

## ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРАНЕ НА НАДЕЖНОСТТА НА ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ НА ПРОМИШЛЕНИ ОБЕКТИ В РЕЖИМ НА ПОНИЖЕНО НАТОВАРВАНЕ

**Панчев Р.К., Илиев И.Х., Георгиев Г.А., Чиков В.Ч.**

*Технически Университет – Варна*

*МГУ Св. Иван Рилски*

*Бургаски свободен университет*

*Технически Университет – Варна*

## ASSESSMENT AND FORECASTING OF THE RELIABILITY OF THE ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL SITES IN LOW- LOAD MODE

**Panchev R.K., Iliev I.H., Georgiev G.A., Chikov V.Ch.**

*Technical University Varna*

*UMG St.Ivan Rilski*

*Burgas Free University*

*Technical University Varna*

### **Abstract**

*An assessment has been made of the reliability of the electric power supply systems of various industrial sites operating in a low-load mode. Factors influencing the forecasting of the reliability of the electric power supply are defined. An assessment of quantitative reliability has been made using the state of the art. Based on this assessment, methods for increasing the reliability of the electric power supply systems of industrial sites operating under reduced load are marked.*

**Keywords:** reliability, state of the art.

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Надеждността е свойство на обектите или техническото устройство да изпълнява дадени функции, като запазва във времето експлоатационните им показатели в граници, съответстващи на нормативните изисквания за експлоатация, ремонт, съхранение и транспортиране.

От нивото на надеждност на електроснабдяването зависят промишлеността, комунално — битовият сектор, икономиката и т.н. Тази зависимост е толкова силна, че нарушаването на надеждността води до огромни материални загуби съизмерими със загубите от природни и национални бедствия. Например при аварията в Чернобилската атомна електроцентрала през 1986г материалните щети са оценени за

стотици милиарди долари, а човешките жертви са неоченими. Най-големият ядрен инцидент в съвременната история след експлозиите в атомната електроцентрала Чернобил е аварията във Фукушима. Тя се определя като “крупна авария”, при която са отчетени загуби от 7.5 млрд. евро. Аварията в Ню Йорк през ноември 1965г е довела до загуби около 100 милиона долара в резултат на 10 часово прекъсване на електрозахранването на града и цялостно спиране на транспортната, производствената, социалната и културната дейности на 30 милионното население. Още по - фрапиращи са последиците от аварията на 13 юли 1977г., когато прекъсване на електрозахранването в Ню Йорк води до изцяло парализиране на живота за около 25 часа. За-

губите са оценени на 1 милиард долара.

През последните години проблемът с надеждността на електроснабдяването рязко се изостри. Основните причини за това са:

- *Драстично усложняване на електро-снабдителните системи (ЕСС), включващи милиони потребители, хиляди съоръжения, елементи и възли; Наличие на екстремални условия на експлоатация за много от елементите на ЕСС (претоварване, прегряване, повишени вибрации, шум, радиация, замърсеност и др.);*
- *Повишени изисквания към качеството на работа на ЕСС (енергийна ефективност, качество на електрическата енергия, компенсация на реактивните товари и др.);*
- *Голямата стойност на загубите от прекъсване на електроснабдяването;*
- *Въвеждането на висока степен на автоматизация на процесите с използване на интелигентни системи за управление с което се игнорира човешкия фактор за контрол на работата на ЕСС и нейните елементи.*

В табл. 1. са представени основните показатели на надеждността, съответните изрази за определянето им и техните дименсии.

Силно влияние върху надеждността оказват устройствата за управление, автоматизация и защита, като АВР (автоматично включване на резерва), АПВ (автоматично повторно включване), АЧР (автоматично честотно разтоварване), АРН (автоматично регулиране на напрежението) на силовите трансформатори, устройства за обратно връщане на електрическа енергия, релейни защиты и други. Съществено влияние върху надеждността оказват и показателите за качество на електрическата енергия. Например понижаването на напрежението води до ограничаване пропускателната способност на мрежите и от там до понижаване на надеждността.

Табл.1 Основни показатели на надеждност			
№	Означение и дименсия	Формула за изчисление	Съставни параметри, обяснения, забележки
1	Честота на отказите $\omega$ [ $\text{г}^{-1}$ ]	$\omega = \frac{N_{\text{отк}}}{N_0 t}$ $N_0 = N_{\text{и}} + N_{\text{отк}}$	$N_{\text{отк}}$ - брой на отказалите образци за време $t$ ; $N_0$ - първоначален брой образци $N_{\text{и}}$ - брой на изправните образци
2	Интензивност на отказите $\lambda$ [ $\text{г}^{-1}$ ]	$\lambda(t) = \frac{N_{\text{отк}}}{N_{\text{иср}} t}$ $N_{\text{иср}} = \frac{1}{2}(N_{\text{и}} + N_{\text{иК}})$	$N_{\text{иср}}$ - среден брой на изправните образци в интервал от $t$ $N_{\text{и}}$ и $N_{\text{иК}}$ - брой на изправните образци в началото и в края на интервал $t$
3	Функция на надеждността $R(t)$ [о. е.]	$R(t) = \frac{N_{\text{и}}}{N_0} = \frac{N_0 - N_{\text{отк}}}{N_0}$ $= 1 - \frac{N_{\text{отк}}}{N_0}$ $R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\omega t} \rightarrow (\omega = \lambda)$ $R(t) \approx 1 - \lambda t \approx 1 - \omega t$	Потоъкът на отказите е стационарен, ординарен и без последствие $\omega = \lambda = \text{const}$
4	Вероятност за отказ $Q(t)$ [о. е.]	$Q(t) = 1 - R(t)$ $= 1 - e^{-\lambda t} = e^{-\omega t}$ $Q(t) \approx \lambda t \approx \omega t$	$\omega = \lambda = \text{const}$
5	Вероятност за отказ в интервал от време $t$ (закон на Поасон, закон за редките събития) $P(n, \lambda t) = P(n, \omega t)$	$P(n, \lambda t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}$ $P(n, \omega t) = \frac{(\omega t)^n}{n!} e^{-\omega t}$	За $t = 1 \text{г.}$ $P(n, \lambda) = \frac{\lambda^n}{n!} e^{-\lambda t}$ $= \frac{\omega^n}{n!} e^{-\omega t}$ За $t = 1 \text{г.}$ и $n = 0$ $P(n = 0, \lambda) = e^{-\lambda t}$ $= e^{-\omega t} = R(t)$
6	Средно време за безотказна работа $t_{\text{рсп}}$ [h]	$t_{\text{рсп}} = M(t_p) = \int_0^{\infty} R(t) dt$ $= \int_0^{\infty} t Q'(t) dt = \frac{8760}{\lambda}$	Експериментално се определя със статистически данни за времето на безотказна работа $t_i$ на $i$ -тия образец $t_{\text{рсп}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}}{N_0}$
7	Средно време за възстановяване $t_{\text{всп}}$	$t_{\text{всп}} = \int_0^{\infty} t dU(t)$ $t_{\text{всп}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{vi}}{N_0}$	$U(t)$ - вероятност за възстановяване за време $t$ $t_{vi}$ - вероятност за възстановяване на $i$ -тия образец
8	Коефициент на готовност $k_r$ [о. е.]	$k_r = \frac{t_{\text{рсп}}}{t_{\text{рсп}} + t_{\text{всп}}}$	$k_r$ - представлява вероятността за работоспособност на разглеждания елемент
9	Коефициентно принудителен престой $k_{\text{п}}$ [о. е.]	$k_{\text{п}} = \frac{t_{\text{всп}}}{t_{\text{рсп}} + t_{\text{всп}}} = 1 - k_r$ $k_{\text{п}} \approx \frac{\lambda t_{\text{всп}}}{8760} \approx \frac{\omega t_{\text{всп}}}{8760}$	$k_{\text{п}}$ - представлява вероятността за авария на разглеждания елемент
10	Вероятност за работоспособност $p$ [о. е.]	$p = k_r = \frac{t_{\text{рсп}}}{t_{\text{рсп}} + t_{\text{всп}}}$ $= 1 - \frac{\lambda t_{\text{всп}}}{8760}$	Вероятността за работоспособност съвпада с коефициента на готовност
11	Вероятност за авария (коефициент на неготовност) $q$ [о. е.]	$q = 1 - p = 1 - k_r = k_{\text{п}}$ $= \frac{\lambda t_{\text{всп}}}{8760}$ $p + q = 1$	Вероятността за авария съвпада с коефициента на принудителен престой
12	Честота на плановите ремонти $\mu$ [ $\text{г}^{-1}$ ]	$\mu = \frac{1}{t_{\text{мр}}}$	$t_{\text{мр}}$ - продължителност на междурементния период
13	Коефициент на плановия престой $k_p$ [о. е.]	$k_p = \frac{\mu t_{\text{п}}}{8760} \leq 1$	$t_{\text{п}}$ - продължителност на плановия ремонт

Съществуват редица методически указания и нормативни документи от отрасли и

от общ характер за обезпечаване на необходимата надеждност още на ниво проектиране.

Градските разпределителни мрежи се изграждат за потребители I — III категория, като за I категория се препоръчват двулъчеви схеми с двустранно захранване и АВР на страна 0,4 kV; двутрансформаторни подстанции 20/0,4 (10/0,4) kV при взаимно резервиране на захранващите линии 20 (10) kV. Системите за АПВ се изграждат за еднократно, двукратно и многократно задействане като ефективността при второто включване да е до 15%, а при третото 1,5 ÷ 3%. На шините на п/ст АПВ трябва да осигури до 70% от аварийните ситуации за запазване на захранването, а при въздушни линии в 60 ÷ 90% от случаите на аварийно изключване, при които трябва да се възстанови захранването.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

Върху електрическите уредби в процеса на експлоатация оказват влияние различни вредни въздействия от субективен и обективен характер. Към субективните въздействия се отнасят неправилните действия на обслужващия персонал. Всяка електрическа уредба, даже и напълно автоматизирана, изисква периодично провеждане на техническо обслужване и ремонт, т.е. подлага се на въздействието на хората. Известно е, че 15-20% от отказите на апаратурата са по вина на обслужващия персонал. Така например до отказ на електрическите уредби може да доведат неправилното регулиране, нарушаването на правилата за включване и изключване, нарушаването на периодичността, методите и обема на профилактичните мероприятия и т.н. От субективните фактори най-голямо влияние оказват ниската квалификация, слабата дисциплина, небрежността, лошата организация на работата и др.

Обективните фактори се разделят на външни и вътрешни. Външните водят до отказ по независещи от обзавеждането причини, докато вътрешните водят до откази по зависещи от обзавеждането причини. Класификацията на обективните експлоатационни фактори е показана на фиг. 1.[1]



Фиг. 1. Основни обективни фактори, влияещи на експлоатационната надеждност на електрическите уредби

В съответствие с маркираните на фиг.1 обективни фактори е проведен мащабен изследователски процес с отчитане основно влиянието на вътрешните фактори върху надеждността на електроснабдяването на различните промишлени обекти.

Изследването е проведено за дълъг период от време (1993 ÷ 2015г.), като се характеризира с голяма динамика в поведението на промишлените обекти-технологични и структурни промени, промени в предметната дейност, редуциране на обслужващия производствен персонал, снижаване на електропотреблението, декапитализация на активите и др. Промислените предприятия, 167 на брой, работят в режим на понижено натоварване и имат най - различни енергетични характеристики - средногодишен пълен товар  $S_{\text{срг}}$  [MVA]; консумирана за година електроенергия  $W_{\text{г}}$  ( $10^3$  MWh/г); средногодишен активен товар  $P_{\text{срг}}$  [MW] и средногодишен  $\cos\phi$  ( $\text{tg}\phi$ ) -  $\cos\phi_{\text{срг}}$  ( $\text{tg}\phi_{\text{срг}}$ ). Групирани са в 9 отрасли със съответните бройки, както следва:

- *Машиностроене (М) -18 бр.;*
- *Химическа и добивна промишленост (ХДП) – 17 бр.;*
- *СМК, строителни материали, пътно строителство (С) – 16бр.;*
- *Електротехническа промишленост (Е) – 17 бр.;*
- *Хартиена, текстилна, шивашка и обувна промишленост (ХТШО) – 19 бр.;*
- *Обработка и производство на метал, дърво и пластмаса (МДП) – 14 бр.;*

- *Хранително-вкусова промишленост (ХВП) – 37 бр.;*
- *Градски електрически транспорт (ГЕТ) – 12 бр.;*
- *КБС – 17 бр.*

В таблица 2 са представени експериментално определените стойности за интензивността на отказите  $\lambda(t)$  и функцията на надеждността  $R(t)$  за отделни елементи от електроснабдителните системи на 9-те изследвани отрасли.

Табл.2 Стойности за  $\lambda(t)$  и  $R(t)$  за отделни елементи на ЕСС по отрасли

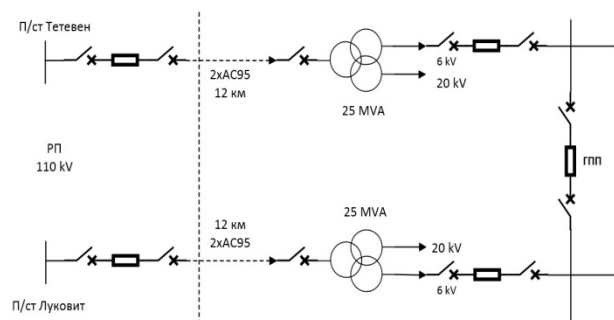
Елемент и от ЕСС	ОТРАСЛИ								
	М	ХДП	С	Е	ХТ ШО	МД П	ХВП	ГЕ Т	КБС
Силови трансформатори	$\lambda(t)=0,0042$	0,0041	0,0041	0,0039	0,0038	0,0037	0,0039	0,0045	0,0041
	$R(t)=0,947$	0,944	0,942	0,936	0,938	0,933	0,934	0,949	0,941
Прекъсвачи (110, 20 kV)	0,0147	0,0132	0,0135	0,0131	0,0128	0,0124	0,0127	0,0139	0,0131
	0,931	0,927	0,931	0,921	0,923	0,931	0,924	0,930	0,936
Разделители (110, 20 kV)	0,00021	0,0016	0,0019	0,0018	0,0016	0,0025	0,0011	0,0017	0,0017
	0,966	0,975	0,961	0,973	0,935	0,975	0,979	0,972	0,981
Късосъединители (110, 20 kV)	0,0289	0,0136	0,0139	0,0132	0,0346	0,0321	0,0337	0,01267	-
	0,875	0,899	0,891	0,913	0,866	0,901	0,904	0,912	0,913
Отделители (110, 20 kV)	0,0183	0,0184	0,0171	0,0165	0,0162	0,0163	0,0162	0,0189	0,0164
	0,917	0,916	0,917	0,915	0,913	0,911	0,911	0,922	0,917
Шинни системи 110kV	0,009	0,011	0,015	0,013	0,013	0,012	0,011	0,008	0,011
	0,906	0,913	0,911	0,918	0,931	0,913	0,899	0,911	0,901

По-долу са показани изчислените стойности за някои показатели на надеждността за един от анализирания обекти – ЕСС на ф. Титан - Златна Панега Цимент“ - АД, гр. Златна Панега.

Във фирмата, по сух способ от варовик и мергел се произвежда портоланд цимент при консумация около 150 kWh за тон. Електроснабдяването се осъществява чрез районна подстанция „Златна Панега“, захранвана от два въздушни електропровода 110 kV от подстанция Луковит и подстанция Тетевен. ЕСС на фирмата се реализира с помощта на два СТ по 25MVA 110/20/6 kV, като връзката на СН 6 kV се осъществява посредством 3 входа (5 секции) на заводската разпределителна подстанция от двата СТ чрез единична шинна система

Работният процес е непрекъснат, заводът работи на три смени и е изграден от пет основни цеха: цех „Кариера“; цех „Суровин-

ни мелници и пещи“; цех „Циментови мелници“; цех „Опаковка спомагателни цехове. Опростеният вид на ЕСС на фирмата е представен на фиг. 2.



Фиг. 2. ЕСС на фирмата

Основните потребители влошаващи качеството на електроснабдяването, респективно надеждността са АД и СД, задвижващи трошачки, суровинни мелници, пещи, циментови мелници, помпи, вентилатори, компресори, транспортните ленти за мергел, варовик, сурово брашно, клинкер, цимент и други, като мнозинството от тях са високоволтови двигатели (6 kV) с мощност в границите 50÷1200kW. За управлението им и регулиране на оборотите се използват честотни преобразуватели на фирмите SIEMENS и ALSTOM.

Електроснабдяването на фирмата ще се прекъсне при осъществяване на следните събития:

- *Едновременна повреда на двете линии на въздушния електропровод или в техните разделители и прекъсвачи (основно захранване от п/ст Тетевен);*
- *Съвпадение на ремонта на едната линия с повреда в другата линия или в нейната комутационна апаратура;*
- *Съвпадение на плановия ремонт на едната линия на въздушния електропровод с повреда в трансформатора или неговата комутационна апаратура, захранван от другата линия;*
- *Едновременна повреда в двата трансформатора и тяхната комутационна апаратура.*

Вероятността  $k_{ПЗ}$  да се случи едно от тези събития и да се прекъсне електроснабдя-

ването на предприятието се определя с помощта на израза [2,4]:

$$k_{\Pi\Sigma} = k''_{\PiЛ} + 2fk_{\text{рл}}(2k_{\text{пр}} + k_{\text{ппр}} + k_{\text{пл}}) + 2k_{\text{рл}}(k_{\text{птпр}} + k_{\text{птр}} + 2k_{\text{прв}} + k_{\text{ппрв}}) + (k_{\text{птпр}} + k_{\text{птр}} + 2k_{\text{прв}} + k_{\text{ппрв}})^2 = 0,237 \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

където:  $k''_{\PiЛ}$  - коефициент на принудителен престой при едновременна повреда на двете линии на въздушния електропровод от п/ст Тетевен;  $k_{\text{рл}}$  - коефициент на планов ремонт (престой) на една въздушна линия;  $k_{\text{пр}}, k_{\text{ппр}}, k_{\text{пл}}$  - коефициент на принудителен престой за разединител в ТП на 110 kV, прекъсвач в ТП на 110 kV и единичен въздушен електропровод (една тройка) 110 kV;  $k_{\text{птпр}}, k_{\text{птр}}, k_{\text{прв}}$  - коефициент на принудителен престой за товаропрекъсвача 110 kV в ГПП, понижаващия трансформатор 110/6 kV, разединителя на 6 kV в ГПП и прекъсвача на 6 kV в ГПП.

Горният израз за  $k_{\Pi\Sigma}$  отчита факта, че броят на отказите с едновременен престой на двете линии е 10 до 30 % от общия брой на отказите ( $f = 0,3$ ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата работа е направен опит за оценка на надеждността на електроснабдяването в отрасловата структура на страната. Използван е принципът на еквивалентното преобразуване, който дава възможност от една страна диференцирано да се определят показателите на надеждността и от друга страна те да се представят в глобален аспект като обобщаващи характеристики. Резултатите от проведените дългогодишни изследвания могат да се използват при избора на стратегии за експлоатацията на електроснабдителните системи и съоръжения, като процеса на вземане на решения е с подобро качество в резултат на допълнително представена информация.

Анализът на свойствата на ЕСС в изследваните обекти показва, че съществуват реални възможности за подобряване на надеждността на електроснабдяването на отрасловата структура на страната. Усилване на елементите и повишаване на пропускателната способност на съоръженията не се препоръчва, т.к. голяма част от промишлените обекти работят в режим на понижено натоварване и съществува запас от неусвоен капацитет от ресурсна мощност. Ефективен метод за повишаване на надеждността на електрическите уредби в конкретния случай е т.н. структурно резервиране [2,3]. То може да се прилага в глобален аспект – отнесено към ЕСС като цяло или диференцирано – приложено към отделни блокове и елементи на ЕСС. За отделни промишлени обекти се препоръчва постоянно резервиране, т.е. системите за резервиране са включени непрекъснато през целия период на работа на промишленото предприятие. За повечето от промишлените обекти се препоръчва т.н. „резервиране със заместване“, при което резервните елементи се включват в работа само при отказ на основните съоръжения. Възможно е в отделни случаи приложението на т.н. „пълзящо резервиране“, при което отделни последователно съединени еднотипни елементи от ЕСС поемат функциите на авариралите елементи.

## REFERENCE

- [1] Tsanew T.V., Technical operation of electrical systems, Siela, S., 1988, ISBN 954-649-181-0.
- [2] Fokin U.A., Tufanov V.A., Assessment of reliability of power supply systems, M. Energoizdat, 1981.
- [3] Billinton R., R. Allan, Reliability evaluation of power systems, Plenum press, 1987, ISBN 0-273-08485-2.
- [4] Voropai N., Styczynski Z., Shushpanov I., Suslov K., "Mathematical model and topological method for reliability calculation of distribution networks", PowerTech (POWERTECH) 2013 IEEE Grenoble, pp. 1-4, 2013.