

Zdzisław HEJDUCKI, Juliusz MROZOWICZ
Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej

HARMONOGRAMOWANIE PRACY BRYGAD ROBOCZYCH Z WYKORZYSTANIEM METODY RÓWNOLEGŁO-POTOKOWEJ Z CIĄGLYM PROWADZENIEM ROBÓT NA OBIEKTACH BUDOWLANYCH

Streszczenie: W referacie przedstawiono algorytm harmonogramowania pracy wielu zespołów jednej specjalności. Zaproponowano sposób planowania ich pracy na wielu obiektach, uwzględniając typowe w budownictwie ograniczenia technologiczne i organizacyjne. Do szeregowania zadań zastosowano minimalno-czasowe kryterium.

SCHEDULLING OF SITE WORK COMPLEX WITH PARALLEL-STREAM METHOD APPLICATION

Summary: Parallel-stream methods are more developed forms of a classic stream method. They are designed for planning the progress of site works. New methods of work organizing are described. They allow to synchronize progress of works taking into account standard technological conditions. A minimum-time criterion of optimization is considered.

КАЛЕНДАРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ БРИГАД С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОТОЧНОГО МЕТОДА С НЕПРЕРЫВНЫМ ПРОВЕДЕНИЕМ РАБОТ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ

Резюме: В статье представлен алгоритм планирования работ многих бригад одной специальности. Предложен способ их распределения на фронтах работ с учетом технологических и организационных условий строительства. Для определения фронтов работ принимается критерий-минимум срока производства.

1. Wstęp

Kontynuując tematykę prezentowaną na konferencjach ADPP w 1988 i 1992 roku, w niniejszej pracy przedstawiony zostanie algorytm harmonogramowania robót budowlanych dla metody organizacji z ciągłym prowadzeniem robót na frontach roboczych. Podstawowe pojęcia, definicje oraz niektóre zagadnienia dotyczące omawianej problematyki zawarto między innymi w [1,2,3,4].

Metody równoległo-potokowe są rozwinięciem klasycznych metod potokowych, stosowanych w budownictwie do planowania przebiegu robót budowlanych. Uwzględniając występujące w praktyce ograniczenia technologiczne i organizacyjne, opracowano nowe metody organizacji robót, umożliwiające ich synchronizację oraz ustalenie kolejności wykonywania. Opracowano algorytmy szeregowania zadań z przyjętym minimalno-czasowym kryterium optymalizacji.

W grupie potokowych metod organizacji wyróżnia się następujące metody równoległo-potokowe:

1. metodę z ciągłym wykorzystaniem środków realizacji [3],
2. metodę z ciągłym prowadzeniem robót na frontach roboczych^{*},
3. metodę z równoczesnym uwzględnieniem sprzężeń między środkami realizacji i frontami roboczymi,
4. metodę z równoczesnym uwzględnieniem sprzężeń między środkami realizacji, frontami roboczymi i sprzężeń diagonalnych,
5. metodę z równoczesnym uwzględnieniem sprzężeń między środkami realizacji, frontami roboczymi, odwrotnych sprzężeń diagonalnych.

2. Metoda z ciągłym prowadzeniem robót na frontach roboczych

W metodzie tej, jako podstawowe założenie, przyjęto, że brygady robocze wraz z ich technicznym wyposażeniem wchodzi na dany front roboczy (obiekt, działkę) kolejno, tak by nie miał on przestojów. Chodzi o to, aby wyeliminować przerwy w kolejnych operacjach technologicznych na danym froncie roboczym.

Dla metody równoległo-potokowej opracowano sposób budowy macierzy wyjściowej uwzględniając przyjęte ograniczenia technologiczne i organizacyjne, wprowadzając dodatkowe brygady do wybranych częściowych potoków. Korzystamy tu również z założenia maksymalnego zbliżenia częściowych potoków.

Ustalenie terminów rozpoczęcia i zakończenia robót odbywa się wg przedstawionej poniżej procedury:

- Na pierwszym froncie roboczym przyjmuje się terminy rozpoczęcia robót pierwszego rodzaju równe zero.
- Wyznacza się terminy rozpoczęcia i zakończenia pozostałych robót na pierwszym froncie uwzględniając zerowe sprzężenia między frontami roboczymi.
- Korzystając z terminów zakończenia robót na pierwszym froncie wyznacza się terminy rozpoczęcia robót na drugim froncie. Otwieramy zbiory frontów roboczych, na których wykonywane są roboty danego rodzaju przez dane brygady. Termin rozpoczęcia pierwszej

^{*} metoda omawiana w artykule.

roboty na froncie drugim jest równy maksymalnej wartości z różnic między terminem zakończenia robót na pierwszym froncie a sumą czasów trwania realizacji robót w poprzedzających częściowych potokach na drugim froncie. Pozostałe terminy rozpoczęcia i zakończenia robót wyznacza się uwzględniając zerowe sprzężenia między frontami roboczymi.

- Dla następnych kolejnych frontów roboczych sposób postępowania jest identyczny.

Zasady kompletowania brygad przedstawione zostały w [3].

3. Algorytm macierzowego wyznaczania kolejności prowadzenia robót na frontach

Problem takiego uszeregowania frontów roboczych, na których prowadzimy kolejno roboty budowlane, aby uzyskać najkrótszy czas realizacji kompleksu robót, jest bardziej złożony niż w przypadku klasycznych metod potokowych. Komplikuje się on ze względu na wprowadzenie dodatkowych brygad jednej specjalności i podziału ustalonych częściowych potoków na potoki szczegółowe.

Określenie racjonalnej kolejności zajmowania frontów roboczych jest etapem procedur obliczeniowych, opracowanych dla metod klasycznych. Należy uwzględnić w metodzie równoległo-potokowej jej własności charakterystyczne:

- odpowiedni przydział frontów roboczych brygadam,
- specyfikę zązebienia się częściowych i szczegółowych potoków,
- wykluczenia możliwych przestojów brygad w ostatnich częściowych i szczegółowych potokach.

Obliczenie "granicznie możliwego minimum" (GMM) w metodzie tej polega na sumowaniu czasu realizacji robót w ustalonych kolejno wierszach (zachowując zasadę ciągłości zajmowania frontów) i długotrwałości końcowych robót w nieustalonych częściowych kompleksach.

W metodzie równoległo-potokowej występują przypadki, w których ostatni częściowy potok jest dzielony na potoki szczegółowe. Rozwiązanie w tych przypadkach musi uwzględniać specyfikę przydziału frontów roboczych brygadam tej samej specjalności i należy to brać pod uwagę podczas wyznaczania czasów rozpoczęcia końcowych robót w nieustalonych częściowych kompleksach. Do ustalenia kolejności robót na frontach wykorzystano metodę podziału i ograniczeń. Uwzględniając specyfikę metod równoległo-potokowych i ograniczenia technologiczne i organizacyjne, wskaźnik GMM węzła drzewa obliczamy z zależności:

$$GMM = k(u_1, \dots, u_s) + \max \sum (t_{i, m_s}),$$

$$i \in (u_1, \dots, u_s)$$

$$s = 1, \dots, J_m$$

gdzie:

u_1, u_2, \dots - wiersze macierzy,

$k(u_1, \dots, u_s)$ - czas wykonania robót na frontach już ustalonych,

$t_{i,m,s}$ - czas wykonania m -tego rodzaju robót, przez brygadę s , na i -tym froncie roboczym.

Podobnie jak w innych metodach potokowych, przeszukujemy drzewo wariantów rozwijając zawsze wariant o aktualnie najmniejszym GMM, a kończymy przeszukiwanie wtedy, gdy minimum jest realizowane tylko przez warianty o ustalonych wszystkich wierszach. Algorytm wyznaczania kolejności robót.

Etap I

W miejsce pierwszego wiersza ustala się kolejno wszystkie wiersze macierzy obliczając czasy rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych rodzajów robót. Granicznie możliwe minimum GMM jest sumą czasu trwania realizacji robót w pierwszym ustalonym częściowym kompleksie i sumą czasów trwania w końcowych szczegółowych potokach. W miejsce drugiego wiersza ustawiamy taki wiersz, który zapewnia ciągłość w końcowych szczegółowych potokach oraz maksimum wartości GMM. Terminy rozpoczęcia i zakończenia robót w drugim wierszu określamy przyjmując zasadę "maksymalnego zbliżenia" częściowych kompleksów. Uwzględniając tę zasadę wyznaczamy termin rozpoczęcia roboty w drugim częściowym kompleksie w pierwszym częściowym potoku. Z obliczonych GMM dla przypadków, gdy ostatni częściowy potok został podzielony na kilka potoków szczegółowych wybieramy wartość maksymalną w celu umieszczenia jej w węźle drzewa wariantów.

Etap II

Na miejsce pierwszego wiersza został ustalony ten wiersz, którego maksymalna, przyjęta do drzewa wartość GMM okazała się najmniejsza. W miejsce drugiego i następnych wierszy ustalamy pozostałe nieustalone w pierwszym etapie wiersze.

Etap III

Na tym etapie mamy nieustalone dwa wiersze, które dają już tylko dwie ostatnie kombinacje. Możemy wyznaczyć rzeczywiste czasy trwania realizacji robót. Zdarza się często, że gałęzi perspektywicznych doprowadzonych do końca jest kilka, dlatego też macierzy końcowych będzie więcej niż dwie.

4. Zastosowanie algorytmu do planowania realizacji kompleksu obiektów budowlanych

Planuje się realizację czterech obiektów budowlanych. Roboty budowlane scalono w cztery ciągi organizacyjne uwzględniające jednorodny charakter procesów technologicznych. Realizacja pierwszego i czwartego rodzaju robót odbywać się będzie dwoma częściowymi, szczegółowymi potokami. Dane do planowania realizacji przedstawione są w tabeli-macierzy. Elementami macierzy są czasy wykonania robót na obiektach.

Tabela-macierz czasów wykonania robót

| OBIEKTY | CZĘŚCIOWE POTOKI | | | | | |
|---------|------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| | 1 ₁ | 1 ₂ | 2 | 3 | 4 ₁ | 4 ₂ |
| 1 | | 0 20 20 | 20 32 52 | 52 9 61 | | 61 11 72 |
| 2 | 42 10 52 | | 52 20 72 | 72 7 79 | 79 12 91 | |
| 3 | | 57 15 72 | 72 25 97 | 97 4 101 | | 101 18 119 |
| 4 | 89 8 97 | | 97 18 115 | 115 12 127 | 127 20 147 | |

Dla zadanej kolejności realizacji robót przewidywany czas wykonania wynosi 147 jednostek.

Etap I

| | 1 ₁ | 1 ₂ | 2 | 3 | 4 ₁ | 4 ₂ |
|---|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|
| 1 | | 0 20 20 | 20 32 52 | 52 9 61 | | 61 11 72 |
| | 42 10 52 | | 52 20 72 | 72 7 79 | 79 12 91 | |
| | | | | | | 72 18 90 |
| | | | | | 91 20 105 | |

| | 1 ₁ | 1 ₂ | 2 | 3 | 4 ₁ | 4 ₂ |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|
| 1 | | 0 20 20 | 20 32 52 | 52 9 61 | | 61 11 72 |
| | 44 8 52 | | 52 18 70 | 70 12 82 | 82 20 102 | |
| | | | | | | 72 18 90 |
| | | | | | 102 12 114 | |

GMM=114

| | l_1 | l_2 | 2 | 3 | 4_1 | 4_2 |
|---|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| 2 | 0 10 10 | | 10 20 30 | 30 7 37 | 37 12 49 | |
| | | 15 15 30 | 30 25 55 | 55 4 59 | | 59 18 77 |
| | | | | | 49 20 69 | |
| | | | | | | 77 11 88 |

| | l_1 | l_2 | 2 | 3 | 4_1 | 4_2 |
|---|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|
| 2 | 0 10 10 | | 10 20 30 | 30 7 37 | 37 12 49 | |
| | | 10 20 30 | 30 32 62 | 62 9 71 | | 71 11 82 |
| | | | | | 49 20 69 | |
| | | | | | | 82 18 100 |

GMM=100

| | l_1 | l_2 | 2 | 3 | 4_1 | 4_2 |
|---|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 3 | | 0 15 15 | 15 25 40 | 40 4 44 | | 44 18 62 |
| | 32 8 40 | | 40 18 58 | 58 12 70 | 70 20 90 | |
| | | | | | | 62 11 73 |
| | | | | | 90 12 102 | |

| | 1 ₁ | 1 ₂ | 2 | 3 | 4 ₁ | 4 ₂ |
|---|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| 3 | | 0 15 | 15 25 40 | 40 4 44 | | 44 18 62 |
| | 30 10 40 | | 40 20 60 | 60 7 67 | 67 12 79 | |
| | | | | | | 62 11 73 |
| | | | | | 79 20 99 | |

GMM=102

| | 1 ₁ | 1 ₂ | 2 | 3 | 4 ₁ | 4 ₂ |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 4 | 0 8 | | 8 18 26 | 26 12 38 | 38 20 58 | |
| | | 6 20 26 | 26 32 58 | 58 9 67 | | 67 11 78 |
| | | | | | 58 12 70 | |
| | | | | | | 78 18 96 |

| | 1 ₁ | 1 ₂ | 2 | 3 | 4 ₁ | 4 ₂ |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 4 | 0 8 | | 8 18 26 | 26 12 38 | 38 20 58 | |
| | | 11 15 26 | 26 25 51 | 51 4 55 | | 55 18 73 |
| | | | | | 58 12 70 | |
| | | | | | | 73 11 84 |

GMM=96

Wyznaczając w podobny sposób wartości węzłów drzewa na niższych poziomach znajdujemy kolejność realizacji obiektów tj.: 4-3-2-1. Czas realizacji zespołu obiektów został skrócony ze 147 jednostek do 123.

LITERATURA

- [1] Hejducki Z., Mrozowicz J.: Zagadnienie synchronizacji kompleksów robót budowlanych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Automatyka z.95. Gliwice 1988, s.79-85.
- [2] Hejducki Z., Mrozowicz J.: Ustalanie kolejności w zbiorze potoków obejmujących kompleks obiektów budowlanych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Automatyka z.85. Gliwice 1986, s.85-93.
- [3] Hejducki Z., Mrozowicz J.: Harmonogramowanie pracy brygad roboczych z wykorzystaniem metody równoległo-potokowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Automatyka z.109. Gliwice 1992, s.97-102.
- [4] Mrozowicz J.: Metody potokowe organizacji robót budowlanych o charakterze deterministycznym. WPWr, Wrocław 1982.

Recenzent: Prof dr hab. inż. Mirosław Zaborowski

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1994 r.

Abstract

Parallel-stream methods are more developed forms of a classic stream method. They are designed for planning the progress of site works. New methods of work organising are described. They allow to synchronise progress of works taking into account standard technological conditions. A minimum-time criterion of optimisation is considered.

The problem discussed in the paper occurs when the streams consist of long-duration jobs. They synchronising work with few working-groups of one specialisation.

An algorithm of scheduling the works is presented. It concerns the parallel-stream method with non-stop work at all site activities. This is continuation of the problem presented during ADPP conference in 1988 and 1992.