ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994

Seria: ELEKTRYKA z. 137 Nr kol. 1244

Franciszek BUCHTA
Henryk KOCOT

MIEJSCE SYSTEMU KOMPUTEROWEGO ROZWÓJ W PLANOWANIU ROZWOJU SIECI PRZESYŁOWEJ I SIECI 110 kV

Streszczenie. W artykule przedstawiono ogólnie koncepcję metodyczną opracowanego w Polsce systemu komputerowego ROZWÓJ, jako narzędzia planowania modernizacji i rozwoju sieci przesyłowej (220 i 400 kV) i 110 kV, zwracając uwagę na te cechy, które odróżniają go od opracowanych za granicą i oferowanych obecnie do zakupu firmie Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA, dwóch innych systemów komputerowych: PSS/E oraz MEXICO. Scharakteryzowano stan istniejący planowania modernizacji i rozwoju sieci przesyłowej i 110 kV w Polsce, uzasadniając potrzebę koordynacji prac oraz wykorzystania systemu ROZWÓJ i PSS/E jako narzędzi zapewniających wykonywanie niezbędnego zakresu analizy technicznej i ekonomicznej, umożliwiającej określenie programu modernizacji i rozwoju tych sieci.

PLACE OF THE "ROZWÓJ" COMPUTER SYSTEM IN DEVELOPMENT PLANNING OF THE TRANSMISSION AND 110 kV GRIDS

Summary. In the paper there is presented a general methodical conception "ROZWÓJ"[1] computer system (developped in Poland) used as a tool in planing of the modernisation and development of transmission grid (400 and 220 kV) and 110 kV network. Attention is paid to that its features, which differ it from other systems worked out abroad and offered now to the Polish Power Grid Company, i.e. PSS/E and MEXICO systems. The present state of the modernisation and development planning of the transmission grid and 110 kV network in Poland is characterised. Work co-ordination necessity and utilisation need of the ROZWÓJ and PSS/E systems as tools assuring indispensable scope of technical and economical analysis, making possible establishing modernisation and development programme of those networks are justified.

[1] ROZWÓJ one can translate as a "development"

МЕСТО КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ROZWÓJ В ПЛАНИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЕЙ И СЕТЕЙ 110 кВ

Резюме. В статье показана общая методическая концепция разработанной в Польше компьютерной системы ROZWÓJ являющейся орудием планирования модернизации и развития магистральных сетей (220 и 110 кВ) и сетей 110 кВ, с учетом свойств отличающих эту программу от разработанных за рубежом - и предлагаемых ныне к покупке фирме Польские электроэнергетические сети АО - двух других компьютерных систем: PSS/E и MEXICO. Дается характеристика применяемой ныне методики планирования модернизации и развития магистральных сетей и сетей 110 кВ в Польше с обоснованием необходимисти координации работ и применения систем ROZWÓJ и PSS/E как оборудования обеспечивающего выполнение необходимого объема технических и экономических анализов дающих возможность определения программы модернизации и развития этих сетей.

1. WPROWADZENIE

Jednym z głównych problemów elektroenergetyki polskiej jest obecnie przygotowanie i zrealizowanie w stosunkowo krótkim czasie ogromnego programu modernizacyjnego i inwestycyjnego. Niezbędnym warunkiem realizacji tego przedsięwzięcia jest zarówno rozwiązanie zagadnień finansowania rozwoju z uwzględnieniem kredytów zagranicznych, jak i przygotowanie oraz ciągłe aktualizowanie zintegrowanego programu rozwoju. Program ten powinien obejmować:

- optymalizację strony popytowej; stosowanie DSM i racjonalizacja udziału energii elektrycznej w gospodarce narodowej oraz sferze bytowej,
- optymalizację strony podażowej; nowe inwestycje i odtworzenie potencjału wytwórczego z uwzględnieniem wymagań ochrony środowiska, rozwój gospodarki skojarzonej,
- optymalizację przesyłu; analizy techniczno-ekonomiczne pozwalające na określenie priorytetowych zadań modernizacyjno-rozwojowych.

Istotnym elementem tego trzeciego ogniwa powyższego programu jest łączne planowanie rozwoju sieci przesyłowej i 110 kV w skali całego kraju.

Sieć 110 kV cechuje się:

- znaczną mocą przyłączonych generatorów (ok. 5000 MW),
- pracą w układzie zamkniętym, równolegle do sieci przesyłowej,
- dużymi przekrojami przewodów (duży udział linii z przekrojami 240 mm^2 w południowej i południowo-zachodniej części Polski),
- rezerwą zdolności przesyłowej o znaczeniu lokalnym i regionalnym,
- w większości zadowalającym stanem technicznym, choć w niektórych regionach Polski wymagane są szybkie działania modernizacyjne i rekonstrukcja.

Wymienione cechy sieci 110 kV świadczą o konieczności planowania jej rozwoju łącznie z siecią przesyłową. Planowanie takie musi być prowadzone niezależnie od stosunków własnościowych zachodzących w elektroenergetyce.

Niestety obecny stan planowania rozwoju sieci przesyłowej i 110 kV w Polsce nie jest zadowalający. Proces planowania rozwoju tych sieci nie został zorganizowany, a instytucje prowadzące prace koncepcyjne nie są wyposażone w odpowiednie narzędzia informatyczne, umożliwiające wykonywanie pełnego zakresu analiz techniczno-ekonomicznych.

2. STAN ISTNIEJĄCY PLANOWANIA ROZWOJU SIECI PRZESYŁOWEJ I 110 kV

Prace z zakresu planowania rozwoju sieci przesyłowej prowadzone są przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA (PSE SA). Wykonywanie koncepcji rozwoju sieci przesyłowej zlecane jest zazwyczaj do Energoprojektu Kraków [12] i Instytutu Energetyki Warszawa[1] [13].

Instytucje te nie dysponują odpowiednimi narzędziami informatycznymi do wykonywania kompleksowych analiz techniczno-ekonomicznych umożliwiających optymalizację strategii rozwoju sieci. Potencjał kadrowy w tych instytucjach nie jest wystarczający do wykonywania samodzielnie wszystkich niezbędnych prac z zakresu planowania rozwoju sieci. Poza tym nie istnieje wspólna baza danych dla wszystkich programów użytkowych, a informacje o uwarunkowaniach zewnętrznych rozwoju sieci są niepełne i niezsynchronizowane z analizami rozwoju wytwarzania. Wszystko to prowadzi do tego, że prace z zakresu planowania rozwoju sieci przesyłowej nie są usystematyzowane, wykonywane są okazjonalnie i fragmentarycznie. Na podstawie uzyskiwanych wyników trudno jest zatem określić prawidłowy program modernizacyjno-rozwojowy sieci przesyłowej.

W zakresie planowania rozwoju sieci 110 kV sytuacja jest jeszcze gorsza. Praktycznie od kilku lat planowanie rozwoju tej sieci, poza nielicznymi wyjątkami, zostało zaniechane. Sieć 110 kV jest własnością spółek dystrybucyjnych (w dalszej części artykułu używać się będzie skrótu SD oznaczającego spółki dystrybucyjne) i one prowadzą samodzielnie prace z zakresu planowania rozwoju tej sieci. W tym miejscu można przypomnieć, że do statutowych zadań firmy PSE SA należy prowadzenie prac naukowo-badawczych z zakresu planowania rozwoju całego systemu elektroenergetycznego w kraju.

Prace z zakresu planowania rozwoju sieci 110 kV prowadzone były przed 1990 r. przez służby rozwojowe okręgów energetycznych. Wykonywanie koncepcji rozwoju tej sieci zlecane było zazwyczaj do Energoprojektu Poznań i dorywczo do

---

[1] Analiza rozwoju polskiej sieci przesyłowej została wykonana w 1993 r. przez Electricite de France z udziałem PSE SA i Energoprojektu Kraków [21]. Wykonanie tej analizy z udziałem ośrodka zagranicznego uwypukliło jeszcze bardziej problem prawidłowego zorganizowania procesu planowania sieci przesyłowej w Polsce.

Energoprojektu Kraków. Wprowadzona w 1989 r. samodzielność gospodarcza zakładów energetycznych i likwidacja okręgów energetycznych spełniających rolę instytucji koordynującej planowanie rozwoju sieci znacznie zaostrzyły problem prawidłowego skoordynowania rozwoju sieci przesyłowej i 110 kV. Poza tym obecnie, z różnych powodów, koncepcje rozwoju sieci 110 kV nie są przez Energoprojekt Poznań wykonywane, natomiast Energoprojekt Kraków specjalizuje się w planowaniu rozwoju sieci przesyłowej (uwzględnienie sieci 110 kV w tym planowaniu nie jest wystarczające).

W takiej sytuacji SD najczęściej samodzielnie wyznaczają program modernizacyjno-rozwojowy sieci 110 kV. Służby rozwojowe w SD nie mają możliwości wykonywania analiz techniczno-ekonomicznych, zwykle nie mają możliwości nawet obliczania rozpływów mocy, które są niezbędne w tego typu analizach. Rozwój sieci 110 kV przyjmowany jest zatem jedynie na podstawie doświadczenia inżynierskiego. Poza tym nie uwzględnia planowanego rozwoju sieci przesyłowej i nie jest zazwyczaj skoordynowany z rozwojem sieci 110 kV sąsiednich SD. Często zdarza się, że SD wykorzystują całkowicie nieaktualną już koncepcję rozwoju sieci 110 kV opracowaną przez Energoprojekt Poznań jeszcze w latach 1982 - 1984 [11].

Od trzech lat prowadzone są przez Sekcję Rozwoju Oddziału Katowickiego PSE SA (RSK) prace zmierzające do uzyskania praktycznego narzędzia w postaci systemu komputerowego, umożliwiającego optymalizację rozwoju sieci przesyłowej z uwzględnieniem sieci 110 kV [2,3,4,17,19]. Prace te koordynuje i w dużym zakresie wykonuje Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej (IE i SU). Uzyskana już wersja systemu ROZWÓJ umożliwia wykonywanie analiz rzeczywistych sieci. Przykładami takich analiz są prace [1,14,15,18]. Po dalszych niezbędnych uzupełnieniach tego systemu, zgodnie z opinią specjalistów zajmujących się planowaniem rozwoju sieci [5], system ten stanie się podstawowym narzędziem takiego planowania.

Obecnie przygotowaną do wykonywania analiz za pomocą tego systemu jest jedynie RSK. Należy podkreślić, że stan kadrowy RSK nie umożliwia wykonywania takich analiz w skali całego kraju, pewne możliwości wykonawcze jednak RSK posiada. Na pewno mogłaby się także podjąć koordynacji prac wykonywanych za pomocą systemu ROZWÓJ przez inne instytucje.

3. PODSTAWOWE NARZĘDZIA PLANOWANIA ROZWOJU SIECI WYKORZYSTYWANE W PSE SA I ENERGOPROJEKCIE KRAKÓW [5]

Podstawowym narzędziem planowania rozwoju sieci przesyłowej i 110 kV wykorzystywanym w PSE SA jest system ROZWÓJ. Analizy rozwoju rzeczywistych sieci wykonywane były dotychczas za pomocą tego systemu jedynie w Sekcji Rozwoju Oddziału Eksploatacji Sieci Przesyłowej Katowice [1,14,15,18,23,24]. Obecnie trwają intensywne prace wdrożeniowe tego systemu w pozostałych sekcjach rozwoju.

W skład systemu ROZWÓJ wchodzą moduły realizujące następujące główne funkcje:

- redukcja modelu systemu elektroenergetycznego dla potrzeb obliczania rozpływu mocy ,
- obliczanie rozpływu mocy,
- wyznaczanie wielkości zwarciowych,
- badanie równowagi statycznej,
- wyznaczanie wskaźników nieciągłości zasilania dla węzłów sieciowych,
- analiza sieci w stanach n-1,
- optymalizacja strategii rozwoju sieci w warunkach dynamicznych.

Przewiduje się prowadzenie dalszych prac rozszerzających zakres funkcji i udoskonalających system ROZWÓJ.

Ogólna koncepcja metodyczna optymalizacji sieci przesyłowej i 110 kV, zrealizowana w systemie ROZWÓJ, zostanie przedstawiona w dalszej części artykułu.

Energoprojekt Kraków wykorzystuje do planowania rozwoju sieci przesyłowej programy autonomiczne:

EKWIW - redukcja modelu systemu elektroenergetycznego dla potrzeb badania stanów ustalonych i nieustalonych,

DYNA - badanie równowagi dynamicznej systemu elektroenergetycznego,

VOLSTA - badanie stabilności napięć w węzłach odbiorczych metodą dQ/dU,

ZWPC, ZWAP, ZWNE, ZWPCU - wyznaczanie wielkości zwarciowych,

PLANS_EPK - obliczanie rozpływu mocy, badanie równowagi statycznej,

EMTP (ATP) - analiza przebiegów nieustalonych w różnych stanach pracy systemu elektroenergetycznego (obecnie wdrażany).

Na uwagę zasługuje fakt nieposiadania przez Energoprojekt Kraków narzędzia informatycznego do wykonywania analizy ekonomicznej w zakresie planowania rozwoju sieci.

4. OGÓLNA KONCEPCJA METODYCZNA SYSTEMU KOMPUTEROWEGO ROZWÓJ

Koncepcja metodyczna systemu ROZWÓJ została szczegółowo opisana w pracy [17], natomiast instrukcja użytkowania tego systemu - w pracy [19]. W tym miejscu wystarczające jest przedstawienie koncepcji metodycznej bardzo ogólnie.

Kryterium optymalizacji jest następującą sumą zdyskontowanych kosztów:

$$K = \min\{\sum_{i=1}^{N}[K_i(t) + K_s(t) + K_z(t) + K_q(t) + K_l(t)] - W(N)\} \qquad (1)$$

gdzie:

K - koszt optymalnego rozwoju sieci (zdyskontowany na rok poprzedzający pierwszy rok analizy),

$K_i(t)$ - koszt inwestycyjny obiektów przekazywanych do eksploatacji w roku t,
$K_s(t)$ - roczny koszt eksploatacyjny stały,
$K_z(t)$ - roczny koszt eksploatacyjny zmienny,
$K_q(t)$ - roczny koszt nieciągłości zasilania,
$K_l(t)$ - koszt wynikający z likwidacji obiektu w roku t,
W(N) - wartość inwestycyjna obiektu w roku końcowym analizy,
N - okres analizy,
t - rok analizy.

Zadanie optymalizacyjne polega na wyznaczeniu strategii rozwoju sieci, zapewniającej minimum kosztów rozwoju sieci w analizowanym okresie przy jednoczesnym spełnieniu postawionych ograniczeń technicznych. Przez strategię rozwoju sieci rozumiane są zmiany układu sieciowego w poszczególnych latach analizy. Ograniczenia techniczne obejmują:

- obciążalności długotrwałe i wytrzymałości zwarciowe elementów sieciowych,
- dopuszczalne poziomy napięć w węzłach sieci przesyłowej i 110 kV,
- wymagany poziom pewności zasilania; reguła n - 1, wskaźniki nieciągłości zasilania,
- wymagany zapas stabilności lokalnej.

Okres analizy powinien obejmować co najmniej dwa etapy rozwoju sieci. Przez etap rozwoju sieci rozumiany jest okres, w którym następuje wyczerpanie się zdolności przesyłowej (przepustowości) układu sieciowego. W praktyce oznacza to, że okres ten powinien być nie krótszy niż 15 lat.

Poszczególne składniki kosztu K w kryterium (1) można określić w następujący sposób.

Koszt inwestycyjny $K_i(t)$ uwzględniający zamrożenie kapitału wyznaczany jest ze wzoru

$$K_i(t) = \sum_{\vartheta=t'}^{t-1} K_n(\vartheta)\, d^{-\vartheta} \tag{2}$$

gdzie:
$K_n(\vartheta)$ - nakład inwestycyjny ponoszony w roku ϑ,
t' - rok rozpoczęcia realizacji inwestycji,
ϑ - kolejny rok realizacji inwestycji,
d - współczynnik dyskonta, d = 1 + p, gdzie p jest stopą procentową (rozszerzeniową).

Roczny koszt eksploatacyjny stały $K_s(t)$ określany jest jedynie dla obiektów przekazywanych do eksploatacji w okresie analizy, ze wzoru:

$$K_s(t) = (r_u + r_p) K_i d^{-t} \tag{3}$$

gdzie:
K_i - koszt inwestycyjny obiektu,
r_u - współczynnik udziału kosztu utrzymania,
r_p - współczynnik udziału pozostałych kosztów eksploatacyjnych stałych.

W przypadku obiektów, dla których rozważana jest ich likwidacja, koszt $K_s(t)$ przybliżany jest za pomocą zależności wykładniczej:

$$K_s(t) = [\alpha r_u (1+w)^{M'+t} + r_p] K_i d^{-t} \tag{4}$$

gdzie:

α - współczynnik początkowego kosztu utrzymania,
w - roczny przyrost kosztu utrzymania,
M' - okres eksploatacji obiektu do roku t = 0,
K_i - koszt inwestycyjny obliczony wg cen nowych obiektów.

Współczynnik α początkowego kosztu utrzymania wynika z warunku równości łącznych kosztów utrzymania obliczonych przy założeniu stałego rocznego odpisu od kosztów inwestycyjnych oraz odpisu zwiększającego się wg zależności wykładniczej.

Współczynnik ten jest równy:

$$\alpha = \frac{\sum_{\vartheta=1}^{M} d^{-\vartheta}}{\sum_{\vartheta=1}^{M} \left(\frac{1+w}{d}\right)^{\vartheta}} \tag{5}$$

gdzie M = M' + M" jest okresem możliwej eksploatacji obiektu (do ewentualnego kapitalnego remontu - okres ten powinien być przyjmowany jako wartość normatywna), natomiast M" jest okresem możliwej eksploatacji obiektu liczonym od roku t = 0.

Roczny koszt eksploatacyjny zmienny $K_z(t)$ obliczany jest ze wzoru:

$$K_z(t) = d^{-t} \sum_{j=1}^{3} [(\delta_j k_{Pj} + \tau_j k_{Aj}) \Delta P_j^{'} + (k_{Pj} + 8760 k_{Aj}) \Delta P_j^{''}] \tag{6}$$

gdzie:

$\Delta P'$ - szczytowe wzdłużne straty mocy,
$\Delta P''$ - poprzeczne straty mocy w transformatorach i liniach,
k_P - wskaźnik kosztów stałych (mocy),
k_A - wskaźnik kosztów zmiennych (energii),
τ - czas maksymalnych strat,
δ_j - udział szczytowych strat sieci j w szczycie systemu,
j - indeks oznaczający sieć: 1 - sieć 110 kV, 2 - sieć 220 kV, 3 - sieć 400 kV.

Roczny koszt nieciągłości zasilania $K_q(t)$ określany jest w następujący sposób:

$$K_q(t) = k_a d^{-t} \sum_{i=1}^{w} E_i(t) q_i(t) \tag{7}$$

gdzie:

k_a - jednostkowy koszt nie dostarczonej energii,
$E_i(t)$ - energia odbierana w węźle i w roku t,

$q_i(t)$ - wskaźnik nieciągłości zasilania dla węzła i w roku t,
w - liczba analizowanych węzłów sieciowych.

Dla potrzeb optymalizacji strategii rozwoju sieci, jednostkowy koszt k_a nie dostarczonej energii szacowany jest jako [9,10]:

$$k_a = \frac{\text{produkt globalny brutto}}{\text{roczne zużycie energii}} \tag{8}$$

Poziom nieciągłości zasilania w węzłach sieciowych charakteryzowany jest za pomocą dwóch wskaźników: λ i q. Wskaźnik λ określa przeciętną roczną liczbę przerw w zasilaniu, natomiast wskaźnik q wyrażony jest wzorem

$$q = \frac{\lambda t_p}{T} \tag{9}$$

gdzie:
t_p - przeciętny czas trwania pojedynczej przerwy w zasilaniu,
T - roczny czas pracy węzła (zwykle 8760 h).

Koszt $K_l(t)$ wynikający z likwidacji obiektu w roku t określany jest jako:

$$K_l(t) = K_{dem}\, d^{-t} - K_{io}\left(1 - \frac{r_M}{r_t}\right) \tag{10}$$

gdzie:
K_{io} - koszt inwestycyjny urządzeń nadających się do wykorzystania w innych obiektach, obliczony wg cen nowych urządzeń,
K_{dem} - koszt demontażu obiektu,

r - współczynnik odzysku kapitału inwestycyjnego.

Współczynniki we wzorze (10) są następujące:

$$r_M = \frac{p\, d^M}{d^M - 1} \qquad r_t = \frac{p\, d^{M+t}}{d^{M+t} - 1} \tag{11}$$

W przypadku różnych okresów M' i M" eksploatacji urządzeń wchodzących w skład likwidowanego obiektu, wzór (10) może zostać odpowiednio uszczegółowiony.

Wartość inwestycyjna W(N) obiektu w końcowym roku analizy jest równa

$$W(N) = K_l(t)\left(1 - \frac{r_M}{r_N}\right) d^{-t} \tag{12}$$

gdzie t jest rokiem przekazania obiektu do eksploatacji, a r_N jest obliczany ze wzoru:

$$r_N = \frac{p\,d^{N-t}}{d^{N-t} - 1} \tag{13}$$

Zadanie optymalizacyjne (1) rozwiązywane jest za pomocą algorytmu programowania dynamicznego.

Dalsze prace nad systemem ROZWÓJ będą obejmowały:

- ekonomiczny rozdział obciążenia między elektrownie (obecnie rozdział ten w poszczególnych latach okresu analizy jest przyjmowany jako proporcjonalny do ekonomicznego rozdziału obciążenia elektrowni w roku początkowym),
- uwzględnienie w zadaniu optymalizacyjnym (1) składnika określającego zwiększenie kosztu wytwarzania energii wynikające z nieekonomicznego rozdziału obciążenia, spowodowanego ograniczeniami sieciowymi,
- wyznaczanie poszczególnych składników zadania (1) w charakterystycznych strefach rocznej krzywej obciążenia systemu elektroenergetycznego.

5. POTRZEBA WYKORZYSTANIA SYSTEMÓW: ROZWÓJ, PSS/E i MEXICO [5]

Pracownicy PSE SA i Energoprojektu Kraków mieli możliwość bliższego zapoznania się z systemami komputerowymi: PSS/E - opracowanym przez amerykańską firmę Power Technologies Incorporation (PTI) [16] i MEXICO - opracowanym przez Electricite de France (EdF) [7,20]. Zaoferowanie PSE SA zakupu tych systemów zapoczątkowało dyskusję o doborze oprogramowania dla potrzeb planowania rozwoju sieci. Bardzo często wypowiadane były opinie o konieczności dokonania wyboru spośród systemów: PSS/E, MEXICO i ROZWÓJ. W niniejszej części artykułu podjęto próbę wyjaśnienia powstałych nieporozumień.

Systemy PSS/E, MEXICO i ROZWÓJ nie mogą być rozważane jako alternatywne narzędzia planowania rozwoju sieci. Systemy te przewidziane są bowiem do rozwiązywania innych grup zagadnień.

System PSS/E przeznaczony jest ogólnie do:

- badania rozpływu mocy,
- analizy wielkości zwarciowych,
- symulacji dynamiki systemu elektroenergetycznego.

Zakres analizy realizowany przez system PSS/E nie różni się istotnie od zakresu analizy technicznej realizowanego przez wykorzystywane obecnie programy w PSE SA (Dyrekcji Rozwoju, Dyrekcji Przesyłu i KDM) oraz w Energoprojekcie Kraków.

Programy analizy technicznej układów sieciowych wykorzystywane w tych instytucjach opracowane zostały w większości przypadków niezależnie przez niewielkie zespoły autorskie utworzone głównie dla potrzeb opracowania tych programów. Programy te nie są zatem jednolite, a dalsze niezbędne prace nad ich

udoskonalaniem musiałyby być inicjowane przez użytkowników. Należy podkreślić, że odtworzenie zespołów autorskich byłoby trudne i mogłoby się okazać nawet niemożliwe.

System PSS/E jest zintegrowanym, kompleksowym narzędziem analizy technicznej, opracowanym przez firmę uznaną w skali światowej. Poza tym system ten jest wykorzystywany przez wiele firm elektroenergetycznych w różnych krajach. Daje to najlepszą gwarancję prowadzenia ciągłych prac nad udoskonalaniem tego systemu, inicjowanych przez jego autorów. Prowadzenie takich prac jest zapewniane przez firmę PTI.

System PSS/E, z rozszerzeniem jego standardowego zakresu o optymalizację rozpływów mocy, został zakupiony przez CEZ (Republika Czeska), a MVM Rt (Węgry) i SEP (Słowacja) zgłaszają chęć jego zakupu. System PSS/E stałby się zatem jednolitym narzędziem analizy technicznej wykonywanej dla systemu elektroenergetycznego CENTREL.

Użyteczność systemu PSS/E w Polsce nie wynika z potrzeby uzupełnienia zakresu wykonywanych dotychczas analiz technicznych. Użyteczność tego systemu w Polsce wynika natomiast z potrzeby posługiwania się profesjonalnym, zintegrowanym, kompleksowym i wygodnym narzędziem analizy technicznej, zapewniającym porównywalność wyników uzyskiwanych w różnych krajach, a szczególnie w krajach tworzących system elektroenergetyczny CENTREL, do którego Polska należy.

PSE SA oraz Energoprojekt Kraków wyrażają zainteresowanie zakupem systemu PSS/E[1]. W Energoprojekcie Kraków system ten byłby wykorzystywany do analiz z zakresu planowania rozwoju sieci. W PSE SA system ten w różnej konfiguracji byłby wykorzystywany do planowania układów normalnych, doboru zabezpieczeń oraz podobnie jak w Energoprojekcie Kraków - do planowania rozwoju sieci.

Zakupienie systemu PSS/E przez PSE SA oraz Energoprojekt Kraków nie oznacza zaprzestania wykorzystywania i rozwijania dotychczasowego oprogramowania z zakresu analiz technicznych. Przewiduje się bowiem konieczność wykorzystania w niektórych analizach, oprogramowania uwzględniającego specyfikę polskiego systemu elektroenergetycznego.

System ROZWÓJ jest kompleksowym narzędziem planowania rozwoju sieci, w ramach którego przeprowadzana jest optymalizacja strategii jej rozwoju. Analiza techniczna wykonywana w ramach tego systemu obejmuje zagadnienia istotne dla optymalizacji strategii rozwoju sieci w okresach wieloletnich (np. 20-letnich). Zastosowane metody oceny technicznej układów sieciowych zawierają dopuszczalne, ze względu na cel analizy, uproszczenia.

W systemie MEXICO analiza techniczna ograniczona jest jedynie do badania rozpływów mocy w różnych stanach awaryjnych systemu elektroenergetycznego. Z powodu konieczności ograniczenia czasu realizacji symulacji różnych stanów pracy systemu elektroenergetycznego system MEXICO zawiera dość znaczne

---

[1] Zainteresowanie zakupem systemu PSS/E wyrażają także: Instytut Energetyki Warszawa, Politechnika Warszawska oraz Politechnika Śląska.

ograniczenie liczby węzłów sieciowych - do 500 (ograniczenie zalecane przez EdF) oraz wymaga stałoprądowej aproksymacji rozpływów mocy. W ramach tego systemu nie jest także przeprowadzana optymalizacja strategii rozwoju sieci. System ten umożliwia przede wszystkim wyznaczenie dwóch składników funkcji kryterialnej: zwiększenia kosztu produkcji energii, wynikającego z konieczności odstąpienia od ekonomicznego rozdziału obciążenia między elektrownie, spowodowanego ograniczeniami sieciowymi, oraz kosztu nie dostarczonej energii z sieci przesyłowej. Składniki te wyznaczane są metodą symulacyjną, dla zadanego układu sieciowego. Wybór strategii rozwoju dokonywany jest statycznie poza systemem MEXICO.

W systemie ROZWÓJ nie dostarczona energia z sieci przesyłowej i 110 kV wyznaczana jest analitycznie. Natomiast zwiększenie kosztu produkcji energii, spowodowane ograniczeniami sieciowymi, w obecnej wersji tego systemu nie jest wyznaczane, gdyż struktura mocy polskiego systemu elektroenergetycznego powoduje, że składnik ten w funkcji kryterialnej nie ma istotnego znaczenia. Potwierdziła to analiza wykonana przez EdF [21]. W przyszłości struktura mocy może ulec zmianie i dlatego podjęto już działania zmierzające do uwzględnienia w systemie ROZWÓJ również i tego składnika.

System MEXICO można by zatem rozważać jedynie jako dwa moduły systemu ROZWÓJ, z których jeden - moduł nieciągłości zasilania - określałby nie dostarczoną energię inną metodą. Należy zaznaczyć, że obecnie rozważana jest celowość wprowadzenia do systemu ROZWÓJ metody symulacyjnej wyznaczania nie dostarczonej energii. Użycie metody analitycznej lub symulacyjnej byłoby wtedy opcjonalne.

System PSS/E stanowi jedynie zestaw programów inżynierskich przeznaczonych do deterministycznej oceny zadanego układu sieciowego. System ten jest zatem narzędziem pomocniczym w pracy koncepcyjnej inżynierów. Za pomocą tego systemu możliwe jest przeprowadzenie szczegółowej analizy technicznej układów sieciowych, która jest niezbędna dopiero po wyznaczeniu optymalnej strategii rozwoju sieci. W wyniku takiej analizy uszczegóławiany jest termin przekazania do eksploatacji nowych obiektów sieciowych i rozwiązywane są problemy nie mające wpływu na rozbudowę układów sieciowych.

Szczegółowa analiza techniczna mogłaby być zatem wykonywana za pomocą systemu PSS/E. Gdyby do tego celu nie wykorzystać systemu PSS/E, to konieczne byłoby dalsze rozszerzanie i uzupełnianie modułów analizy technicznej wchodzących w skład systemu ROZWÓJ. Przewidując wykorzystanie systemu PSS/E do szczegółowej analizy technicznej, wstrzymano już decyzję uzupełnienia systemu ROZWÓJ o moduł badania równowagi dynamicznej. Po niewielkim przystosowaniu wyników wyprowadzanych w systemie ROZWÓJ do struktury wymaganej przez system PSS/E systemy te mogłyby być użytkowane w postaci zintegrowanej.

Określana w systemie MEXICO wartość nie dostarczonej energii, w odczuciu autorów niniejszego artykułu, budzi pewne wątpliwości - wartość ta wydaje się być znacznie zawyżona. Należy podkreślić, że wyniki metody symulacyjnej wyznaczania nie dostarczonej energii nie zostały ostatecznie zweryfikowane. Wnioskiem artykułu

[8], w którym porównywano trzy podobne systemy symulacyjnego wyznaczania nie dostarczonej energii: francuski, angielski i włoski, jest stwierdzenie, że wyniki uzyskiwane za pomocą tych systemów są różne.

Zakup systemu MEXICO lub innego oprogramowania realizującego podobne funkcje mógłby być ewentualnie uzasadniony koniecznością posługiwania się w analizach rozwoju sieci wykonywanych dla potrzeb współpracy międzynarodowej narzędziem narzuconym przez partnera zagranicznego. Według posiadanego rozeznania, w prowadzonym obecnie studium nad przyłączeniem Litwy, Łotwy i Estonii do UCPTE, wykonywanym przez Vattenfal AB i Imatran Voima OY (Finlandia) wspólnie ze specjalistami polskim, nie będzie wykorzystywane narzędzie długookresowego planowania rozwoju sieci. Natomiast do oceny technicznej układów sieciowych wykorzystywany będzie system PSS/E.

W takiej sytuacji autorzy niniejszego artykułu nie widzą obecnie bezpośredniej korzyści z zakupu systemu MEXICO. Decyzja o zakupie narzędzia umożliwiającego prowadzenie całkowicie niezależnych badań w stosunku do analiz wykonywanych za pomocą systemu ROZWÓJ powinna być odłożona do czasu uzyskania lepszego rozpoznania oprogramowania z tej dziedziny, dostępnego na świecie.

Energoprojekt Kraków wyraża natomiast zainteresowanie wykorzystaniem systemu ROZWÓJ w wykonywanych analizach. Należy podkreślić, że posługiwanie się tym samym narzędziem przez różne instytucje nie oznacza braku niezależności badań. Analiza może być bowiem wykonywana dla różnych założeń i uwarunkowań zewnętrznych rozwoju sieci, analiza wariantowa może obejmować inne układy sieciowe, inna może być interpretacja wyników pośrednich itp. Natomiast bez względu na wykorzystywane narzędzie, wartości poszczególnych składników funkcji kryterialnej powinny być jednakowe, jeśli określane są przy tych samych założeniach, a koncepcja metodyczna ich wyznaczania jest prawidłowa. Wykorzystanie innego systemu komputerowego mogłoby być zatem uzasadnione potrzebą testowania systemu ROZWÓJ lub lepszymi właściwościami użytkowymi, bądź potrzebami wynikającymi ze współpracy międzynarodowej.

6. WNIOSKI

Spostrzeżenia autorów przedstawione w niniejszym artykule umożliwiają sformułowanie następujących wniosków:

1. System komputerowy ROZWÓJ jest kompleksowym narzędziem planowania rozwoju sieci przesyłowej i 110 kV umożliwiającym optymalizację strategii ich rozwoju. Wykorzystanie tego systemu w praktycznych analizach wymaga obecnie przede wszystkim odpowiedniego zorganizowania procesu planowania rozwoju tych sieci w skali całego kraju. Zorganizowanie tego procesu nie jest możliwe bez ścisłej współpracy w tym zakresie PSE SA i wszystkich SD.

2. Zadaniem systemu komputerowego ROZWÓJ nie jest szczegółowa analiza techniczna układu sieciowego. Do realizacji tego zadania odpowiedni wydaje się system komputerowy PSS/E. Posługiwanie się systemami ROZWÓJ i PSS/E zapewnia wykonanie niezbędnego zakresu analizy technicznej i ekonomicznej, umożliwiającej określenie programu modernizacji i rozwoju sieci przesyłowej oraz 110 kV.

3. Konieczne jest powołanie ośrodka planowania rozwoju sieci przesyłowej i 110 kV, który będzie się zajmował koordynacją wykonywanych prac. Jedna z możliwych koncepcji funkcjonowania takiego ośrodka została przedstawiona w pracy [6], natomiast koncepcja systemu informatycznego niezbędnego do jego funkcjonowania - w pracy [22].

LITERATURA

1. Chodakowska S., Kołakowski T., Buchta F.: Analiza przewidywanego rozwoju sieci 110 kV na obszarze Zakładu Energetycznego Opole. Energetyka nr 11, 1992.
2. Buchta F., Kocot H.: Program mikrokomputerowy analizy wariantów rozwoju sieci. Etap I. Oddział Eksploatacji Sieci Przesyłowej Katowice, Katowice 1991 (praca nie publikowana).
3. Buchta F., Kocot H.: O planowaniu rozwoju sieci przesyłowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Elektryka 1992 z. 127.
4. Buchta F., Kocot H.: System mikrokomputerowy ROZWÓJ jako narzędzie planowania rozwoju sieci przesyłowej i 110 kV. Materiały konferencji "Aktualne problemy w elektroenergetyce", Porąbka-Kozubnik 1993.
5. Buchta F., Kaczanowski A., Kula M.: Raport w sprawie określenia miejsca systemów ROZWÓJ, PSS/E I MEXICO. Oddział Eksploatacji Sieci Przesyłowej Katowice, Katowice 1993 (praca nie publikowana).
6. Buchta F., Kołakowski T.: Koncepcja przekształceń organizacyjnych dla potrzeb planowania rozwoju sieci przesyłowej i 110 kV. Oddział Eksploatacji Sieci Przesyłowej Katowice, Katowice 1993 (praca nie publikowana).
7. Dodu J. C., Merlin A.: Recent improvements of the MEXICO model for probabilistic planning studies. Electrical Power & Energy Systems nr 1, kwiecień 1979.
8. Dodu J. C., Verseille J., Ray C. J., Farrant W. S.,Bertoldi O., Scalcino S.: Comparing mathematical models used at CEGB, EdF and ENEL to assess composite system adequacy in the planning stage. CIGRE 1990.
9. Grzeszak W.: Ile kosztuje nie dostarczona energia. Energetyka 1981, nr 4.
10. Popczyk J., Ciura S., Buchta F., Michnowicz J.: Ocena proporcji kosztu strat energii w sieciach rozdzielczych oraz nieciągłości zasilania i odchyleń poziomów napięcia u odbiorców. Energetyka 1985, nr 5.
11. Praca zbiorowa: Koncepcja rozwoju sieci elektroenergetycznej 110 kV ZEOPd do 2000 roku. Energoprojekt Poznań, 1982-1984 (praca nie publikowana).

12. Praca zbiorowa: Program rozbudowy krajowej sieci 400 i 220 kV w latach 1991-1997. Energoprojekt Kraków, 1990 (praca nie publikowana).
13. Praca zbiorowa: Prognozowany zakres rozbudowy krajowej sieci przesyłowej na tle spodziewanych możliwości pokrycia zapotrzebowania na moc i energię elektryczną w perspektywie 2010 r. Instytut Energetyki, Warszawa 1990 (praca nie publikowana).
14. Praca zbiorowa: Analiza wyboru układu stacji 220/110 kV Blachownia (po awarii zaistniałej w dniu 20.09.1991 r.). Oddział Eksploatacji Sieci Przesyłowej Katowice, Katowice 1991 (praca nie publikowana).
15. Praca zbiorowa: Analiza techniczno - ekonomiczna wariantów rozwoju sieci 110 kV na wybranych obszarach Zakładu Energetycznego Opole. Oddział Eksploatacji Sieci Przesyłowej Katowice, Katowice 1992 (praca nie publikowana).
16. Praca zbiorowa: Power system simulator. Power Technologies Incorporation, opracowanie przekazane PSE SA we wrześniu 1992 r. (praca nie publikowana).
17. Praca zbiorowa: Koncepcja metodyczna programu mikrokomputerowego ROZWÓJ. Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej, Gliwice 1992 (praca nie publikowana).
18. Praca zbiorowa: Raport z analizy warunków wyprowadzenia mocy z Elektrowni Skawina po jej modernizacji. Oddział Eksploatacji Sieci Przesyłowej Katowice, Katowice 1993 (praca nie publikowana).
19. Praca zbiorowa: Instrukcja użytkowania systemu mikrokomputerowego ROZWÓJ. Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej, Gliwice 1993 (praca nie publikowana).
20. Praca zbiorowa: ERACLES Power System Planning package, Eurostag Power System Dynamics simulation. EdF, materiały przekazane PSE SA w 1993 r. (praca nie publikowana).
21. Praca zbiorowa: Studium rozbudowy polskich sieci elektroenergeetycznych. Raport końcowy. EdF, lipiec 1993 (praca nie publikowana, dostępna w PSE SA Katowice).
22. Praca zbiorowa: Koncepcja systemu informatycznego dla potrzeb PSE Rozwój. WASCO, Gliwice 1993 (praca nie publikowana).
23. Praca zbiorowa: Optymalizacja rozwoju sieci przesyłowej na terenie Oddziału Eksploatacji Sieci Przesyłowej Katowice z uwzględnieniem sieci 110 kV. Oddział Eksploatacji Sieci Przesyłowej Katowice (praca w toku, nie publikowana).
24. Praca zbiorowa: Łączna optymalizacja rozwoju sieci przesyłowej na terenie Oddziału Eksploatacji Sieci Przesyłowej Katowice i sieci 110 kV na terenie Zakładu Energetycznego Opole SA. Oddział Eksploatacji Sieci Przesyłowej Katowice (praca w toku, nie publikowana).

Recenzent: Doc. dr inż. Stefan Sobieszczański

Wpłynęło do Redakcji dnia 21 marca 1994 r.

Abstract

One of the main problems of the Polish power system now is to prepare and execute a huge modernisation and investment programme in considerably short time. Indispensable condition of the execution is solution of the financing problems of the development taking into consideration credits from abroad and as preparation and continuous updating of the integrated development programme as well. A substantial element of the programme is common development planning of the transmission (400 and 220 kV) and 110 kV networks in scale of whole country. One must note, that in Poland 110 kV net operates in closed loop and parallel to the transmission net.

Present state of development planning of the transmission and 110 kV networks in Poland unfortunately is not satisfactory. Development planning process is not being organised in connection with changed conditions of the power system operation (restructuring of the power sector) and institutions conducting the planning works are not being equipped with adequate informatic tools making possible to perform full scope of technical-economical analysis.

In the paper presented is a general methodological idea "ROZWÓJ" computer system (developed in Poland) used as a tool in planning of the modernisation and development of transmission network (400 and 220 kV) and 110 kV networks. Attention is paid to its features, which differ it from other systems worked out abroad and offered now to the Polish Power Grid Co., i.e. PSS/E and MEXICO systems.

Methodical conception of the economical optimisation module of the transmission and 110 kV net development is being shown - in general - in paragraph 4 (equation 1 to 13). The aim of that module is to define net development strategy (giving minimum of net development costs in analysed period), simultaneously taking into consideration given technical constrains optimal in relation to the criterion (1). The development strategy is understood by the system changed in particular years of the analyse. The optimisation task is being solved by the dynamic programming algorithm. Equipping the ROZWÓj system with the module of the net development dynamic optimisation offers in substantial manner from PSS/E and MEXICO systems.

In the paper characterised is present state of modernisation and development planning of the transmission and 110 kV nets in Poland. Work co-ordination necessity and utilisation need of the ROZWÓJ and PSS/E systems as tools ensuring indispensable scope of technical and economical analysis, making possible establishing modernisation and development programme of those nets are justified.