Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 3, 17-22*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.03.017

УДК 631.83.004

ТЕРМІНИ РЕМОНТНИХ РОБІТ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТРОКІВ СЛУЖБИ КОНТАКТІВ РОЗБІРНОГО ТИПУ ЗА УМОВ НЕПОВНОТИ ВИХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

С. М. Волошин

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Кореспонденція авторів: voloshyn@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2020, акцептовано – серпень 2020.
Бібл. 17, рис. 6, табл. 0.

Анотація. Розбірні контактні з'єднання є найбільш численними елементами електроустановок. Працездатність контактів, їх надійність у значній мірі залежить від режимів електричного струму і температури, контактного тиску та ін. Зміна режимів і тривалість експлуатації призводять до зростання перехідного опору контактів, температури їх нагрівання і можливого теплового руйнування. Традиційними засобами для регулювання тиску в контактах при зміні температурного режиму є стальні тарілчасті пружини. Попередніми дослідженнями встановлено, що ці засоби тільки частково вирішують проблему регулювання контактного тиску. Альтернативою традиційним засобам є інноваційна розробка засобів динамічного управлінням тиском на основі використання функціональних сплавів з ефектом пам'яті форми.

У роботі проведено математичний аналіз термінів проведення ремонтних робіт та строків служби контактів розбірного типу з використанням теорії ймовірності за умов неповноти вихідної інформації. Дослідженнями обґрунтовано, що застосування динамічного методу управління термомеханічним режимом розбірних контактів дозволяє стабілізувати тиск та подовжити термін експлуатації розбірних контактів у 3-4 рази.

Ключові слова: розбірні електричні контакти, перехідний опір, функціональні сплави з ефектом пам'яті форми, теорія ймовірності, нерівності Чебишева.

Постановка проблеми

Традиційні етапи ймовірнісного аналізу випадкових подій у технічних системах передбачають знання вихідних величин у вигляді статистичної інформації [1-5].

Однак отримати достатній об'єм достовірної інформації, яка дасть можливість визначити узагальнені коректні оцінки випадкових подій, практично неможливо [6-9].

Тому ймовірнісний аналіз пропонується здійснювати на основі таких положень [10-17]:

- базуючись на численних результатах статистичного аналізу випадкових факторів, які будуть фігурувати у подальшому в математичних моделях, приймається ствердження, що розподіл ймовірності випадкових факторів визначається законом Гауса (нормальний закон розподілу);
- область можливих значень випадкових факторів задається інтервалами (наприклад, за методом експертних оцінок спеціалістів);
- ймовірнісна оцінка інтервалів функції випадкових факторів за прийнятих умов неповноти вихідної інформації визначається за нерівністю Чебишева;
- проводиться аналіз чутливості ймовірнісного значення функції при різних законах розподілу ймовірності випадкових факторів (з метою порівняння).

Аналіз останніх досліджень

Обґрунтування термінів ремонтних робіт та прогнозування строків служби контактів розбірного типу передбачає наступні узагальнені умови: граничні значення відносної величини перехідного опору для проведення ремонтних робіт контактів приймається $R^*_{\text{пер}} = 2$, строку служби контактів – $R^*_{\text{пер}} = 3$ [5, 8]; врахування впливу на ймовірнісну величину термінів всіх факторів, що носять випадковий характер [11].

Результати досліджень

В основу аналізу задачі обґрунтування термінів доцільно покласти математичну модель, яка дає можливість моделювати процес старіння контактів у часі.

Після відповідних її перетворень відносно часу t, отримаємо:

$$t=\frac{9{,}006\cdot 10^{-6}\cdot N^2(R_{пер}-1)^2\left[1-\left(\frac{x_3}{640}\right)^{0{,}666}\right]^2}{D\cdot R_{пер}^2\left[\exp\left(\frac{-U}{K\cdot x_1}\right)\right]^3\cdot x_2^2\cdot x_4^2\cdot x_5^2\cdot\left[1-\left(\frac{x_1}{640}\right)^{0{,}666}\right]^2}, \quad (1)$$

де $x_1 = \theta$; $x_2 = t_m$; $x_3 = \theta_0$; $x_4 = S_{mш}$; $x_5 = H_{0кд}$. У подальшому дані чинники будуть представлені інтервалами:

$$\theta\in(\alpha_1;\beta_1);\ t_m\in(\alpha_2;\beta_2);\ \theta_o\in(\alpha_3;\beta_3);$$
$$S_{mш}\in(\alpha_4;\beta_4);\ H_{окд}\in(\alpha_5;\beta_5).$$

Відповідно до запису рівняння (1) щільність ймовірності сумісного здійснення декількох незалежних факторів буде:

$$p(x_1,x_2,x_3,x_4,x_5)=\prod_{i=1}^{5}p_i(x_i), \quad (2)$$

де щільність ймовірності випадкового фактору при нормальному законі розподілу (за законом Гауса):

$$p_i(x)=\frac{1}{\sigma_i\sqrt{2\cdot\pi}\,C_i}\cdot\left\{\exp\left[-\frac{(x-m_i)^2}{2\sigma_i^2}\right]\right\}; \quad (3)$$

$$C_i=\frac{1}{\sigma_i\sqrt{2\cdot\pi}}\cdot\int_{\alpha_i}^{\beta_i}\exp\left[-\frac{(x-m_i)^2}{2\sigma_i^2}\right]\cdot dx; \quad (4)$$

$$m_i=\frac{\alpha_i+\beta_i}{2};\ \sigma_i=\frac{k\cdot(\beta_i-m_i)}{20};\ i=\overline{1,5};\ k=\overline{1,7}.$$

При рівномірному розподілі щільності ймовірності випадкових величин:

$$p(x_1,x_2,x_3,x_4,x_5)=\prod_{i=1}^{5}p_i,$$

$$p_i=\frac{1}{\beta_i-\alpha_i}.$$

Математичне сподівання часу t:

$$Mt=\int_{\alpha_1}^{\beta_1}\dots\int_{\alpha_5}^{\beta_5}t(x_1,x_2,x_3,x_4,x_5)p(x_1)p(x_2)p(x_3)p(x_4)p(x_5)d\,x_1\dots d\,x_5=$$
$$=\int_{\alpha_1}^{\beta_1}\dots\int_{\alpha_5}^{\beta_5}\frac{9{,}006\cdot 10^{-6}\cdot N^2(R_{пер}-1)^2\left[1-\left(\frac{x_3}{640}\right)^{0{,}666}\right]^2}{D\cdot R_{пер}^2\left[\exp\left(\frac{-U}{K\cdot x_1}\right)\right]^3\cdot x_2^2\cdot x_4^2\cdot x_5^2\cdot\left[1-\left(\frac{x_1}{640}\right)^{0{,}666}\right]^2}\times$$
$$\times\,p(x_1)p(x_2)p(x_3)p(x_4)p(x_5)d\,x_1\dots d\,x_5. \quad (5)$$

$$Mt^2=\int_{\alpha_1}^{\beta_1}\dots\int_{\alpha_5}^{\beta_5}t^2(x_1,x_2,x_3,x_4,x_5)p(x_1)$$
$$p(x_2)p(x_3)p(x_4)p(x_5)d\,x_1\dots d\,x_5=$$
$$=\int_{\alpha_1}^{\beta_1}\dots\int_{\alpha_5}^{\beta_5}\frac{9{,}006^2\cdot 10^{-12}\cdot N^4(R_{пер}-1)^4\left[1-\left(\frac{x_3}{640}\right)^{0{,}666}\right]^4}{D^2\cdot R_{пер}^4\left[\exp\left(\frac{-U}{K\cdot x_1}\right)\right]^6\cdot x_2^4\cdot x_4^4\cdot x_5^4\cdot\left[1-\left(\frac{x_1}{640}\right)^{0{,}666}\right]^4}\times$$
$$\times\,p(x_1)p(x_2)p(x_3)p(x_4)p(x_5)d\,x_1\dots d\,x_5. \quad (6)$$

Середнє квадратичне відхилення часу обчислюється за виразом:

$$\sigma t=\sqrt{M\,t^2-(Mt)^2}. \quad (7)$$

Відповідно до прийнятих положень аналізу ймовірнісну чисельну оцінку інтервалів часу t за умов неповноти вихідної інформації отримаємо з використанням нерівності Чебишева.

Для умови:

$$P\{|t-Mt|\le k\cdot\sigma t\}\ge 1-\frac{1}{k^2},\quad P\ge 0{,}95\Rightarrow k=\sqrt{20}, \quad (8)$$

інтервал часу (імовірності P≥0,95) буде визначатись:

$$Mt-\sqrt{20}\cdot\sigma t\le t\le Mt+\sqrt{20}\cdot\sigma t. \quad (9)$$

Обчислювальний експеримент ймовірностей інтервалів часу t досягнення перехідним опором граничних значень $R^*_{пер}=2$ та $R^*_{пер}=3$, розглянуто на прикладі контактної системи розбірного типу алюмінієвих шин. При цьому передбачається врахування різного характеру вихідних даних: детерміновані; випадкові з нормальним законом розподілу; випадкові з рівномірним розподілом щільності; детерміновані і випадкові з різними законами розподілу. Вихідні дані: N=16000 Н; $K=1{,}33\cdot10^{-23}$; $D=10^{-4}$; $U=0{,}5\cdot10^{-21}$; $\theta\in[25;100]$; $t_m\in[0{,}5;0{,}55]$; $\theta_0\in[5;30]$; $S_m\in[0{,}25;0{,}3]$; $H_0\in[450;550]$.

На рис. 1 представлено результати розрахунку інтервалів часу при умові нормального розподілу щільності імовірності випадкових факторів. Із рис. 1 видно, що еволюція перехідного опору у часі (при умові стабілізації контактного тиску) з ймовірністю P≥0,95 досягне рівня $R^*_{пер}=2$, на протязі відрізку часу t = 6369…7871 годин, та відповідно рівня $R^*_{пер}=3$, – на протязі відрізку часу t = 11323…13994 годин.

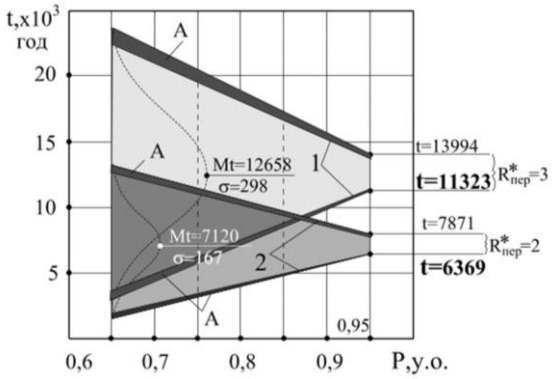
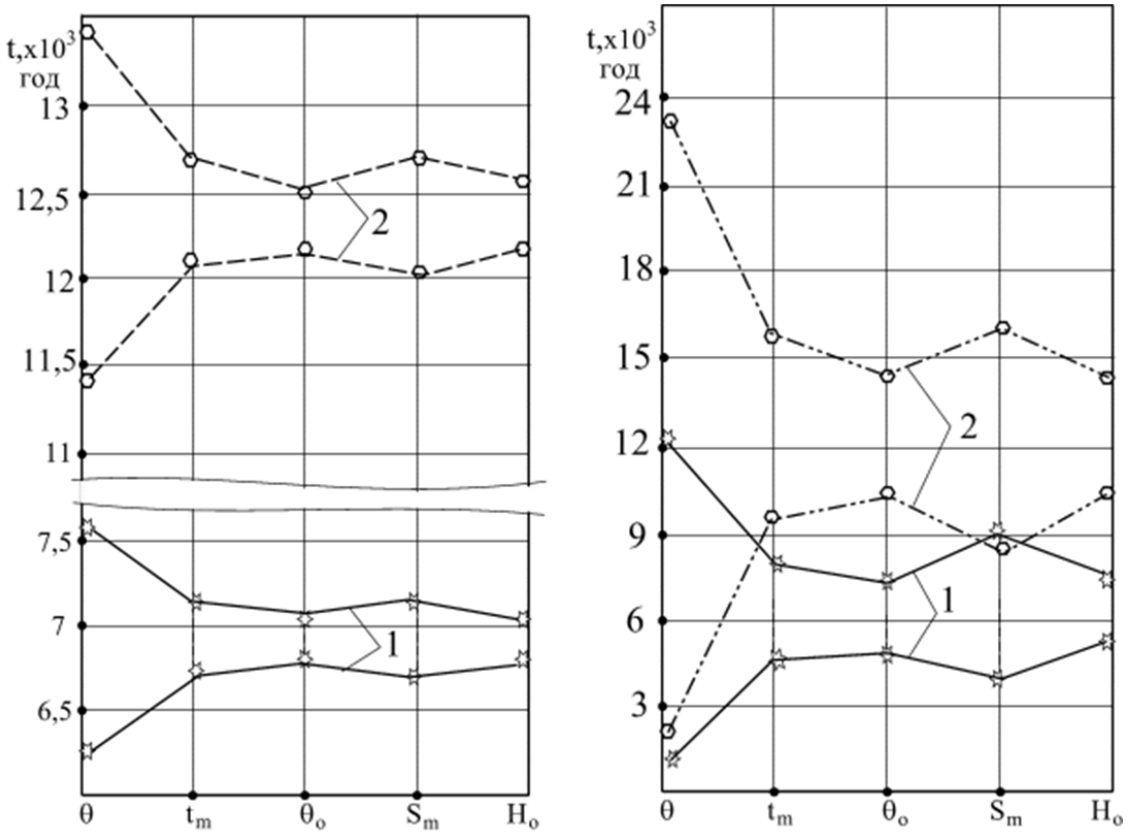


Рис. 1. Залежність інтервалу часу t від величини імовірності для: 1 – $R^*_{пер}=2$, 2 – $R^*_{пер}=3$.

Fig. 1. Dependence of time interval t on probability value for: 1 – $R^*_{пер}=2$, 2 – $R^*_{пер}=3$.

Для класичної моделі контакту без пристроїв управління тиском із сплавів з ефектом пам'яті форми аналогічні показники становлять, відповідно – 1993 годин та 3094 годин. У подальшому в якості експлуатаційних показників часу проведення ремонтних робіт та строку служби контактів необхідно прийняти нижчі крайні значення відповідних інтервалів часу, так як за межами даних з'єднання до стану теплового руйнування.



а) б)

Рис. 2. Вплив інтервалу невизначеності вихідних чинників на ймовірнісну величину інтервалу часу: а – нормальний закон розподілу щільності випадкової величини; б – рівномірний закон розподілу щільності випадкової величини; 1 – $R^*_{\text{пер}} = 2$, 2 – $R^*_{\text{пер}} = 3$.

Fig. 2. Influence of the source factor uncertainty interval on the probabilistic magnitude of the time interval.

Таблиця 1. Результати обчислювального експерименту визначення ймовірнісних інтервалів часу еволюції перехідного опору до рівнів $R^*_{\text{пер}} = 2$ та $R^*_{\text{пер}} = 3$.

Table 1. The results of a computational experiment to determine the probable time intervals of the evolution of the transient resistance to levels $R^*_{\text{пер}} = 2$ та $R^*_{\text{пер}} = 3$.

$R^*_{\text{пер}} = 2$		Вихідні фактори	$R^*_{\text{пер}} = 3$
1	6369≤ t≤ 7871	$x_1 \ldots x_5$ – нормально розподілені величини	11323≤ t≤ 13994
2	3872≤ t≤ 10188	x_1 – нормально розподілена величина $x_2 \ldots x_5$ – рівномірно розподілені	6883≤ t≤ 18111
3	1150≤ t≤ 16299	$x_2 \ldots x_4$ – нормально розподілені x_1, x_5 – рівномірно розподілені	563≤ t≤ 28977
4	6404≤ t≤ 7532	x_1 – нормально розподілена величина $x_2 \ldots x_5$ – детерміновані	11383≤ t≤ 13391
5	6816≤ t≤ 7112	x_2 – нормально розподілена величина x_1, $x_3 \ldots x_5$ – детерміновані	12117≤ t≤ 12644
6	6866≤ t≤ 7062	x_3 – нормально розподілена величина x_1, x_2, x_4, x_5 – детерміновані	12207≤ t≤ 12554
7	6788≤ t≤7140	x_4 – нормально розподілена величина x_1, x_2, x_3, x_5 – детерміновані	12067≤ t≤ 12694
8	6877≤ t≤ 7051	x_5 – нормально розподілена величина x_1, x_2, x_3, x_4 – детерміновані	12225≤ t≤ 12536
9	1405≤ t≤13209	x_1 – рівномірно розподілена величина $x_2 \ldots x_5$ – детерміновані	2656≤ t≤ 23811
10	5261≤ t≤8698	x_2 – рівномірно розподілена величина x_1, $x_3 \ldots x_5$ – детерміновані	9354≤ t≤15463
11	5830≤ t≤8134	x3 – рівномірно розподілена величина x1, x2, x4, x5 – детерміновані	10364≤ t≤14460

Продовження **таблиці 1.**
Continued of **table 1.**

$R^*_{\text{пер}} = 2$		Вихідні фактори	$R^*_{\text{пер}} = 3$
12	4941≤ t≤9032	x_4 – рівномірно розподілена величина x_1, x_2, x_3, x_5 – детерміновані	8784≤ t≤16056
13	5960≤ t≤7979	x_5 – рівномірно розподілена величина x_1, x_2, x_3, x_4 – детерміновані	10596≤ t≤14185

На рис. 1 також наведено ілюстрацію впливу звуження інтервалу вихідних величин у 2,5 рази (див. рис. 1, зони А).

Обраний метод аналізу процесу старіння розбірних контактних систем дає можливість дати ймовірнісну оцінку впливу розміру інтервалу невизначеності вихідних факторів на розрахункові показники старіння контактів. Алгоритм даного аналізу наступний. Почергово вихідні показники (дивись попередній приклад) фіксуються на рівні математичного сподівання за виключенням одного, який умовно носить випадковий характер, має інтервал невизначеності, що встановлюється методом експертних оцінок та нормальний закон розподілу. Аналогічний обчислювальний експеримент було проведено за умови, що щільність імовірності випадкового фактору характеризується рівномірним розподілом. Результати розрахунків представлено на рис. 2 і табл. 1.

На основі результатів обчислювального експерименту (рис. 2 та табл. 1) необхідно зробити основний висновок, що процес старіння контактів найбільше пов’язаний з температурою контактного з’єднання.

Найбільший вплив на ймовірнісну величину інтервалу часу створює фактор температури контакту. Для умов ймовірнісного аналізу даний фактор не являється керованим, тобто його вихідні значення обумовлюються природними та технічними обмеженнями і можуть бути змінені при введені нових нормативних документів, що стосуються температурних режимів контактних систем. Інші вихідні фактори можуть передбачати стадії уточнення і, відповідно, звуження інтервалів можливих значень. Наприклад, контактні системи можна класифікувати за певними ознаками – матеріалом контактів, технологією їх виготовлення, оснащенням додатковими елементами для управління контактним тиском, тощо. Для окремих підкласів контактів обґрунтування термінів проведення ремонтних робіт та строків служби матиме меншу похибку і носитиме більш коректний узагальнений характер.

Висновки

1. Дослідження процесу старіння контактів доцільно розглядати за умов неповноти вихідної інформації на базі застосування методів теорії ймовірності.

2. Граничним рівням перехідного опору за умови застосування управління контактним тиском на основі ефектів пам’яті форми та надпружності: $R^*_{\text{пер}} = 2$ відповідає ймовірнісний інтервал часу t = 6369…7871 годин необхідності проведення ремонту контакту; $R^*_{\text{пер}} = 3$ відповідає ймовірнісний інтервал часу t = 11323…13994 годин – строк служби контакту.

3. Збільшення граничних термінів проведення ремонтних робіт та строків служби контактів у порівнянні з класичною моделлю розбірного контакту складає 3-4 рази.

Список літератури

1. *Qian Y., Wang Y.* Discussion on necessity of developing 20kV voltage grade in distribution network. Anhui electric power. 2016. Vol. 3. P. 17-28.
2. *Fan M., Zhang Z., Liu S.* Rational scheming of voltage level in urban electric networks. Power system technology. 2017. Vol. 10. P. 64-68.
3. Yu J. Discussion on voltage grade in mid-voltage distribution grid. Heilongjiang electric power. 2020. Vol. 4. P. 244-247.
4. *Azizi S., Sanaye-Pasand M., Paolone M.* A modified formula for distance relaying of tapped transmission lines with grounded neutrals. IEEE Trans on Power Delivery. 2019. Vol. 34(2). P. 690-699.
5. *Rosas-Ortiz G., Sidhu T.* High-speed backup scheme for zone of non-pilot distance relays. IET Generation Transmission Distribution. 2007. Vol. 1(6). P. 938-947.
6. *Kumar M., Samuel C., Jaiswal A.* An overview of distributed generation in power sector. International Journal of Science, Technology & Management. 2015. Vol. 4(1). P. 1407-1423.
7. *Dent C. J., Ochoa L. F., Harrison G. P.* Network distribution capacity analysis using OPF with voltage step constraints. IEEE Trans on Power Systems. 2010. Vol. 25(1). P. 296-304.
8. *Masters C. L.* Voltage rise: the big issue when connecting embedded generation to long 11 kV overhead lines. IET Power Engineering Journal. 2002. Vol. 16(2). P. 5-12.
9. *Voorspools K., Brouwers E., D‘Haeseleer W.* Energy content and indirect greenhouse gas emissions embedded in emission-free‘ power plants: results for the low countries. Applied Energy. 2000. Vol. 67. P. 307-330.
10. *Lopes J., Hatziargyriou N., Mutale J., Djapic P., Jenkins N.* Integrating distributed generation into electric power systems: a review of drivers, challenges and opportunities. Electric Power Systems Research. 2007. Vol. 77(9). P. 1189-1203.
11. *Pudjianto D., Strbac G.* Investigation of regulatory, commercial, economic and environmental issues in microgrids. International Journal of Distributed Energy Resources. 2006. Vol. 2(3). P. 245-259.

12. *Krewitt W., Nitsch J.* The potential for electricity generation from on-shore wind energy under the constraints of nature conservation: a case study for two regions in Germany. Renewable energy. 2003. Vol. 28(10). P. 1645-1655.

13. *Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I.* Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3(105). P. 19-29.

14. *Lin H. I.* A fast and unified method to find a minimum-jerk robot joint trajectory using particle swarm optimization. Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications. 2014. Vol. 75. P. 379-392.

15. *Mikati M., Santos M., Armenta C.* Modelado y simulación de un sistema conjunto de energía solar y eólica para analizar su dependencia de la red eléctrica. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial-RIAI. 2012. Vol. 9(3). P. 267-281.

16. *Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V.* Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development. 2019. Vol. 18. P. 291-298.

17. *Guerrero J. W., Toscano A., Pacheco L. V., Tovar J.* Analysis of the energetic and productive effects derived by the installation of a conveyor belt in the metal-mechanic industry. International Journal of Energy Economics and Policy. 2018. Vol. 8(6). P. 196-201.

References

1. *Qian Y., Wang Y.* (2016). Discussion on necessity of developing 20kV voltage grade in distribution network. Anhui electric power. 3. 17-28.

2. *Fan M., Zhang Z., Liu S.* (2017). Rational scheming of voltage level in urban electric networks. Power system technology. 10. 64-68.

3. Yu J. (2020). Discussion on voltage grade in mid-voltage distribution grid. Heilongjiang electric power. 4. 244-247.

4. *Azizi S., Sanaye-Pasand M., Paolone M.* (2019). A modified formula for distance relaying of tapped transmission lines with grounded neutrals. IEEE Trans on Power Delivery. 34(2). 690-699.

5. *Rosas-Ortiz G., Sidhu T.* (2007). High-speed backup scheme for zone of non-pilot distance relays. IET Generation Transmission Distribution. 1(6). 938-947.

6. *Kumar M., Samuel C., Jaiswal A.* (2015). An overview of distributed generation in power sector. International Journal of Science, Technology & Management. 4(1). 1407-1423.

7. *Dent C. J., Ochoa L. F., Harrison G. P.* (2010). Network distribution capacity analysis using OPF with voltage step constraints. IEEE Trans on Power Systems. 25(1). 296-304.

8. *Masters C. L.* (2002). Voltage rise: the big issue when connecting embedded generation to long 11 kV overhead lines. IET Power Engineering Journal. 16(2). 5-12.

9. *Voorspools K., Brouwers E., D'Haeseleer W.* (2000). Energy content and indirect greenhouse gas emissions embedded in emission-free' power plants: results for the low countries. Applied Energy. 67. 307-330.

10. *Lopes J., Hatziargyriou N., Mutale J., Djapic P., Jenkins N.* (2007). Integrating distributed generation into electric power systems: a review of drivers, challenges and opportunities. Electric Power Systems Research. 77(9). 1189-1203.

11. *Pudjianto D., Strbac G.* (2006). Investigation of regulatory, commercial, economic and environmental issues in microgrids. International Journal of Distributed Energy Resources. 2(3). 245-259.

12. *Krewitt W., Nitsch J.* (2003). The potential for electricity generation from on-shore wind energy under the constraints of nature conservation: a case study for two regions in Germany. Renewable energy. 28(10). 1645-1655.

13. *Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I.* (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3(105). 19-29.

14. *Lin H. I.* (2014). A fast and unified method to find a minimum-jerk robot joint trajectory using particle swarm optimization. Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications. 75. 379-392.

15. *Mikati M., Santos M., Armenta C.* (2012). Modelado y simulación de un sistema conjunto de energía solar y eólica para analizar su dependencia de la red eléctrica. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial-RIAI. 9(3). 267-281.

16. *Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V.* (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development. 18. 291-298.

17. *Guerrero J. W., Toscano A., Pacheco L. V., Tovar J.* (2018). Analysis of the energetic and productive effects derived by the installation of a conveyor belt in the metal-mechanic industry. International Journal of Energy Economics and Policy. 8(6). 196-201.

ТЕРМИНЫ РЕМОНТНЫХ РАБОТ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКОВ СЛУЖБЫ КОНТАКТОВ РАЗБОРНЫЕ ТИПА В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОТЫ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

С. М. Волошин

Аннотация. Разборные контактные соединения являются наиболее многочисленными элементами электроустановок. Работоспособность контактов, их надежность в значительной степени зависит от режимов электрического тока и температуры, контактного давления и др. Изменение режимов и продолжительность эксплуатации приводят к росту переходного сопротивления контактов, температуры их нагрева и возможного теплового разрушения. Традиционными средствами для регулирования давления в контактах при изменении температурного режима является стальные тарельчатые пружины. Предварительным исследованиями установлено, что эти средства только частично решают проблему регулирования контактного давления. Альтернативой

традиционным средствам является инновационная разработка средств динамического управлением давлением на основе использования функциональных сплавов с эффектом памяти формы.

В работе проведен математический анализ сроков проведения ремонтных работ и сроков службы контактов разборного типа с использованием теории вероятности в условиях неполноты исходной информации. Исследованиями обосновано, что применение динамического метода управления термомеханическим режимом разборных контактов позволяет стабилизировать давление и продлить срок эксплуатации разборных контактов в 3-4 раза.

Ключевые слова: разборные электрические контакты, переходное сопротивление, функциональные сплавы с эффектом памяти формы, теория вероятности, неровности Чебышева.

TERMS OF REPAIR WORKS AND FORECASTING OF TERMS OF SERVICE OF CONTACTS OF DISASSEMBLY TYPE IN CONDITIONS OF INCOMPLETE OF OUTPUT INFORMATION

S. M. Voloshin

Abstract. Collapsible contact joints are the most numerous elements of electrical installations. The efficiency of the contacts, their reliability to a large extent depends on the modes of electric current and temperature, contact pressure, etc. Modification of modes and operation time lead to an increase in the resistance of the contacts, the temperature of their heating and possible thermal destruction. Traditional means for controlling the pressure in the contacts when changing the temperature regime are steel plate springs. Previous investigations have established that these means only partially solve the problem of regulation of contact pressure. An alternative to traditional means is the innovative development of dynamic pressure control tools based on the use of functional alloys with the shape memory effect.

The mathematical analysis of terms of carrying out repair works and service life of collision type contacts with the use of probability theory in the conditions of incompleteness of the initial information is carried out. The research substantiates that the use of dynamic method of control of the thermomechanical regime of collapsible contacts allows to stabilize pressure and extend the life of collapsible contacts by 3-4 times.

Key words: collapsible electrical contacts, transient resistance, functional alloys with memory effect of form, probability theory, Chebyshev inequalities.

С. М. Волошин ORCID 0000-0002-4913-7003.