ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: ELEKTRYKA z. 37 Nr kol. 356

Roman Janiczek

Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów

ZASTOSOWANIE METOD ANALIZY SIECI ZALEŻNOŚCI W GOSPODARCE REMONTOWEJ ELEKTROWNI

Streszczenie. Artykuł omawia możliwości zastosowania metod analizy sieci zależności do usprawnienia procesu planowania i kontroli realizacji remontów wyposażenia elektrowni.

1. Wstęp

Cechą charakterystyczną eksploatacji każdego urządzenia jest konieczność jego krążenia w dwóch zasadniczych podsystemach; użytkowania i obsługiwania go. Elektrownia stanowi zgrupowanie dużej liczby urządzeń, które pracują w trudnych warunkach. Powoduje to, że użytkowanie urządzeń elektrowniane jest stosunkowo często przerywane koniecznością ich obsługi, tzn. wykonania napraw poawaryjnych, konserwacji lub remontów planowych. Te wymuszone odstawienia bloków energetycznych powodują obniżenie zdolności produkcyjnej elektrowni proporcjonalnie do wskaźnika dyspozycyjności

$$d = \frac{t - t_r - t_a}{t} = \frac{t_p + t_{rez}}{t}$$

t - rozpatrywany okres (np. rok = 8760 h)
t_r - czas postoju bloku w remontach planowych w okresie t,
t_a - czas postoju bloku w remontach poawaryjnych,
t_p - czas pracy (użytkowania) bloku,
t_{rez} - czas postoju w rezerwie,

$$t = t_p + t_{rez} + t_r + t_a.$$

Wskaźnik dyspozycyjności krajowych bloków o mocy 120 ÷ 200 MW wynosi 0,62 ÷ 0,78, o czym w blisko połowie decydują postoje bloków w remontach planowych.

Niedyspozycyjność bloków energetycznych powoduje liczne straty gospodarcze, ale do najważniejszych należą dwie powstające w systemie elektroenergetycznym. Pierwsza to konieczność wydatkowania dużych kwot na zwięk-

szenie inwestycyjnej rezerwy mocy w systemie, tzn. nadwyżki mocy zainstalowanej elektrowni nad szczytowym w roku zapotrzebowaniem mocy, a druga - to skutki odstępstw od ekonomicznego rozdziału obciążeń.

Obecnie w systemie krajowym utrzymuje się skromną (przy osiąganej dyspozycyjności elektrowni) inwestycyjną rezerwę mocy w wysokości ok. 25% szczytowego zapotrzebowania mocy. Przy przeciętnym jednostkowym koszcie inwestycyjnym 4500 zł/kW oznacza to zamrożenie funduszy inwestycyjnych w wysokości ponad 13,5 mld zł.

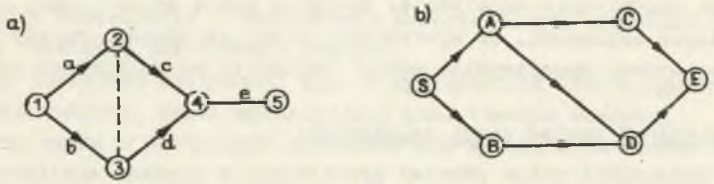
Struktura krajowego systemu elektroenergetycznego powoduje, że każde wymuszone odstawienie bloku podstawowego daje poważny wzrost kosztów paliwa systemu, np. postój bloku o mocy 200 MW daje straty z tego tytułu rzędu 150 - 200 tys.zł/dobę. Wg obliczeń Energopomiaru łączne straty wyrażone w koszcie paliwa systemu spowodowane odstawieniami bloków do remontów planowych wyniosły w 1968 r. ok. 250 mln. zł.

Powyższe dane wskazują na znaczenie problemu walki o poprawę dyspozycyjności bloków krajowych, która w stosunku do dyspozycyjności podobnych bloków eksploatowanych za granicą jest wyraźnie gorsza. Spośród wielu aspektów problemu artykuł ten omawia jeden z najtańszych, ale najtrudniejszych do wdrożenia, sposobów - drogą poprawy organizacji pracy, poprzez wykorzystanie w gospodarce remontami elektrowni naukowych metod zarządzania - opartych na analizie sieci zależności. Metody te stanowią praktyczne zastosowanie do badań operacyjnych teorii grafów. Ograniczona objętość artykułu pozwoliła na omówienie tylko możliwości zastosowania metod analizy sieci zależności w gospodarce remontowej elektrowni, z pominięciem szczegółów obliczeniowych opisanych w cytowanej literaturze.

2. Podstawowe wiadomości o sieciach zależności

2.1. Pojęcia

Realizację każdego złożonego przedsięwzięcia można rozbić na elementarne czynności, z wykonaniem których wiąże się zużycie czasu i środków. Początek każdej czynności nazywany jest zdarzeniem poprzedzającym, a koniec - zdarzeniem następującym. Sieć zależności jest graficznym obrazem realizacji przedsięwzięcia, ukazującym powiązanie między czynnościami i zdarzeniami składowymi. W dokładniejszym ujęciu matematycznym sieć zależności, to graf zorientowany, czyli zbiór punktów, zwanych wierzchołkami, oraz linii, zwanych krawędziami, które są względem siebie usytuowane logicznie. Te logiczne powiązania oznacza się na rysunku w postaci strzałek umieszczonych na długości krawędzi oraz przez odpowiednią numerację punktów, które to oznaczenia wskazują kierunek postępowania po sobie poszczególnych wierzchołków i krawędzi. W dalszych rozważaniach omawiany będzie tylko jeden rodzaj sieci zależności, przedstawiającej wzajemne powiązanie czasowe między zdarzeniami i czynnościami, wynikające z wymagań procesu technologicznego i organizacji pracy. Sieci zależności mogą być rysowane jako sieci przepływu czynności i sieci stanów czynności (zdarzeń).



Rys. 1. Sieci zależności przedstawiające przepływy czynności (a) i stany czynności, czyli zdarzenia (b)

W sieci przepływu czynności elementami mianowanymi są krawędzie, przy których określa się czas ich trwania. W sieci zdarzeń elementami mianowanymi są wierzchołki sieci, w których określa się czasy wykonania poszczególnych czynności. Na rys. 1 przedstawiono celem porównania te dwie postacie sieci zależności dla tego samego przedsięwzięcia, przy czym zamiast czasów wprowadzono oznaczenia a, b, c, d, e dla czynności i A, B, C, D, E dla odpowiadających im zdarzeń. W sieci na rys. 1a występuje tzw. czynność zerowa (0), która oznacza tylko podporządkowanie określonych czynności; w przykładzie czynność d może się rozpocząć dopiero po zakończeniu czynności a i b. W równoważnej sieci zdarzeń nie trzeba wprowadzać zdarzeń zerowych, natomiast dodatkowo trzeba oznaczać początek (lub koniec) sieci, gdy zaczyna się ona (lub kończy) od realizacji kilku czynności.

Pod względem graficznym sieci zdarzeń są bardziej skomplikowane niż sieci czynności, a w praktyce sieci zdarzeń stosuje się tylko przy niedeterministycznym podejściu do zagadnienia.

2.2. Budowa i opis sieci

Opracowanie sieci zależności danego przedsięwzięcia jest możliwe tylko przy dokładnym rozeznaniu procesu jego realizacji i logicznych związków między czynnościami.

Przygotowanie tych danych wymaga tak wnikliwych analiz, że samo ich przeprowadzenie daje już pewne korzyści dla zakładu. Istnieją dwie równoważne metody kreślenia sieci zależności: od początku lub końca sieci, a obie polegają na rozbudowie sieci zgodnie z sekwencyjnością czynności i zdarzeń. Sieci zależności buduje się bez zachowania skali czasu, co upraszcza jej postać, a orientację w czasie zapewnia odpowiedni opis sieci. Szczegółowość sieci można kształtować w zależności od jej przeznaczenia. Np. dla wykonawców złożonej wydzielonej części zadania niezbędne jest ujęcie szczegółowe wszystkich czynności, a na wyższych szczeblach zarządzania wystarczać może sieć zastępcza, ujmująca zależności między ważniejszymi zadaniami przedsięwzięcia.

Ważnym momentem w sporządzaniu sieci zależności przedsięwzięcia jest jej opis. Już w czasie kreślenia sieci należy zaznaczyć strzałki na jej krawędziach zgodnie z przebiegiem w czasie czynności, oraz opisywać je albo wprost podając treść czynności przy krawędziach, albo w tablicy wyjaśniając odpowiednie oznaczenia. Podobnie można opisać czasy trwania poszczególnych czynności. Po wykreśleniu sieci zależności należy odpowiednio ponumerować poszczególne węzły, najlepiej wg kolejności zdarzeń.

2.3. Macierzowa postać sieci zależności

Sieć zależności można również przedstawić w postaci analitycznej jako macierz powiązań między wierzchołkami sieci lub w postaci macierzy wartości.

Dla sieci z rys. 1b, macierze te będą miały postać

	S	A	B	C	D	E
S	0	1	1	0	0	0
A	0	0	0	1	1	0
B	0	0	0	0	1	0
C	0	0	0	0	0	1
D	0	0	0	0	0	1
E	0	0	0	0	0	0

macierz powiązań

	S	A	B	C	D	E
S	0	3	5	0	0	0
A	0	0	0	7	0	0
B	0	0	0	0	4	0
C	0	0	0	0	0	6
D	0	0	0	0	0	8
E	0	0	0	0	0	0

macierz wartości

Macierze sieci zależności są zawsze trójkątnymi, przy czym w dobrze sporządzonej sieci w lewym trójkącie macierzy występują same zera. Jest to dobry sprawdzian prawidłowości oznaczenia sieci.

3. Możliwości wykorzystania sieci zależności w gospodarce remontowej elektrowni

3.1. Zakres zastosowań sieci zależności

Sieci zależności w swej trzydziestoletniej historii znalazły różnorodne zastosowania, które najogólniej można podzielić na zastosowania do celów:

I. planowania organizacyjnego przedsięwzięć,
II. optymalizacji kosztów przedsięwzięć,
III. sterowania realizacją przedsięwzięć.

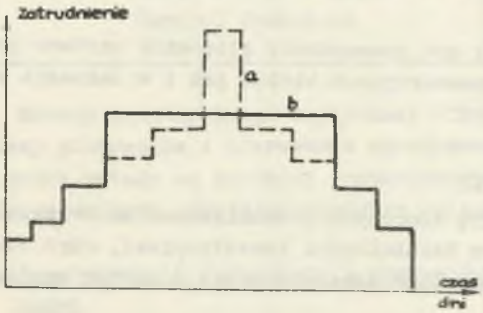
Wszystkie te dziedziny działalności występują w gospodarce remontowej elektrowni, warto więc je bliżej omówić. Jako przedsięwzięcie traktuje się remont planowy lub poawaryjny bloku energetycznego lub jego części (np. turbozespołu z wyposażeniem pomocniczym).

3.2. Planowanie organizacyjne remontów

Znając przewidywany zakres remontu i dane potrzebne do wykreślenia sieci zależności można w oparciu o jej analizę określić:

1° oczekiwany czas trwania całego remontu,
2° terminy rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych czynności, warunkujące terminowe zakończenie remontu,
3° drogę (ścieżkę) krytyczną, tzn. ciąg czynnosci limitujących zakończenie remontu, czyli wyznaczający czas trwania remontu,
4° zapasy czasu w realizacji czynności nie leżących na drodze krytycznej,
5° jak wyżej przy ograniczonych środkach, np. brak ludzi lub maszyn oraz sposób wykorzystania tych środków.

Jednym z ważnych problemów gospodarki remontowej w elektrowniach jest nierównomierność zapotrzebowania personelu wykonującego remonty. Rozległe terytorialne rozmieszczenie elektrowni utrudnia przerzuty tego personelu, które również zwiększają koszty remontów. W wyniku szczegółowej analizy sieci zależności można wyznaczyć także terminy realizacji czynności nie leżących na ścieżce krytycznej, przy których częściowo wyrówna się wykres zatrudnienia przy remoncie (rys. 2).



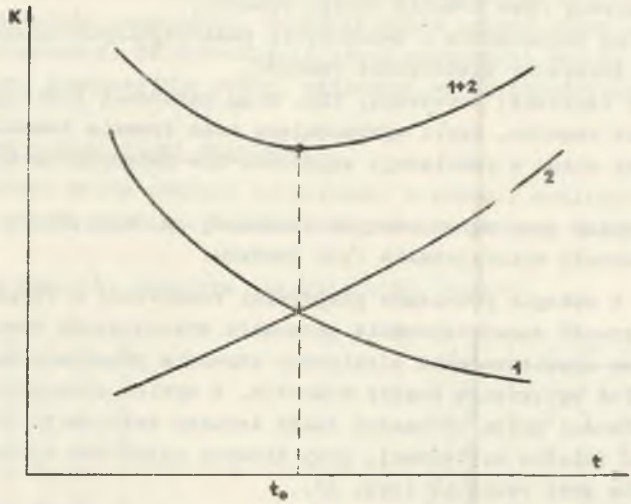
Rys. 2. Harmonogram zatrudnienia przy remoncie bloku bez (a) i z uwzględnieniem (b) problemu racjonalnego zatrudnienia

3.3. Optymalizacja kosztów

Istnieje zależność kosztów przedsięwzięcia od czasu jego realizacji. Skrócenie czasu remontu jest możliwe przez intensyfikację prac np. przez zwiększenie: zmianowości, stanu zatrudnienia, stopnia mechanizacji; ale wiąże się z tym zwykle wzrost kosztów. Odwrotną zależność od czasu trwania remontu wykazują koszty strat w koszcie paliwa systemu, co powoduje że sumaryczne koszty związane z remontem osiągają minimum przy określonym czasie trwania remontu (rys. 3). Znając poza siecią zależności również charakterystyki kosztów realizacji poszczególnych czynności jako funkcje czasu można określić:

6° czas trwania remontu zapewniający minimum kosztów sumarycznych związanych z remontem,
7° koszt realizacji remontu przy dowolnie krótkim czasie trwania, narzuconym np. przez trudną sytuację mocową w systemie,

8° program realizacji remontu wg wariantu 6° lub 7°, przy czym w przypadku 7° będzie to program zapewniający minimalny wzrost kosztów.



Rys. 3. Koszty remontu (1), koszty strat w systemie spowodowane postojem bloku (2) i koszty sumaryczne (1+2) w funkcji czasu trwania remontu

Takie analizy ekonomiczne powinny być powszechnie stosowane zarówno przy planowaniu poważniejszych napraw poawaryjnych bloków jak i w zakresie remontów planowych.

3.4. Sterowanie realizacją remontów

Sterowanie operatywne realizacją złożonych przedsięwzięć ma w zakresie remontów mniejsze znaczenie niż w działalności inwestycyjnej, gdyż remonty powinny mieć przed rozpoczęciem pełne zabezpieczenie w części zamienne, materiały itp.

Nie zawsze jednak realizacja remontu może przebiegać zgodnie z planem, gdyż dopiero po częściowym demontażu urządzenia może ujawnić się konieczność wymiany elementu, którego brak w magazynie lub zwiększenie zakresu prac.

Metody analizy sieci zależności dają odpowiedź, w jaki sposób w takiej sytuacji należy zorganizować dalszy remont, aby przekroczenie pierwotnego terminu ukończenia remontu było jak najmniejsze (lub w ogóle nie wystąpiło) oraz aby to osiągnąć przy minimalnym wzroście kosztów.

4. Metody analizy sieci zależności

Spośród kilkudziesięciu znanych metod analizy sieci zależności w tablicy 1 przedstawiono tylko kilka najczęściej stosowanych do rozwiązywania omawianej klasy zagadnień.

Tablica 1

Nazwa metody	Wynik analizy wg wykazu z p.3
CPA - Critical Path Analysis	1°, 2°, 3°, 4°
CPM - Critical Path Method	1°, 2°, 3°, 4°, 6°, 7°
PERT - Program Evaluation and Review Technique	1°, 2°, 3°, 4° - w ujęciu niedeterministycznym, tzn. określa się prawdopodobieństwo osiągnięcia wyniku
PERT - COST	1°, 2°, 3°, 4°, 6°, 7°,
LESS - Least Cost Estimating and Scheduling	1°, 2°, 3°, 4°, 5°, 7°
MOST - Menagement Operation System Technique	jak w p. 3. 4
IMPACT - Integrated Managerial Programming Analysis Control Technique	1° do 6° i jak w p. 3. 4

Metody analizy drogi krytycznej (CPA, CPM) rozwiązują podstawowe problemy planowania i sterowania operatywnego złożonymi przedsięwzięciami. Pozostałe metody są bardziej rozbudowane uwzględniając ograniczoność środków, oceniając prawdopodobieństwo osiągnięcia wyniku (PERT).

5. Przetwarzanie informacji i zastosowanie EPD[x)] w analizie sieci zależności

Ważną zaletą metod analizy sieci zależności jest możliwość ręcznego lub maszynowego przeprowadzania ich. Uważa się, że ręczna analiza sieci jest opłacalna do ok. 200 czynności w sieci. Remonty bloków są na tyle złożonymi przedsięwzięciami, że zastosowanie metod sieciowych opartych o ręczne rozwiązywania sieci zwiększyłoby znacznie zakres obowiązków personelu elektrowni i ZRE. Istnieje również i drugi czynnik przemawiający za celowością równoległego rozwoju zastosowań w elektrowniach metod sieciowych

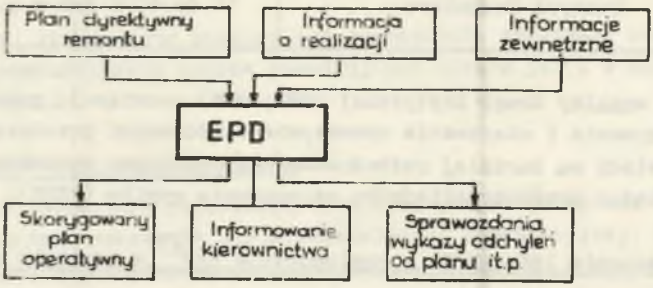
x) Stosuje się oznaczenia:
EPD - elektroniczne przetwarzanie danych
EMC - elektroniczne maszyny cyfrowe

systemów EPD. Jest nim konieczność szczegółowej znajomości cech procesu technologicznego, możliwych do określenia przez bieżącą analizę przebiegu remontów. Zdaniem autora jedną z zasadniczych przyczyn bardzo małego zakresu zastosowania metod sieciowych w gospodarce remontowej elektrowni krajowych jest próbowanie zastosowania tych metod bez niezbędnego rozwoju EPD.

Zastosowanie EMC w analizie sieci zależności umożliwia nie tylko odciążenie personelu od pracochłonnych czynności lecz również zwiększa efekty zastosowań sieci, gdyż analiza wielu wariantów sieci w krótkim czasie umożliwia wybór najkorzystniejszego wariantu realizacji przedsięwzięcia.

Zakres zastosowania EMC w analizie sieci zależności może być bardzo różny, od wykorzystania EMC do obliczeń niektórych parametrów sieci, aż po kompleksowy system EPD.

Częściowa mechanizacja obliczeń polega na zastosowaniu EMC do obliczeń wybranych parametrów sieciowych. Np. drogi krytyczne lub czasy wystąpienia zdarzeń w złożonych sieciach można szybko określić przy pomocy określonych algorytmów, opierających się zwykle na macierzowej postaci sieci. Metody tych obliczeń są opisane w pracy [1], gdzie podano m.in. analityczny sposób określania drogi krytycznej w $(\frac{n}{2} + 1)$ iteracjach, gdzie n oznacza ilość zdarzeń w sieci.

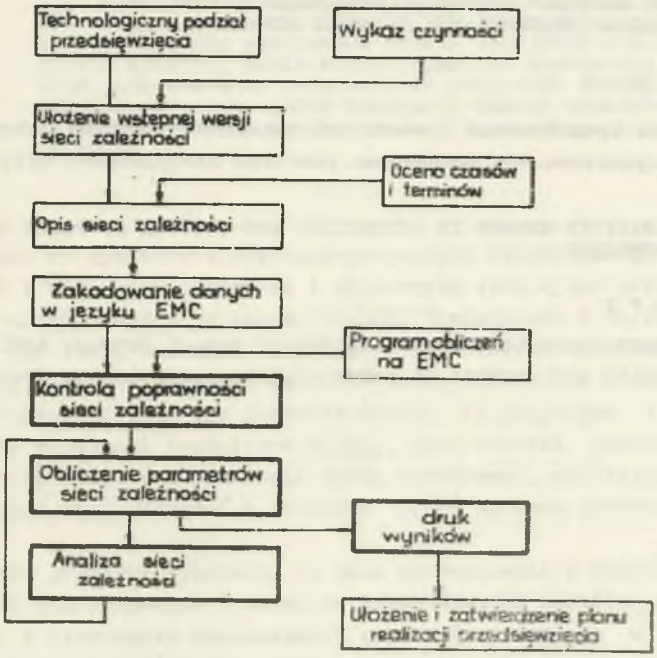


Rys. 4. Schemat przetwarzania danych podczas bieżącego sterowania gospodarką remontową elektrowni

System przetwarzania danych w zakresie gospodarki remontowej elektrowni powinien spełniać funkcje diagnostyczne, planistyczne, sterowania operatywnego i sprawozdawcze. Metody analizy sieci zależności mogą znaleźć szerokie zastosowanie w planowaniu i sterowaniu operatywnym remontami. Ważniejsze zastosowania przedstawiono na rys. 4 i 5.

W tradycyjnych systemach EPD z zastosowaniem sieci zależności dość pracochłonną czynnością jest przygotowanie danych wyjściowych dla EMC (budowa i opis sieci). Duże możliwości złagodzenia tego niedostatku stwarzają odkryte niedawno możliwości automatyzacji procesu sporządzania sieci zależności. W 1964 r. angielski koncern Shell Chemical CO. Ltd. opracował

metodę AUTOPERT sporządzania typowych sieci zależności przy zastosowaniu EMC. Koncepcja wyodrębnienia z przedsięwzięć typowych powtarzających się zbiorów czynności jest do przyjęcia w zakresie remontów bloków energetycznych, gdyż w każdym remoncie większość czynności należy do typowych. Dla tych typowych zbiorów czynności można opracować sieci zależności, które nazywa się wzornikami. Metoda AUTOPERT na podstawie informacji o spodziewanym zakresie prac remontowych umożliwia budowę sieci zależności całego remontu (przez składanie wzorników), a następnie jej analizę (CPM, PERT) Zastosowanie systemu AUTOPERT jest możliwe tylko przy posługiwaniu się specjalnym systemem numeracji zdarzeń i urządzeń. Trwające obecnie w kraju prace nad kodyfikacją urządzeń ułatwią zastosowanie metody AUTOPERT. Dzięki metodzie AUTOPERT czas budowy i opisu sieci można skrócić o 70 - 80% czasu potrzebnego przy ręcznym przygotowywaniu sieci zależności.



Rys. 5. Zasadnicze etapy prac planistycznych przy wykorzystaniu metod analizy sieci zależności i przy zastosowaniu EMC (czynności realizowane przez EMC oznaczono grubą linią).

Stosowane obecnie w ośrodkach obliczeniowych EMC są na ogół wyposażane w wybrane programy obliczeń sieci zależności. W sumie znanych jest już ok. 120 takich programów, ale algorytmy obliczeń są publikowane bardzo rzadko.

Ważną zaletą zastosowania EMC w analizie sieci zależności jest możliwość szybkiego uzyskania wyników w różnych układach, gdyż EMC może na żądanie drukować wyniki wg np. kolejności rozpoczynania czynności, w podziale czynności na wykonawców itp.

Należy również zwrócić uwagę na ograniczenia w zastosowaniach EMC, wynikające z ich pojemności. Np. EMC ZAM-2 rozwiązuje sieci zależności o liczbie czynności do 3300, przy numeracji zdarzeń od 1 do 9500.

LITERATURA

1. Bladowski St.: Metody sieciowe w planowaniu i organizacji pracy, PWE Warszawa 1970 r.
2. Idzikiewicz A.: PERT. Metody analizy sieciowej, PWN Warszawa 1967 r.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Р е з ю м е

В статье представлены возможности применения методов сетевого планирования и управления при проведении ремонтов оборудования электростанций.

NETWORK ANALYSIS METHOD IN SCHEDULING AND CONTROL OF POWER GENERATING UNITS OVERHAULS

S u m m a r y

The paper presents a possibilities of use of Network Analysis Method in scheduling and control of power stations equipements overhauls.