuyên ngành sản xuất xây dựng.....	3
1.3. Hướng phát triển của chuyên ngành sản xuất xây dựng.....	4
1.4. Các bước thiết kế, các loại thiết kế trong xây dựng cơ bản.....	8
1.5. Thiết kế công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp.....	13
1.6. Thiết kế tổ chức xây dựng.....	16
<b>2 LẬP TIẾN ĐỘ TRONG SẢN XUẤT XÂY DỰNG.....</b>	<b>23</b>
2.1. Nhiệm vụ và nội dung của lập kế hoạch lịch (tiến độ).....	23
2.2. Các bước lập tiến độ.....	25
2.3. Thể hiện tiến độ trên biểu đồ ngang (sơ đồ Gantt).....	34
2.4. Các nguyên tắc lập tiến độ.....	37
2.5. Các phương pháp kiểm tra việc thực hiện tiến độ.....	45
<b>3 TỔ CHỨC XÂY DỰNG THEO PHƯƠNG PHÁP DÂY CHUYỀN.....</b>	<b>49</b>
3.1. Khái niệm về các phương pháp tổ chức sản xuất.....	49
3.2. Các thông số của dây chuyền.....	52
3.3. Các nguyên tắc cơ bản khi tổ chức sản xuất xây dựng theo dây chuyền.....	58
3.4. Thể hiện dây chuyền trên sơ đồ.....	61
3.5. Phân loại dây chuyền.....	64
3.6. Sự khác nhau giữa dây chuyền xây dựng và dây chuyền công nghiệp, ưu nhược điểm của phương pháp tổ chức xây dựng theo dây chuyền.....	69
3.7. Các bước lập dây chuyền xây dựng.....	70
3.8. Quy luật của dây chuyền đơn (thành phần).....	76
3.9. Quy luật của dây chuyền chuyên môn nhịp nhàng.....	79

3.10. Các chỉ số đánh giá dây chuyền.....	84
3.11. Quy luật của dây chuyền nhịp bội (dây chuyền nhịp nhàng khác điệu) ..	86
3.12. Quy luật của dây chuyền chuyên môn hóa không nhịp nhàng.....	92
3.13. Dây chuyền công trình đơn vị.....	105
3.14. Dây chuyền công trình nhiều nhà cùng loại.....	112
3.15. Dây chuyền công trình nhiều nhà cùng loại không nhịp nhàng.....	117
3.16. Điều kiện áp dụng phương pháp tổ chức sản xuất dây chuyền trong xây dựng.....	119

#### **4** PHƯƠNG PHÁP LẬP VÀ ĐIỀU HÀNH TIẾN ĐỘ THI CÔNG

THEO SƠ ĐỒ MẠNG .....	121
4.1. Khái niệm.....	121
4.2. Đại cương về sơ đồ mạng CPM.....	122
4.3. Các bộ phận của SDM.....	123
4.4. Các nguyên tắc vẽ sơ đồ mạng và trình tự lập sơ đồ mạng .....	126
4.5. Các thông số của SDM.....	134
4.6. Tính toán SDM .....	142
4.7. Đường găng, ý nghĩa của đường găng .....	145
4.8. SDM trên trục thời gian .....	146
4.9. Chuyển SDM sang sơ đồ ngang.....	148
4.10. Những bài toán tối ưu sơ đồ mạng .....	150
4.11. Điều chỉnh SDM theo thời gian và nhân lực.....	151
4.12. Tối ưu hóa SDM theo chỉ tiêu thời gian - chi phí.....	154
4.13. Phân phối và sử dụng tài nguyên tối ưu trong lập kế hoạch và chỉ đạo sản xuất .....	161
4.14. Tối ưu phân bổ tài nguyên thu hồi khi thời hạn xây dựng công trình xác định .....	163

#### **5** SƠ ĐỒ MẠNG NÚT, MẠNG PERT .....

5.1. Khái niệm về sơ đồ mạng nút.....	169
5.2. Thể hiện sơ đồ mạng nút .....	169
5.3. Tính sơ đồ mạng nút.....	172
5.4. Chuyển SDM nút sang sơ đồ ngang .....	181
5.5. Sơ đồ mạng pert.....	183

TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	191
--------------------------	-----

Ts. NGUYỄN ĐÌNH THẨM (chủ biên)

Ths. NGUYỄN NGỌC THANH

# LẬP KẾ HOẠCH, TỔ CHỨC VÀ CHỈ ĐẠO THI CÔNG

*Chịu trách nhiệm xuất bản:* Pgs, Ts. TÔ ĐĂNG HẢI

*Biên tập*

LÊ THANH ĐỊNH

*Kỹ thuật*

ĐỖ PHÚ

*Sửa bản in*

THANH NGÀ

*Trình bày bìa*

HƯƠNG LAN

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT**

70 TRẦN HUNG ĐẠO, HÀ NỘI

---

In 1.000 cuốn, khổ 19x27cm, tại Công ty in Tổng hợp Hà Nội.  
Giấy phép số: 6-502 cấp ngày 5 tháng 1 năm 2004  
In xong và nộp lưu chiểu tháng 4 năm 2004.