

Awarie systemowe: skutki błędów polityki i zarządzania

Autor: Jacek Malko, Instytut Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej

(„Wokół Energetyki” – luty 2006)

Motto:

Jeżeli coś złego może się zdarzyć, to zdarzy się na pewno

Prawo Murphy'ego

W ostatnich latach problemy bezpieczeństwa zasilania w energię elektryczną (będące istotnym składnikiem szerszego pojęcia *bezpieczeństwo energetyczne*) stały się dyżurnym tematem czasopiśmiennictwa naukowo-technicznego [1-6], konferencji i seminariów, aktywności klasy politycznej, a nawet *cover stories* poważniejszych kolorowych czasopism o szerokim obiegu. Wydarzenia minionych tygodni nakazały skupić uwagę *na* innym aspekcie - bezpieczeństwie dostaw gazu -ale nadal bezpieczeństwo elektroenergetyczne jest sprawą priorytetową w narodowej polityce energetycznej. Seria spektakularnych awarii wielu systemów Ameryki Północnej i Europy w latach 2003/2004 oraz żywa jeszcze pamięć rozległych blackoutów lat 60. i 70. w USA zaowocowała licznymi wypowiedziami, podkreślającymi nieuchronność takich zdarzeń w przyszłości. Przypomniano przy tym poważne prace z lat 90., zwłaszcza obszerne studium zespołu S.H. Horowitza i A.G. Phadke'a o zabezpieczeniowych strategiach przewencyjnych [7, 8]. Jednakże pozytywnym efektem szerokiej dyskusji jest zwrócenie uwagi *na* rolę uwarunkowań organizacyjnych i przemożny wpływ czynnika politycznego.

Można przypuszczać, iż połączony system elektroenergetyczny, ze swej natury podatny na zakłócenia systemowe, jest najbardziej złożonym i ściśle wewnętrznie powiązaniem układem technicznym, z którym mamy codzienny kontakt. Gdy zakłócenia systemowe są względnie rzadkie, można je traktować jako symptomy niewłaściwego zaprojektowania i eksploatacji, co z kolei jest skutkiem nieadekwatnego systemu bodźców. Daje do myślenia fakt, że niezależne grupy ekspertów, badające rozległą katastrofalną awarię z 28 września 2003 r. we Włoszech oraz *blackout* z 14 sierpnia tegoż roku w północno-wschodnich obszarach pograniczy USA i Kanady, doszły do bardzo zbliżonych wniosków o genezie tych geograficznie odległych zjawisk. Co więcej, jeżeli zalecenia sformułowane po badaniach trzech wielkich awarii amerykańskich z lat 1994 i 1996 byłyby potraktowane z większą starannością, to skutek zaburzeń systemowych roku 2003 byłby znacznie mniej poważny.

Ocena awarii w roku 2003, dokonana przez zespół badawczy z USA i Kanady podkreśla, że polityka bezpieczeństwa energetycznego i standardy eksploatacyjne, sformułowane przez Północnoamerykańską Radę Niezawodności Elektrycznej (NERC) nie były realizowane, a błędy zidentyfikowane po *blackoutach* zachodniej części USA w połowie lat 90., powtórzyły się ponownie. Dobrym sygnałem jest wznowienie aktywności inwestorów w dziedzinie infrastruktury sieciowej, co obserwowalne jest jako zjawisko globalne. Jednak zaległości są nadal poważne.

W poszukiwaniu winnych

Niewątpliwie część odpowiedzialności za błędne funkcjonowanie systemu (zwłaszcza w obszarze sieciowym) przypisać należy procesowi deregulacji elektroenergetyki. Nastąpiło rozdzielanie obszarów wytwarzania, przesyłu i dystrybucji, z powierzeniem funkcji koordynacyjnych nowym podmiotom — niezależnym operatorom systemu (ISO) oraz regionalnym organizacjom przesyłowym (RTO). Deregulacja, prowadząca wyłącznie do uwolnienia ceny energii, przy pozostawieniu stałych opłat za dostęp i użytkowanie

infrastruktury sieciowej, nie prowadzi do pożądanych rezultatów. Stworzenie bodźców dla masowego obrotu energią przesyłaną na duże odległości oraz dla budowy nowych źródeł prowadzi do zwiększonych wymagań względem sieci przesyłowych, lecz nie stwarza warunków zachęcających do inwestycji w tym obszarze. Zdolności przesyłowe nie są adekwatne do potrzeb, gdyż przedsiębiorstwa energetyczne nie uzyskują rozsądnego zwrotu z kapitału, zainwestowanego w rozbudowę sieci. Zwiększa się istotnie ryzyko awarii katastrofalnych, wywołanych przez normalne stany zakłóceń, co prześledzić można chociażby na przykładzie sekwencji zdarzeń z roku 2003, prowadzących od zetknięcia gałęzi drzew niewłaściwie pielęgnowanej przecinki leśnej z przewodami silnie obciążonej linii. Zwarcie w jednej linii spowodowało przeciążenia linii pozostałych, a symptomy nadchodzącego kryzysu nie zostały dostrzeżone na skutek niewłaściwego działania wyposażenia monitorującego. Zakłócenia w sieci nie tylko zostały zidentyfikowane z opóźnieniem, ale też doprowadziły do działań niezgodnych z zaleconymi przez NERC procedurami elektrycznego izolowania zainfekowanych fragmentów sieci. Próba zachowania istniejących połączeń sieciowych doprowadziła do drastycznych przeciążeń i kaskadowych wyłączeń elementów systemu, gwałtownie powiększając obszar dotknięty awarią i pozbawiając zasilania 50 milionów użytkowników energii elektrycznej w USA i Kanadzie.

Opisywany przypadek nie jest ani zdarzeniem wyjątkowym, ani też niepowtarzalnym. *Blackouty* niewynikające z katastrof naturalnych i klęsk żywiołowych w latach ostatnich zanotowano także w Australii, Chorwacji, Danii, Grecji, Indiach, Rosji, Szwecji, Wielkiej Brytanii i we Włoszech, a dotknęły one w skali światowej ponad 140 mln konsumentów. Co więcej, widoczna jest tendencja do zwiększenia rozmiarów i skutków tych zdarzeń.

Zjawisko zakłóceń lawinowych jest niemal nieodłączne od natury systemów elektroenergetycznych, w których nieliniowość jest charakterystyczna dla wszystkich jego funkcji. Co więcej, w czasie rzeczywistym musi następować bilansowanie dostępnych zasobów: mocy czynnej, mocy biernej i zdolności przesyłowych. Przy pracy systemu w warunkach obciążeń zbliżonych do granicznych nawet krótka przerwa po stronie generacji lub przesyłu może spowodować kaskadę zdarzeń, rozwijającą się w sposób gwałtowny i nieprzewidywalny. Zjawiska takie rozwijają się w sekundowych skalach czasu.

Eksploatacja systemu w obszarach niedostatecznie rozpoznanych lub poza granicami bezpieczeństwa zagraża pozostałym częściom systemu (...). Przeciążone linie przesyłowe mogą powodować kaskadowe wyłączenia linii, transformatorów i generatorów, rozszerzając zasięg awarii. Rozchylenie kątów wirników generatorów, pracujących na wspólną sieć, prowadzi do oscylacji i utraty stabilności. Rozpad systemu na obszary wyspowe narusza warunki bilansowania obciążeń i generacji, co prowadzi do wyjścia częstotliwości poza pasmo wahań dopuszczalnych a zatem i do dalszej separacji źródeł mocy czynnej i biernej oraz zasobów przesyłowych. Stany takie byłyby do zniesienia, gdyby ich trwanie ograniczało się do pojedynczych minut lub nawet godzin. Jednakże nie jest to typowe dla awarii wielkoobszarowych, takich jak opisywane blackouty, łącznie z incydem z sierpnia 2003 r. Uszkodzenia, które dotknęły specjalne wyposażenie systemowe, są trudne do usunięcia, a przywracanie stanu normalnego wymaga sukcesywnego wykrywania i usuwania „wąskich gardeł” w systemie. Może to trwać na tyle długo, że wyczerpaniu ulegną baterijne źródła zasilania awaryjnego, pogłębiając pierwotne skutki awarii. Pełne szkody ekonomiczne nie są łatwe do oceny, ale sięgają miliardów USD, zależąc przy tym od momentu wystąpienia zakłócenia co „wynika z sezonowości rocznej i zmienności dobowej obciążeń w systemie? 9?.

Czerpiąc mądrość z analizy zaistniałych przypadków nie ustajemy w poszukiwaniu przyczyn.

Szybko można ustalić powody szczególne: nieusunięte gałęzie przecinek leśnych, przestarzała (nieinteligentna) aparatura łączeniowa, niesprawne systemy monitorowania, czy też błędy komunikacji; te przyczyny mają niewątpliwie swój udział w genezie i przebiegu zdarzeń. *Jednakże niektórzy właściwego sedna upatrują w ogólnym zjawisku: system został zaprojektowany i jest eksploatowany dla spełnienia jednego kryterium — niezawodności, zaś jest użytkowany zgodnie z kryterium innym — ekonomiką [9].* Ponadto istotną rolę odgrywa tzw. czynnik ludzki. Psychologia utrzymuje, że umysł ludzki -wg uzasadnionych przypuszczeń — ma inklinację do lekceważenia zagrożeń (aczkolwiek bardzo poważnych w skutkach) ale o względnie małym prawdopodobieństwie wystąpienia. Takie nastawienie może tłumaczyć postępowanie, polegające na drastycznym ograniczeniu środków na inwestycje sieciowe, niezbędne dla uchronienia przed zjawiskami katastrofalnymi. Zbyt kosztowne wydaje się budowanie i utrzymywanie zasobów wytwórczych i przesyłowych, przydatnych w scenariuszach o niskim prawdopodobieństwie. W USA *Energy Policy Act* z roku 1992 doprowadził do deregulacji ceny energii elektrycznej, umożliwiając właścicielom mocy wytwórczych żądanie cen, wynikających z potrzeb rynku. W obrocie hurtowym — zgodnie z oczekiwaniami — nastąpiła szybka reakcja na bodźce: energię kupowano tam, gdzie ceny były najniższe i sprzedawano tam, gdzie były najwyższe. Wymiana na wielkie odległości z wykorzystaniem sieci międzystanowych (co w istocie oznaczało przesyły transkontynentalne) pozwoliła na wykorzystanie wszelkich istniejących rezerw. *Wynikają stąd ważne konsekwencje, nie istnieje bowiem taka rzecz, jak darmowy obiad. Jeżeli dążymy do zarabiania pieniędzy na całym zainwestowanym kapitale przez cały czas, to nie pozostawiamy sobie żadnego pola manewru. Doprowadzimy do zbyt niskiego poziomu rezerw. W zderegulowanym systemie elektroenergetycznym dominuje troska o wpływy pieniężne, co nieuchronnie prowadzi do obniżenia niezawodności dostaw. Przed deregulacją przedsiębiorstwo będące własnością inwestora, mogło oczekiwać zwrotu z inwestycji w rozwój infrastruktury jako rekompensaty za gotowość do świadczenia usług jak to formułował standardowy język komisji ds. energetyki. Obecnie, niedysponujące gwarancją zwrotu z inwestycji i obciążone "wymogami otwarcia sieci dla konkurencji bez odpowiednich kompensacji, przedsiębiorstwa energetyczne nie widzą dostatecznej zachęty do podwyższania rezerw zdolności przesyłowych [9].*

Z tych samych powodów przedsiębiorstwa te tracą zainteresowania projektami badawczymi. Ta atmosfera jest ewidentnie przyczyną tego, że tak wiele wniosków i zaleceń, płynących z analizy awarii zachodnich systemów USA w latach 1994 i 1996, zostało w istocie zignorowane. Znajduje to również potwierdzenie w innych przypadkach *blackoutów* na całym świecie.

Bodźce i antybodźce

Mnogość podmiotów uczestniczących w procesach planowania, projektowania, budowy eksploatacji i wycofywania podstawowych obiektów systemu elektroenergetycznego, ma zróżnicowany wpływ na proces inwestycyjny, a ich reakcje są swoiste. Przykładowo biorąc — samorządy lokalne są uczulone na wszelkie działania inwestorów na ich terenie (zgodnie z zasadą *tylko nie na moim podwórku*), co nie sprzyja budowie linii i stacji, zaś władze państwowe wykazują większą wrażliwość na bezpieczeństwo rozważane w kategoriach terroryzmu, co spycha problemy bezpieczeństwa energetycznego w obszar zadań o mniejszej pilności. Konieczne staje się przywrócenie systemu zachęt w celu zapewnienia stabilności warunków pracy infrastruktury energetycznej. Punktem wyjścia musi być transparentność: gdy operatorzy sąsiednich systemów mają wzajemny wgląd w protokoły danych, to uzyskują cenny czas dla podjęcia działań w obliczu narastających zagrożeń. Obrazowo w [9] opisano te

działania jako *elektryczny ekwiwalent układania worków z piaskiem* w przypadku nadciągającej fali powodziowej.

Jednakże ani układy sygnalizacji, działające w czasie rzeczywistym, ani nowoczesne wyposażenie monitorujące nie funkcjonowały w przypadku sytuacji z sierpnia 2003 r. Jako minimalny warunek sformułować można postulat istnienia w pełni operacyjnych systemów sterowania nadrzędnego i pozyskiwania danych (SCADA), zapewniających dostęp do podstawowych informacji i umożliwiających operatorom podjęcie stosownych i adekwatnych interwencji. Bardziej doskonałe wersje takich systemów wyposaża się w zaawansowane układy automatycznego ostrzegania i utrzymywania integralności połączeń sieciowych pomiędzy sąsiednimi spółkami dystrybucyjnymi oraz — w razie potrzeby — do wspomagania procesu odbudowy. Istnieją dziś odpowiednie rozwiązania techniczne oraz wiedza, umożliwiające monitorowanie i synchronizowanie poszczególnych węzłów sieciowych z wykorzystaniem satelitarnego systemu pozycjonowania (GPS) dla uzyskania wczesnego ostrzegania o potencjalnych problemach. Istniejące standardy techniczne dla infrastruktury sieciowej zostały gruntownie przebadane w okresie przed deregulacją sektora. *Przykładowo "wymaganie utrzymania rezerwy mocy w rozmiarach 6-7 proc. mocy szczytowej gwarantowało nie-przekroczenie czerwonej linii. Również podobną rezerwę pozostawiano w mocach przesyłowych linii i aparaturze łączeniowej. Analizy kaskadowych awarii wielkoobszarowych, wydarzających się w ostatnich latach wykazały, iż systemy elektroenergetyczne eksploatowane są bliżej wartości granicznych niż w przeszłości, a rezerwy są niewystarczające. Równocześnie fragmenty systemów połączonych funkcjonowały w warunkach przekraczających wartości graniczne, a rozsądne wskaźniki niezawodności padły ofiarą kompromisu, co spowodowało, że sieci stały się bardziej wrażliwe na wszelkie zakłócenia [9] .*

Wielu badaczy utrzymuje, że zdarzenia awaryjne będą się powtarzać. Ponieważ awarie katastrofalne są skutkiem sekwencji przypadków o niskim prawdopodobieństwie, nie jest w istocie możliwe całkowite uniknięcie wyłączeń w częściach połączonych sieci. Jednakże nie istnieją powody, dla których awarie miałyby się rozpowszechniać na wielkie obszary z dramatycznymi tego skutkami, jak to obserwowano dla Ameryki Północnej i Europy. Co więcej, winno być możliwe przywrócenie zasilania poszkodowanym odbiorcom w krótszym czasie, bez wprowadzania procedur rotacyjnych wyłączeń.

Konieczne działania

Powstrzymanie rozwoju awarii oraz — gdy działania prewencyjne nie odniosły pożądanego skutku — przyspieszenie odbudowy systemu wymaga przedsięwzięcia wielu kroków w zakresie modernizacji wyposażenia i układów energoelektronicznych. Dziś zbyt wiele węzłów sieciowych zależy od funkcjonowania łączników elektromechanicznych oraz przyrządów, instalowanych przed dziesięcioleciami i niemających zdolności przeprogramowywania po zakłóceniu systemowym i w procedurach odbudowy. Nowe rozwiązania, wykorzystujące mikroprocesory, działają szybciej i są pomocne w tworzeniu struktur wyspowych. Ważną cechą eksploatacyjną układów mikroprocesorowych jest łatwość wymiany uszkodzonych modułów i znaczna elastyczność konfigurowania. Gruntowna poprawa standardów operatorskich wymaga jednak pójścia dalej : niezbędne jest ustanowienie wysokich standardów szkolenia personelu. Konieczne jest nie tylko wymaganie wyuczonej biegłości w procedurach, lecz także zapewnienie mechanizmów podejmowania przez operatora decyzji bez poczucia zagrożenia przesadnymi restrykcjami ze strony

macierzystej korporacji, mediów czy też zewnętrznych kontrolerów.

Z doświadczeń ostatnich *blackoutów* wynikają pewne zasady tzw. odpowiednio reagującej procedury odbudowy systemu (*responsive restoration*). Są to:

- dobrze zdefiniowane zasady postępowania, wymagające ogólnej koordynacji zarówno w zakresie odbudowy, jak i na obszarach sąsiednich struktur sieciowych;
- niezawodne i efektywne narzędzia software'owe, mogące znacząco wspomóc operatorów i koordynatorów obszarów w zadaniu realizacji procedur operacyjnych i podejmowaniu prawidłowych decyzji;
- systemowe sesje treningu operatorów dla zapewnienia efektywności procesu w oparciu o scenariusze, obejmujące wszystkie wymagania niezawodności regionalnej i polityki bezpieczeństwa energetycznego państwa.

Ważnym elementem działań w zakresie prewencji i odbudowy jest komunikacja społeczna. Społeczność konsumencka winna być poinformowana o standardach technicznych, za które odpowiada przedsiębiorstwo energetyczne. Jest tu wiele do zdziałania: nawet bardzo uświadomieni wielcy klienci (tacy jak przedsiębiorcy) nie mają dostatecznej orientacji odnośnie do niezawodności dostarczanej im energii. Konieczne jest opracowanie efektywnych modeli systemu dla analiz prawdopodobieństwa lokalnych i regionalnych awarii katastrofalnych (*blackouts*) i awarii o mniej drastycznych skutkach (*brownouts*). Modele także winny również dać odpowiedź na pytanie o oczekiwane czasy powrotu zasilania, co umożliwi konsumentom przedsięwzięcie adekwatnych działań minimalizujących straty.

Niezmiernie istotne jest opracowanie właściwych procedur planowania rozwoju sieci przesyłowych i dystrybucyjnych, dla zapewnienia rozwiązań efektywnych kosztowo w oparciu o kryteria optymalnego podejmowania decyzji. Podstawowymi problemami do rozstrzygnięcia są zatem:

- usprawnienie procedur dostępu do linii, pielęgnacji przecinek, oceny wpływu na środowisko oraz zasad zwrotu kosztów osieroconych (*stranded investments*),
- opracowanie systemów zarządzania majątkiem i obsługi, zapewniających niezawodność elementów systemu;
- wycena niezawodności, czyli określenie kosztów i ryzyka, jakie skłonni są ponosić właściciele sieci i klienci; sektor energetyczny zwykł optymalizować koszty inwestycyjne i wyceniać raty zwrotu nakładów w oparciu o finansowe aspekty handlu energią i usługi gotowości do dostaw przy określonych kryteriach niezawodnościowych;
- określenie zakresu planowania sieci przesyłowych i podejmowanych decyzji: konieczne jest objęcie planowaniem wielkich obszarów geograficznych z identyfikacją rzeczywistych korzyści i alokacji kosztów;
- określenie konsekwencji wprowadzenia generacji rozproszonej jako alternatywy przesyłu na wielkie odległości.

Wyzwania są ogromne i trudno będzie im sprostać. Przewidywania Departamentu Energii USA (US DOE) zakładają wzrost infrastruktury przesyłowej o 45 proc. w następnym 20-leciu

i to tylko dla wyprowadzenia mocy z nowych źródeł, których liczbę ocenia się w tym okresie na 1 300-1 900. Nadal jednak brak jest efektywnej strategii budowania infrastruktury dostawy energii z tych źródeł.

Analiza wielkich awarii w skali całego globu podkreśla potrzebę reform międzyregionalnej sieci przesyłowej z wykorzystaniem najlepszych dostępnych technik (BAT) w czasie możliwie najkrótszym, bez zwłoki wynikającej z bezwładności procesów legislacji i regulacji. Konieczna jest jednak świadomość, iż wszystkie połączone systemy będą doświadczać awarii katastrofalnych w warunkach pracy poza przewidywanymi ograniczeniami projektowymi [9]. Te zasadnicze obserwacje nie są nowym odkryciem. Jednak jako użytkownicy końcowi musimy zaakceptować bądź cenę, jaką płacimy za niezawodność, bądź też konsekwencje zawodności.

Zakończenie (ale nie koniec problemu)

Dystans czasowy od najbardziej spektakularnych awarii systemowych złagodził skrajność wygłaszanych ocen i sprzyjał poszukiwaniu remediów. Fatalizm, wynikający z przeświadczenia o nieuchronności zdarzeń katastrofalnych, będących cechą wysoce złożonych systemów technicznych, został złagodzony narastającym przekonaniem o możliwości skutecznego ich diagnozowania, monitorowania, zapobiegania i wreszcie ograniczania skutków oraz szybkiego powrotu do warunków pracy normalnej. Odparte w istocie zostały próby obarczenia procesów liberalizacji sektora energetycznego odpowiedzialnością za rozległe awarie systemowe; reprezentatywna jest opinia wyrażona w periodyku IEEE: *Ostatnie blackouty spowodowały lament, że deregulacja jest błędem. Ale przecież w warunkach regulowanego sektora i scentralizowanego planowania też mieliśmy w przeszłości awarie katastrofalne, a więc dlaczego obarczać winą proces deregulacji? Czy nie jest to zbytnim uproszczeniem [10] ?* Przypomina to stwierdzenie, zawarte we wnioskach komisji senackiej USA, oceniającej przyczyny i przebieg wcześniejszego kryzysu kalifornijskiego lat 2000/2001. W największym skrócie: zasadniczą przyczyną tego zjawiska było ograniczenie — nie zaś nadmiar — mechanizmów rynkowych. W podobnym duchu wypowiadają się autorzy invited paper w dwumiesięczniku CIGRE Electra. Opisując zasadnicze obszary transformacji elektroenergetyki autorzy (reprezentujący w tej mierze stanowisko Komisji Europejskiej — DG Research) stwierdzają: *Podstawową kwestią polityczną, podniesioną przez niedawne awarie systemowe jest, to czy liberalizacja wyzwoliła również proces zaniechania rozbudowy infrastruktury elektroenergetycznej, czego końcowym skutkiem jest wzrost częstości i rozmiarów blackoutów [11].* I dalej: *Wielkie awarie są przez konsumentów odbierane jako klęska całego sektora energii elektrycznej, bez względu na rzeczywiste przyczyny i siły sprawcze (...). Awarie te mogą zwiększyć sceptycyzm odnośnie do procesu liberalizacji (...).* Zasadnicza konkluzja jest następująca: *Podstawową nauką płynącą z awarii jest, że ani zarządzanie systemem elektroenergetycznym, ani procedury eksploatacyjne, ani też automatyka systemowa nie zostały dostosowane do scenariusza liberalizacyjnego (...). Niezbędne jest promowanie na poziomie UE bardziej skoordynowanego podejścia do współpracy różnorodnych społeczności świata nauki i przemysłu. Podejście takie zapewnia lepsze podstawy do uporania się z problemami, pojawiającymi się w obszarze technik informacyjno-komunikacyjnych (ICT) w perspektywie pełnego łańcucha przenoszenia energii, tj. generacji, przesyłu i dystrybucji, w którym sieć przesyłowa zdaje się być elementem najsłabszym w warunkach, gdy koncentruje wielkie przepływy energii i efekty zdarzeń kaskadowych [12].*

Piśmiennictwo

1. S. Kasprzyk, J. Sieniuc. *Czy Polsce grozi blackout?* Wokół Energetyki 6 (16), grudzień 2003.
2. J. Malko. *Blackout czyli zdarzenia katastrofalne w krytycznych systemach infrastrukturalnych.* Wokół Energetyki 5(15), październik 2003.
3. J. Malko. *Znicz olimpijski jako zasilanie awaryjne.* Wokół Energetyki 4 (20), sierpień 2004.
4. K. Lipko. *Niesforne Sieci Elektroenergetyczne.* Wokół Energetyki 3 (25), czerwiec 2005.
5. E Fairley. *The Unruly Power Grid.* IEEE Spectrum, Vol. 41, No 8, August 2004.
6. C.H. Hauser, D.E. Bakken, A. Bose. *A Failure to Communicate.* IEEE Power? Energy Magasine, Vol. 3, No 2, March/April 2005.
7. S. Tarmonglak, S.H. Horowitz, A.E. Phadke, J.S. Thorp. *Anatomy of power system Blackouts.* IEEE Trans. — Power Selivery, Vol. 11, No 2, April 1996.
8. S.H. Horowitz, A.G. Phadke. *Boosting Immunity to Blackouts.* IEEE Power & Energy Mag., Vol. 1, No 5, September/October 2003.
9. V. Madani, D. Novosel. *Getting a grip on the Grid.* IEEE Spectrum, Vol. 42, No 12, December 2005.
10. G.B. Sheble. *Disputin deregulation: is industrial disorganization on the vise?* IEEE power & energy magazine, Vol. 4, No 1, January/February 2006.
11. Eurelectric: Year 2003 Power Outages: Liberalization is not to blame. June 2003, www/public.eurelectric.org.
12. A. Stefanini, A. Serwida, S. Puppini. *Electric System Vulnerabilities: the crucial role of information and communication technologia i recent blackouts.* Electra No 233, December 2005

