
Avarinių būvių elektros tinkluose rizikos įvertinimo ir valdymo metodologija

**Juozas Augutis,
Ričardas Krikštolaitis**

*Lietuvos energetikos institutas,
Branduolinių įrenginių saugos
laboratorija,
Breslaujos g. 3,
LT-3035 Kaunas;
Vytauto Didžiojo universitetas,
Matematikos ir statistikos katedra,
Vileikos g. 8,
LT-3035 Kaunas*

Enrikas V. Nevardauskas

*Kauno technologijos universitetas,
Elektros sistemų katedra,
Studentų g. 48,
LT-3022 Kaunas*

Dalius Šulga

*Lietuvos energija,
Žvejų g. 14,
LT-2600 Vilnius*

Dauguma Lietuvos perdavimo tinklo įrenginių ir linijų jau eksploatuojami kelis dešimtmečius. Siekiant įvertinti perdavimo tinklo patikimumą ir kontraktų įsipareigojimų nevykdymo riziką, šiame darbe pateikiami elektros sistemos tinklų patikimumo įvertinimo ir galimų avarinių būvių rizikos valdymo metodologijos, bendrai naudojant deterministinius ir tikimybinis modelius, principai. Aprašytas deterministinių ir tikimybių metodų sujungimo į vieną patikimumo modelį matematinis aparatas, pateiktas parametų neapibrėžtumų vertinimo kriterijus.

Ši metodika leidžia į perdavimo tinklo galimų avarių rizikos valdymą įtraukti įrenginių atnaujinimo ir remontų ekonominius arba sąnaudų veiksnius.

Raktažodžiai: perdavimo tinklo patikimumas, avarinių būvių rizika, deterministiniai ir tikimybiniai metodai, parametų neapibrėžtumo vertinimas, rizikos valdymo veiksniai

1. ĮVADAS

Techninių sistemų riziką sąlygoja įvairūs reiškiniai, vienu metu vykstantys tiek pačioje sistemoje, tiek ją veikiančioje aplinkoje. Dalis šių reiškinų yra deterministiniai, dalis atsitiktiniai, tačiau dažniausiai tai yra kompleksiniai reiškiniai, kurie tarpusavyje priklausomi ir kuriems įvertinti dažnai reikalinga kelių techninių sričių metodų ir analizės būdų suderinimas, bei integruota rezultatų analizė priimant saugos ir valdymo sprendimus. Elektros tinklo būvių patikimumo vertinimo metodai ilgą laiką buvo sutapatinami tik su tikimybiniais analizės metodais. Dar ir dabar plačiai vartojamas terminas „tikimybinė patikimumo analizė“. Tačiau rizikos vertinimas ir valdymas apima ne tik pavojingo įvykio dažnio nustatymą, bet ir šio įvykio pasekmių analizę bei galimos rizikos priklausomybės nuo valdomų parametų tyrimą. Technologinių sistemų darbo būvių patikimumo, avarinių būvių rizikos įvertinimas ir val-

dymas bei rezultatų neapibrėžtumų skaičiavimai gauti tiksliausi naudojant ne tik tikimybinis modelius, bet ir deterministinius skaičiavimus, inžinierinius vertinimus ir kitas žinias apie elektros sistemą.

Šiame straipsnyje pateikta avarinių būvių susidarymo rizikos vertinimo ir valdymo metodologija, bendrai naudojant deterministinius ir tikimybinis modelius. Toliau ši metodologija vadinama integruota avarinių būvių susidarymo rizikos įvertinimo ir valdymo metodologija. Aprašytas matematinis deterministinių ir tikimybių metodų sujungimo į vieną modelį aparatas bei sudarytas daugiažingsnis parametų neapibrėžtumų vertinimo algoritmas.

2. INTEGRUOTO AVARINIŲ BŪVIŲ RIZIKOS VERTINIMO IR VALDYMO PRIELAIDOS

Lietuvos energetikos sistema, buvusi vieninga ir vertikalai integruota bendrovė, Energetikos įstatymu re-

organizuota į grupę savarankiškų bendrovių. Tiek perdavimo, tiek skirstomasis tinklas skaičiuojant darbo patikimumą ir avarinių būvių riziką turi daug bendrų bruožų, tačiau skiriasi kiekybiniai darbo rezervavimo ir galimų nuostolių kiekio rodikliai. Elektros tinklo avariniai būviai kaip techninės sistemos griūties integruotos rizikos vertinimo modelio kūrimą pradėkime nuo elektros tinklo techninės sistemos formalizavimo ir tam tikrų prielaidų:

Elektros sistemos tinklo fiziniai kintamieji. Tinklo kaip techninės sistemos darbą nusako fizikinių parametrų kitimas (pvz., generuojamos ir vartojamos galios, mazgų įtampos, linijomis tekantys elektros srautai, įrenginių susidėvėjimo laipsnis ir kt.). Sistemos darbas apibūdinamas šių kintamųjų vektoriumi, kurio komponentės bendruoju atveju yra skaliariniai vektoriai (pvz., mazgų galių $S(i, t)$, mazgų įtampų $U(i, t)$), priklausantys nuo mazgo i padėties sistemoje ir laiko t . Fiksavus visus elektros tinklo įrenginių ir linijų būvius (veikia be sutrikimų arba žinomas gedimo tipas avarijos atveju) sistemos fizikinių parametrų kitimas yra deterministinis ir, pagal prielaidas, laikomas žinomu.

Gedimų priklausomybė nuo sistemos būvio. Įvykus inicijuojančiam įvykiui (tai įvykis, kuris gali sukelti visos sistemos avariją, pvz., stabilumo praradimą), tolimesnė avarijos eiga labai priklauso nuo saugos sistemų būvių (pvz., gedimą laiku nustačiusios ir paveikusios relinės apsaugos, rezervinių įrenginių įjungimo sėkmės, gedimo peraugimo į sistemine avariją ribojančios automatikos darbo sėkmės). Inicijuojantis įvykis per tam tikrą laiką gali sukelti kitus gedimus, o sistemos fiziniai kintamieji viršyti leistinas ribas. Tai yra viena svarbiausių priežasčių, kodėl sistemos komponentų gedimo intensyvumas turi priklausyti ir nuo fizikinių kintamųjų vektoriaus. Tačiau šios priklausomybės nustatymas yra kiekvieno konkretaus atvejo tikslas.

Elektros sistemos tinklo komponentų būvio pasikeitimai. Sistemos tinklo komponentų būvis gali keistis dėl apsauginių posistemių signalų, dispečerio veiksmų arba fizinių gedimų, tarp jų ir sukeltų fizikinių parametrų (pvz., transformatorių perkaitimai, įvadinio izoliatoriaus trūkis, viršįtampiai). Realioje sistemoje ypač svarbūs yra dispečerio (operatoriaus) veiksmai, todėl jų įtaka turi būti įtraukta į sistemos modelį. Darbo būvio pasikeitimo priežastis gali būti stochastinė arba deterministinė.

Elektros sistemos tinklo patikimumo valdymo parametrai. Sistemos tinklo darbo patikimumas gali būti valdomas tiek techninėmis, tiek procedūrinėmis priemonėmis. Tai priklauso nuo konkrečios sistemos ir situacijos. Rezervinių elementų skaičius, sistemos testavimo intervalų ilgis, senėjančių elementų keitimo strategija ir pan. yra sistemos patikimumo ir rizikos valdymo veiksniai. Sistemos valdymo kriterijais daž-

niausiai pasirenkami parametrai, susiję su rizikos pritimtumo kriterijais.

Duomenų ir modelio neapibrėžtis. Gedimų intensyvumo neapibrėžtumas nusakomas pasiskirstymo funkcija. Dažnai modelio neapibrėžtumo problema supaprastinama ir sprendžiama kaip modelio parametrų neapibrėžtumo problema. Nors neapibrėžtumo įvertinimas labai apsunkina uždavinio sprendimą, tačiau jis būtinas sudarant realistinį sistemos modelį.

3. MATEMATINIS INTEGRUOTOS RIZIKOS MODELIS

Matematinis integruotų modelių pagrindas yra Markovo atsitiktiniai procesais aprašomas deterministinis fizikinio proceso kitimas, veikiamas atsitiktinių perėjimų tarp sistemos būvių. Sistemą (pvz., elektros linijos laidininką) laiko momentu t nusako procesas

$$(X(t), Y(t)); \quad (1)$$

čia $Y(t) = (y_1(t), \dots, y_N(t))$ – fizikinio proceso vektorius, kurio komponentėmis gali būti įvairios fizikinės charakteristikos, reikalingos sistemai apibūdinti, pvz., temperatūra, slėgis, aušinimo savybės ir pan.; N – fizikinių parametrų skaičius, $X(t)$ – sistemos elementų būvis nusakantis procesas, įgyjantis reikšmes iš aibės $1..M$, $M = m^n$, n – sistemos elementų skaičius, m – elementų būvių skaičius.

Fizikinio proceso vektoriaus dinamika aprašoma diferencialinių lygčių sistema:

$$\frac{dy(t)}{dt} = f(i, y, t), \quad i = 1..M, \quad (2)$$

arba pateikiama integralinio pavidalo:

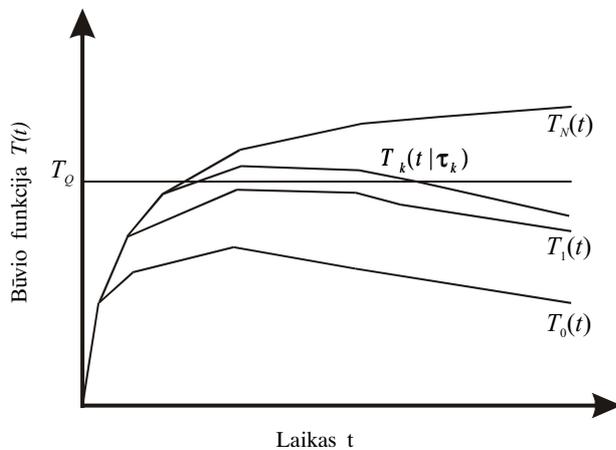
$$y(t) = y_0 + \int_0^t f(i, y(s), s) ds, \quad i = 1..M. \quad (3)$$

Deterministinį procesą $(X(t), Y(t))$ vienareikšmiai nusako funkcija $f(\cdot)$, apibūdinanti deterministinį judėjimą ir nustatoma deterministinių kodų pagalba arba sprendžiant fizikinius procesus aprašančias diferencialines lygtis (dažniausiai dalinėmis išvestinėmis), o elektros tinklų atveju – tinklo lygtimis (Kirchofo dėsnis).

Sistemų rizikos arba patikimumo valdymo parametrai į matematinį modelį netraukiami, bet valdymas vykdomas atliekant perskaičiavimus su pakeis-tais valdymo parametrais pagal suformuluotą kriterijų [1, 2]. Atskirais atvejais sistemose rizikos valdymo matematinis modelis gali turėti analitinę išraišką ir tada gali būti sprendžiami kai kurie optimizavimo uždaviniai.

Jei sistemos būvį nusakanti funkcija $T(t)$ priklauso nuo laiko t ir yra vienmatė, tai sistemos patikimo

darbo kriterijus avarijos metu gali būti išreikštas ne-lygybe: $T(t) < T_Q$; čia N_Q – tam tikra ribinė reikšmė. Funkciją $T(t)$ galima gauti modeliuojant sistemos darbą deterministiniais kodais, tačiau atsižvelgiant į tai, kad realiu atveju galimi atskirų įrenginių gedimai, charakteristika $T(t)$ yra atsitiktinis procesas. $T(t)$ reikšmės priklauso nuo sistemos būvio, įvykus skirtingų įrenginių gedimams. Pažymėkime galimus būvius A_0, A_1, \dots, A_N ; čia N – būvių skaičius, būvis A_0 – nepertraukiamas sistemos darbas be režimo apribojimų, būvis A_N – visiškas sistemos gedimas. Kiti būviai A_k ; čia $0 < k < N$ reiškia kai kurių įrengimų ar linijų gedimą, kai elektros sistema dalinai išsaugo savo darbingumą [3]. Sistemos darbas skirtinguose būviuose parodytas 1 paveiksle.



1 pav. Elektros sistemos tinklo, kurio būviai skirtingi, darbo charakteristikos

Bendroju atveju elektros sistemos darbo režimas gali pereiti iš vieno būvio į kitą, todėl tokios kaitos procesui aprašyti reikia turėti perėjimo tikimybių matricą:

$$[P_{ij}(t)] = P(A_i \rightarrow A_j) (t), \quad 1 \leq i \leq N, \quad 1 \leq j \leq N. \quad (4)$$

Charakteristikos $T(t)$ reikšmės priklauso nuo sistemos laiko, praleisto būvyje A_k , ir nuo charakteristikos reikšmės, kai sistema patenka į būvį A_k , $k = 0, 1, \dots, N$. Jeigu $T(t)$ kitimo dėsnį patikimumo sistemai, esančiai būvyje A_k , apibrėšime kaip $T_k(t)$, sistemos buvimo laiką tame būvyje kaip t_k , o charakteristikos $T(t)$ reikšmę, kai sistema patenka į būvį A_k , pažymėsime t_k , tai turėsime:

$$T_k(t) = T_k(t | \tau_k), \quad T_k(0 | \tau_k) = \tau_k, \quad k = 0, 1, \dots, N. \quad (5)$$

Charakteristikas $T_k(t)$, $k = 0, 1, \dots, N$ galima gauti iš elektros sistemos tinklo įrenginio ar linijos techninių duomenų, arba modeliuojant tinklo darbą deterministiniais kodais. Bendroju atveju atsitiktinis

procesas $T(t)$ yra Markovo procesas. Jei priimame sąlygą, kad techninė sistema gali pereiti tik iš būvio A_k į būvį A_{k+1} , $k = 0, 1, \dots, N-1$ (pvz., remontas esant avarijos režimui negalimas), tai dydžio $T(t)$ reikšmę galime išreikšti tokia formule:

$$T(t) = T_N(t - \sum_{k=0}^{N-1} t_k | T_{N-1}(t_{N-1} | T_{N-2}(t_{N-2} | \dots | T_2(t_2 | T_1(t_1 | T_0(t_0 | \tau_0)) \dots))) \dots)); \quad (6)$$

čia τ_0 – pradinė charakteristikos $T(t)$ reikšmė momentu $t = 0$.

Funkcija $T(t)$ priklauso nuo N atsitiktinių dydžių t_0, t_1, \dots, t_{N-1} . Apibrėžkime šių dydžių pasiskirstymo dėsnių tankius $P_k(t)$, $k = 0, 1, \dots, N-1$. Jeigu sistemos perėjimo iš būvio A_k į būvį A_{k+1} priežastis yra įrenginių gedimai, kurie įvyksta su intensyvumu λ_k , tai galima daryti prielaidą, kad atsitiktinis dydis t_k pasiskirstęs pagal eksponentinį skirstinį su tankio funkcija:

$$P_k(t) = \lambda_k \cdot e^{-\lambda_k t}, \quad t > 0. \quad (7)$$

Jeigu sistema iš būvio A_k į būvį A_{k+1} pereina pagal relinės apsaugos ar automatikos signalą arba pagal operatoriaus komandą, tai atsitiktinio dydžio t_k pasiskirstymo dėsnis priklauso ir nuo šio signalo (komandos) susiformavimo laiko pasiskirstymo bei tikimybės, su kuria tas signalas pasiuočiamas. Tarkime, kad signalo susiformavimo laikas X_k pasiskirstęs pagal dėsnį, kurio tankio funkcija $f_k(t)$, o signalo paleidimo tikimybė lygi q_k . Tada su tikimybe q_k atsitiktinis dydis t_k lygus dydžio X_k reikšmei, o su tikimybe $1 - q_k$ sistema likusį darbo laiką praleidžia būvyje A_k . Įvertinant prielaidą, kad atsitiktiniai dydžiai t_0, t_1, \dots, t_{N-1} nepriklausomi, galime apibrėžti skaitines dydžio $T(t)$ charakteristikas. Pavyzdžiui, matematinis vidurkis apibrėžiamas taip:

$$E(T(t)) = \int_0^t \int_{s_1}^t \dots \int_{s_{N-1}}^t P_0(t_0) \cdot P_1(t_1) \cdot \dots \cdot P_{N-1}(t_{N-1}) \times \\ \times T_N(t - s_N(T_{N-1}(t_{N-1} | T_{N-2}(t_{N-2} | \dots | T_2(t_2 | T_1(t_1 | T_0(t_0 | \tau_0)) \dots))) \dots)) \cdot dt_{N-1} \dots dt_0; \quad (8)$$

čia $s_1 = t_0, s_2 = t_0 + t_1, \dots, s_N = t_0 + \dots + t_{N-1}$.

Elektros energijos perdavimo tinklo gedimų rizikos vertinimo pavyzdys. Tarkime, kad sistemą sudaro elektros energijos perdavimo tinklas, kuris susideda iš K perdavimo linijų, ir mus domina būsimi perdavimo tinklo nuostoliai, esant įvairiems tinklo būviams [7]. Toliau apibrėžkime galimus sistemos būvius: A_1 – visos perdavimo linijos veikia, A_2 – atsijungė viena perdavimo linija, A_3 – atsijungė dvi perdavimo lini-

jos. Laiką, kurį sistema praleidžia būviuose A_1 , A_2 ir A_3 , pažymėkime t_1 , t_2 ir t_3 . Formaliai tarkime, kad sistema gali pereiti iš vieno būvio į kitą pagal schemą $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3$. Veikiant visoms perdavimo linijoms (sistema yra būvyje A_1) elektros perdavimo nuostoliai yra minimalūs ir pastovūs, t. y. $T_1(t) = \Delta P_0$. Sugedus vienai linijai (sistema yra būvyje A_2), elektros perdavimo nuostoliai padidėja dydžiu ΔP_1 ir, be to, prisideda kontrakto nevykdymo nuostoliai Δk_1 , t. y. $T_2(t) = \Delta P_1 + \Delta k_1$ (čia Δk_1 – kinta laike). Sugedus dviem linijoms (sistema yra būvyje A_3), elektros perdavimo nuostoliai padidėja dydžiu ΔP_2 ir prisideda kontrakto nevykdymo nuostoliai Δk_2 , t. y. $T_3(t) = \Delta P_2 + \Delta k_2$.

Atsižvelgiant į tai, kad sistema bus būvyje A_1 tik tais atvejais, kai veiks visos K esamų perdavimo linijos, nesunkiai gausime dydžio t_1 pasiskirstymo funkciją:

$$F_1(t) = \prod_{i=1}^K (1 - e^{-\lambda_i \cdot t});$$

čia λ_i – i -osios perdavimo linijos gedimo intensyvumas. Čia yra daroma prielaida, kad linijų gedimų srautas yra Puasoninis. Šio skirstinio tankį gausime iš lygties

$$P_1(t) = \frac{dF_1(t)}{dt}.$$

Analogiškai, sistemai esant būviuose A_2 ir A_3 , dydžių t_2 ir t_3 pasiskirstymo funkcijos bus

$$F_2(t) = \sum_{j=1}^K e^{-\lambda_j \cdot t} \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^K (1 - e^{-\lambda_i \cdot t})$$

ir

$$F_3(t) = \sum_{j=1}^K \sum_{l=j+1}^K e^{-\lambda_j \cdot t} \cdot e^{-\lambda_l \cdot t} \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j, i \neq l}}^K (1 - e^{-\lambda_i \cdot t}).$$

Šių skirstinių tankius $P_2(t)$ ir $P_3(t)$ gausime išdiferencijuojant $F_2(t)$ ir $F_3(t)$.

Tada, pasiremami (8) formule, apskaičiuojame vidutinius nuostolius:

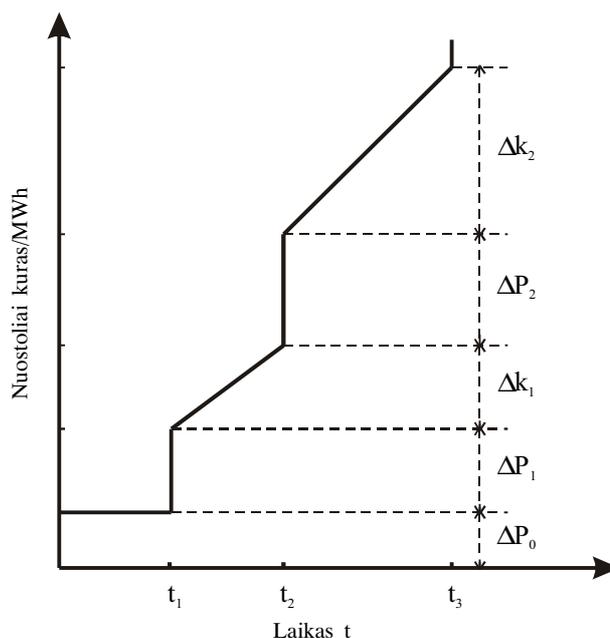
$$E(T(t)) = \int_0^t \int_0^t \int_0^{t-t_1-t_2} P_1(t_1) \cdot P_2(t_2) \cdot T_3(t-t_1-t_2 | T$$

$$| T_2(t_2 | T_1(t_1 | \tau_1)) \cdot dt_3 dt_2 dt_1 ;$$

čia $T_1(t_1 | \tau_1) = T_1(t_1)$;

$T_2(t_2 | T_1(t_1 | \tau_1)) = T_2(t_2 + x_2)$; čia x_2 yra lygties $T_2(x) = T_1(t_1)$ sprendinys;

$T_3(t_3 | T_2(t_2 | T_1(t_1 | \tau_1))) = T_3(t_3 + x_3)$; čia x_3 yra lygties $T_3(x) = T_2(t_2 + x_2)$ sprendinys.



2 pav. Nuostolių dydžio priklausomybė nuo sugedusių linijų skaičiaus

4. PARAMETRŲ NEAPIBRĖŽTUMŲ VERTINIMO KRITERIJUS

Egzistuojantys modeliavimo rezultatų neapibrėžtumų vertinimo metodai pradėti plėtoti palyginti neseniai, ir dalis problemų nėra visiškai išspręstos. Taikant integruotus rizikos arba patikimumo vertinimo metodus labai svarbus pradinių parametrų neapibrėžtumas, kadangi dalis iš jų vertinami statistiniais modeliais ir dažnai lyginami su tam tikrais apibendrintais duomenimis. Dauguma egzistuojančių metodikų [4, 5] reikalauja sukaupti daugelio metų gedimų statistiką ir leidžia prijungti ją prie apibendrintų duomenų per vieną žingsnį. Tai atliekama naudojant matematinę Bajeso procedūrą [6], tačiau rezultatai labai priklauso nuo pradinio skirstinio pasirinkimo.

Šiame straipsnyje suformuluotas kriterijus, pagal kurį galima pasirinkti tokį gedimų intensyvumo srauto skirstinį, kuris turi mažiausią įrenginių gedimo tikimybės įverčio neapibrėžtumą. Skirstinys, aprašantis modelio parametras, integruotai vertinant dažniausiai pasirenkamas pagal χ^2 kriterijų, tačiau taip įvertinamas tikrai įrenginių gedimų intensyvumo vidurkis. Pateiktas algoritmas leidžia įvertinti tiek parametro vidurkį, tiek dispersiją.

Dauguma tikimybių kompiuterinių programų leidžia atlikti rezultatų neapibrėžtumo skaičiavimus su vienu iš šių gedimų intensyvumo parametro p skirstinių: normaliniu, lognormaliniu, gama, beta, diskrečiuoju, tolygiu arba trikampi. Taigi statistinių duomenų pagrindu gautą tankį $f(p)$ būtina aproksimuoti minėtais pasiskirstymo dėsniais. Konkretaus

dėsniio parinkimas dažniausiai atliekamas ekspertiiniu vertinimu.

Įrenginių gedimo intensyvumo parametro skirstinio parinkimo kriterijumi galima laikyti elektros perdavimo tinklo įrenginio gedimo tikimybės įverčių dispersiją. Tačiau taikyti tokį kriterijų dideliame įvykių skaičiui pakankamai sudėtinga dėl didelės skaičiavimų apimties, todėl siūloma ši kriterijų kiekvienam pradiniam įvykiui sudaryti atskirai.

Svarbaus įvykio pasirodymo tikimybė per laiką T , esant eksponentiniam, darbo be gedimų trukmės skirstiniui, apibrėžiama formule:

$$q = 1 - e^{-\lambda \cdot T}. \quad (9)$$

Tarkime, kad empirinis skirstinio gedimų intensyvumo parametro λ tankis išreiškiamas funkcija $f(\lambda | Y)$, nustatyta iš statistinių duomenų aibės Y . Standartinio pasiskirstymo tankį apibrėžkime $\hat{f}(\lambda)$. Tuomet pagrindinio įvykio tikimybės įverčio q skirstinio dėsnis įgis tokį pavidalą:

$$F_q(x) = f\{q < x\} = P\left(\lambda < \frac{-\ln(1-x)}{T}\right), \quad 0 < x < 1. \quad (10)$$

Dydžio q skirstinio tankis, esant empiriniam ir standartiniam parametro λ skirstiniui, apibrėžiamas pagal formules:

$$f_q(x) = F'_q(x) = \frac{1}{T \cdot (1-x)} \cdot f\left(\frac{-\ln(1-x)}{T} | Y\right) \quad (11)$$

ir

$$\hat{f}_q(x) = \frac{1}{T \cdot (1-x)} \cdot \hat{f}\left(\frac{-\ln(1-x)}{T}\right). \quad (12)$$

Standartinio skirstinio pasirinkimo kriterijų nuskome formule:

$$D(\hat{p}) = \int_0^1 \frac{(x-m)^2}{T \cdot (1-x)} \cdot f\left(-\frac{\ln(1-x)}{T} | Y\right) - \hat{f}\left(-\frac{\ln(1-x)}{T}\right) dx; \quad (13)$$

čia $m = \int_0^1 x \cdot f_q(x) dx$. Pagal šį kriterijų pasi-

renkamas tas standartinis skirstinys, su kuriuo dydis $D(\hat{p})$ įgyja minimalią reikšmę.

Pagrindinių įvykių matematiname modelyje neapibrėžtumo sumažinimas savo ruožtu mažina galutinio įvykio tikimybės įverčio neapibrėžtumą.

5. IŠVADOS

1. Pateikta matematinis deterministinių ir tikimybiinių metodų sujungimo į vieną modelį metodologija

leidžia apskaičiuoti elektros tinklų ir jų įrenginių vidutines patikimumo charakteristikas.

2. Suformuluotas duomenų aprašymo skirstinio parinkimo kriterijus, minimizuojantis parametrų nuokrypius.

Gauta
2003 10 01

Literatūra

1. Smidts C., Devooght J., Labeau P. E. Dynamic Reliability: Future Directions // International Workshop Series on Advanced Topics in Reliability and Risk Analysis Greenbelt. Maryland, USA, 1998.
2. Augutis J., Kopustinskas V., Ušpuras E. Dynamic reliability assessment of Ignalina NPP accident localization system // Proc. of the ninth European Conference on Safety and Reliability ÅSREL'98. Rotterdam, Netherlands, 1998. Vol. 1. P. 529–536.
3. Augutis J., Kopustinskas V., Ušpuras E. PSA activities in Lithuania // Proc. of the International conference on Probabilistic Safety Assessment Methodology and Applications PSA'95. Seoul, Korea, 1995. P. 485–487.
4. Green A. E. (editor). High Risk Safety Technology // John Wiley & Sons Ltd. New York, 1982. P. 654.
5. Martz H., Waller R. A. Handbook of Bayesian Reliability Estimation Methods // Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-6572- MS, 1976.
6. Lindley A. V. Introduction to Probability and Statistics From a Bayesian Viewpoint. Cambridge University Press, 1965.
7. Библинтон П., Аллан П. Оценка надежности электроэнергетических систем. Москва: Энергоатомиздат, 1988.

Juozas Augutis, Ričardas Krikštolaitis,
Enrikas V. Nevardauskas, Dalius Šulga

THE METHODOLOGY OF RISK ESTIMATION AND CONTROL OF EMERGENCY STATES IN ELECTRIC POWER NETWORKS

S u m m a r y

The majority of equipment and lines of the transmission network have been exploited for several decades. To evaluate the reliability of the transmission network and the risk of non-compliance with contract obligations, the authors present the principles of methodologies for evaluating the reliability of electrical system networks and for risk management of a potential mode of hazards. These methodologies were developed jointly using the deterministic and probabilistic models. The mathematical apparatus that combines the deterministic and probabilistic methodologies into one model is described and a recurrent algorithm for reliability model parameters uncertainty assessment is proposed.

This methodology allows to incorporate the economic and expenditure factors of equipment renewals and maintenance into risk control of transmission network possible emergencies.

Key words: transmission network reliability, emergency state risk, deterministic and probabilistic methods, assessment of parameter uncertainty, factors of risk management

**Юозас Аугутис, Ричардас Крикштолайтис,
Енрикас В. Невардаускас, Далюс Шулга**

**МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНИВАНИЯ РИСКА
АВАРИЙНЫХ СОСТОЯНИЙ В
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И
УПРАВЛЕНИЯ ИМ**

Резюме

Большинство оборудования и линий передающей сети эксплуатируются уже несколько десятилетий. Для достижения оценки нынешней надёжности передающей сети и риска невыполнения обязательств

контрактов в этой работе представлены принципы методологии оценивания надёжности сетей электрической системы и управления риском возможных аварийных состояний, вместе с тем используя детерминистические и вероятностные модели. Описан математический аппарат объединения в одну модель надёжности детерминистических и вероятностных методов, представлен многошаговый алгоритм оценивания неопределённости параметров.

Эта методика позволяет в управление риском возможных аварий передающей сети включить экономические факторы обновления и ремонта оборудования.

Ключевые слова: надёжность передающей сети, риск аварийных состояний, детерминистические и вероятностные методы, оценивание неопределённости параметров, факторы управления риском