Jacek PAŚ¹, Sławomir BUCHLA

¹Military University of Technology (Wojskowa Akademia Techniczna)

EXPLOITATION OF ELECTRONIC DEVICES - SELECTED ISSUES

Eksploracja urządzeń elektronicznych – wybrane zagadnienia

Abstract: The paper presents basic issues regarding the operation of the electronic device (ED). Electronic device - is a collection of packages (e.g. integrated circuits, processors, memories, etc.) and (or) passive and active electronic components (e.g. resistors, capacitors, transistors, diodes, etc.) that are related to each other in a functional way. By cooperating with each other, they implement a selected useful function that results from the purpose of a given device. The operation process includes technical, administrative and logistical tasks that are undertaken during the ED's lifetime. The most important goal of all activities is to correctly perform all the functions useful for a given technical object, in this case the ED.

Keywords: exploitation, electronic devices, damage, electronic components

Streszczenie: W artykule przedstawiono podstawowe zagadnienia dotyczące procesu eksploatacji urządzenia elektronicznego (ue). Urządzenie elektroniczne – to zbiór pakietów (np. układy scalone, procesory, pamięci itd.) i/lub elementów elektronicznych biernych i czynnych (np. rezystory, kondensatory, tranzystory, diody itd.), które są ze sobą powiązane w sposób funkcjonalny. Współdziałając wzajemnie ze sobą, realizują wybraną funkcję użyteczną, która wynika z przeznaczenia danego urządzenia. Proces eksploatacji obejmuje zadania techniczne, administracyjne i logistyczne, które są podejmowane w okresie użytkowania ue. Najistotniejszym celem wszystkich działań jest prawidłowe wykonywanie wszystkich funkcji użytecznych przez dany obiekt techniczny, w tym wypadku ue.

Słowa kluczowe: eksploatacja, urządzenia elektroniczne, uszkodzenia, elementy elektroniczne

1. General concepts and operational measures

Operation covers all technical and administrative and logistics tasks, taken during the lifetime of the electronic device (ED). The main purpose of these activities is to perform the useful functions of the ed resulting from its intended use. Exploitation begins when the finished ED is delivered to the warehouse [4, 7, 16]. This is the moment when the producer's influence on shaping the ED's reliability ends. From now, the user will influence the reliability of the ED. The lifetime of operation is called the time in which the ED performs useful functions in accordance with the needs of the user [3, 17, 11, 24]. The beginning of the period of use is the moment in which the ED performs the user-designated functional functions for the first time. The end of the ED's lifetime is the damage most often caused by natural or moral wear processes. An electronic device - is a collection of packages and / or elements that have been functionally connected, interacting with each other in order to perform a useful function resulting from the destination of the ED. Useful function - the implementation of the task by the ED should be in accordance with the user's expectations. The package, in other words a printed circuit board (PCB) with a set of elements placed on it, which constitutes a separate ED whole construction. Element - it is part of the ED, which can be treated as not divisible and irreparable. The electronic device is most often used in the environment. Operating environment - is a source of environmental exposure affecting the ED and its components. It directly affects the operation of the device, changing its reliability. Environmental exposure is all external physical conditions that can positively or adversely affect ED properties. Every phase of the electronic system's life ensures an adequate level of ED reliability. The level of ED reliability from the user's point of view is a combination of all types of reliability - design, manufacturing and operation. This is the result of solutions to decision problems occurring in individual ED life phases. An example of these problems in particular stages of the ED's life there is so-called element and technical base. We understand ED reliability as the reliability observed by the end-user of a given device [5, 9, 14]. The reliability assessment is the result of this observation, it is a subjective measure. The reliability of the ED depends on the requirements and operating conditions. When the requirements or operating conditions are changed (e.g. operating environment, external or internal influences e.g. electromagnetic interference, changes in supply voltage, operating currents, etc.), the observed level of reliability may change [15, 18, 21]. Reliability is a range whose maximum upper level is determined by reliability built into the ED. This is the result of the design and production process. The level of reliability observed by the user is the result of a combination of reliability in individual ED life stages. Examples are the element

and technical base, production technology, conditions of use, technical service, environment [1, 12, 19]. Optimization of individual realized phases determines the achievement of the maximum and cost-effective level of ED reliability. The interdependence of individual ED life phases is shown in fig. 1. The market for general-purpose devices such as tablets, laptops, peripherals of computer sets and smartphones has changed the approach to the general design theme. Due to the relatively low final price of these devices, only the largest manufacturers of electronic equipment are able to finance and maintain your company's design centers.

Fig. 1. Interdependence of individual ED life phases

The rest of the producers buy ready-made technical solutions. Then each element of the product – e.g. a laptop is treated as a separate module - a subassembly without penetrating in the way of designing and e.g. the placement of elements on the PCB. In the case of tablets, it is for example the type of display (diagonal, technique, resolution, etc.), a battery (battery) with its basic parameters

– e.g. capacity, maximum charging current, motherboard, type of processor, size of the memory and the module SIM, LTE or 3G and the type and method of housing (e.g. material, IP tightness level, etc.) [6, 12, 20, 25]. This solution significantly reduces production costs and accelerates the creation of the final product which is made - "tailored" for the needs of a given manufacturer. Then, you can minimize the cost of materials, production and thus the cost of the device itself.

2. Selected reliability indicators

The intensity of damage is one of the basic reliability indicators. The intensity of damage λ in most cases for electronic components, digital circuits and executive modules is given in the dimension 10^{-6} [1 / h]. The intensity of damage is expressed by the formula (1).

$$\lambda(t_i) = \frac{\Delta n_i}{(N - n_i)\Delta t_i} \quad (1)$$

where: N - the number of tested electronic devices (modules), n_i - number of electronic devices (modules) damaged from the beginning of the test to the beginning of the i -th observation interval, Δn_i - the number of electronic devices (modules) damaged in the i -th observation interval, Δt_i - length of the observation interval, test resulting from the trial, t_i - time counted from the beginning of the observation - research; and - the number of the observation interval, damage analysis of electronic devices (modules).

Reliability function $R(t)$ is the basic indicator determining the probability of the electronic device fulfilling the assumed functions in a given time interval $(0, t_i)$ under specific operating conditions. The empirical functions of reliability are determined from dependence (2).

$$R(t_i) = 1 - \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

where: N - the number of tested electronic devices (modules), n_i - number of electronic devices (modules) damaged from the beginning of the test to the beginning of the i -th observation interval.

The damage function $Q(t)$ determines the probability of occurrence of disability after the time t has elapsed, assuming no disability in the past tense before the operation of electronic devices (modules). The damage function is described by the formula (3).

$$Q(t_i) = \frac{n_i}{N} \quad (3)$$

where: N - the number of tested electronic devices (modules), n_i - number of electronic devices (modules) damaged from the beginning of the test to the beginning of the i -th observation interval.

3. Database on repair and damage information of electronic device

In carrying out the research on the ED exploitation process, a database was developed that enabled recording the history of "life" of an electronic device from the moment of sale to the point of damage. A history of each service file the devices are analyzed as a whole – fig. 2. It provides very accurate knowledge about the type and amount of faults and the method of repair. It also contains some elements that will help you evaluate the quality of the repair, the speed of removing the defect and also shows the logistic aspect of repairing the device. It contributes to the evaluation of the service - the moment of receipt of the application for repair - and the repair time (fault identification, the process of detecting a damaged item or parameter adjustment, replacement of a damaged system, device checking process, etc.). The quality of repairs can be assessed, among others, after the repair time and the number of returns of the same device to the service point. Returns are treated as unsuccessfully made repairs verified by the customer and sent back to the site in order to remove the same defect [2, 8, 10, 13, 22]. The repair time is the time needed to remove the defect from the moment the equipment is accepted for service, shop or the receipt of damaged equipment by the courier. Time allocated for transport from the point of acceptance to the service is also included in the repair time. The repair time should not exceed 14 business days. The average repair time shown in the charts is the arithmetic mean of fixed intervals - months. It is calculated from individual fixed billing periods or can be counted monthly. The unit of time is one day. The repair statuses of a given electronic device may be as follows:

- registration of the repair - fig. 3,
- accepting the repair on the website and handing it over for repairs,
- diagnosis of electronic equipment status - status during diagnosis,
- transferring the demand for spare parts (electronic components) to the warehouse - the status of electronic equipment is waiting for parts to be repaired,
- after receiving the part and removing the defect - repaired status - handing over the electronic device to be sent,

In the respondents at the ED service center, this type of fault amounted to as much as 25.7% of all devices supplied. This type of fault prevents wireless communication from a given electronic device with other devices via radio. In third place, the damage that causes immobilization of the entire electronic device is the touch screen - 13.2%. This type of fault prevents communication with a given electronic device - fig. 4. Other types of inability of an electronic device detected at the company's service point are shown in fig. 4.

Fig. 4. Types of damage occurring in the electronic device after the fault diagnosis is made by the service of the sales company

4. Conclusions

The article presents the basic concepts of reliability of electronic devices and mathematical relationships that enable determination of basic reliability indicators [7, 23]. The first reliability forecasting document was issued by Radio Corporation of America (RCA); it was TR-1100. Reliable stress analysis in electronic equipment. RCA was one of the main producers of electron tubes. The report presents mathematical models for estimating failure rates of components. It has become a standard and a mandatory requirement for reliability forecasting in the coming decades, e.g. the MIL-HDBK-217 standard [1, 4, 7, 9]. The methodology used for the first time in the MIL-HDBK-217 was a point evaluation of the reliability index, which was estimated by matching the damage data. The article provides a comprehensive analysis of the use of one type of electronic device (tablet) in terms of the occurrence of various types of defects and their numbers.

Additionally, by analyzing the type of damage, the repair time was indirectly evaluated for the entire service on the basis of additional indicators that were generated during repairs (e.g. average repair time).

5. References

1. Będkowski L., Dąbrowski T.: Podstawy eksploatacji, cz. II. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.
2. Białek K., Paś J.: Exploitation of selected railway equipment - conducted disturbance emission examination. *Diagnostyka*, Vol. 19, No. 3, 2018.
3. Burdzik R., Konieczny Ł., Figlus T.: Concept of on-board comfort vibration monitoring system for vehicles. In: J. Mikulski (ed.), *Activities of Transport Telematics*, Heidelberg: Springer, TST 2013.
4. Dąbrowski T., Paś J., Olchowik W., Rosiński A., Wiśnios M.: Podstawy eksploatacji systemów, Laboratorium. WAT, Warszawa 2014.
5. Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
6. Dziula P., Paś J.: Low Frequency Electromagnetic Interferences Impact on Transport Security Systems Used in Wide Transport Areas. *TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 12, Nr 2, June 2018.
7. Kołowrocki K., Soszyńska-Budny J.: Reliability and safety of complex technical systems and processes. Springer, London 2011.
8. Kornaszewski M., Chrzan M., Olczykowski, Z.: Implementation of new solutions of intelligent transport systems in railway transport in Poland. In: *Communications in Computer and Information Science*. Springer, 2017.
9. Laskowski, D., Łubkowski, P., Pawlak, E., Stańczyk, P.: Anthropotechnical systems reliability. In: „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, eds: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczuk A., Werbińska-Wojciechowska S. CRC Press/Balkema, London 2015.
10. Lewiński A., Perzyński, T., Toruń A.: The analysis of open transmission standards in railway control and management. In: *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 329, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
11. Paś J., Choromański W.: Results of measurement and determination of threshold electric field component for transport security systems. *Archives of Transport Systems Telematics*, Vol. 8, Iss. 1, February 2015.
12. Paś J., Dąbrowski T., Wiśnios M.: Teaching methodology of the diagnosing process on the example of the fire alarm system. *Journal of KONBiN* No. 41(2017), DOI 10.1515/jok-2017-0014.

13. Paś J., Rosiński A.: Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, Vol.19, No. 3, 2017 I, DOI 10.17531/ein.2017.3.8.
14. Paś J.: *Eksploracja elektronicznych systemów transportowych*. Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Radom 2015.
15. Paszek J., Kaniewski P.: Simulation of random errors of inertial sensors. In 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine 2016.
16. Rosiński A.: *Modelowanie procesu eksploatacji systemów telematyki transportu*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
17. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Issue of reliability–exploitation evaluation of electronic transport systems used in the railway environment with consideration of electromagnetic interference. *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 10, Iss. 9, November 2016, DOI 10.1049/iet-its.2015.0183.
18. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Reliability and operating properties of the electronic safety system used for unintended electromagnetic radiation sources. *Diagnostyka*, Vol. 19, No. 4, 2018, DOI: 10.29354/diag/92003.
19. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Train call recorder and electromagnetic interference. *Diagnostyka*, Vol. 16, No. 1, 2015.
20. Siergiejczyk M., Rosiński A., Paś J.: Analysis of unintended electromagnetic fields generated by safety system control panels. *Diagnostyka*, Vol. 17, No. 3, 2016.
21. Siergiejczyk M., Rosiński A., Paś J.: Analysis of unintended electromagnetic fields generated by safety system control panels. *Diagnostyka*, Vol. 17, No. 3, 2016.
22. Stawowy M., Dziula P.: Comparison of uncertainty multilayer models of impact of teleinformation devices reliability on information quality. In: “Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2015”, eds: L. Podofillini, B. Sudret, B. Stojadinovic, E. Zio, W. Kröger. CRC Press/Balkema, 2015.
23. Tchórzewska-Cieślak B.: *Niezawodność i bezpieczeństwo systemów komunalnych na przykładzie system zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.
24. Wetoszka P., Paś J., Laskowski D.: Electromagnetic compatibility in selected electronic devices security systems - preliminary tests. *Elektronika* No. 8, 2018, Wyd. Sigma-NOT, DOI:10.15199/13.2018.8.1.
25. Żółtowski B., Niziński S.: *Modelowanie procesów eksploatacji maszyn*. AT-R 2002.

EKSPLOATACJA URZĄDZEŃ ELEKTRONICZNYCH – WYBRANE ZAGADNIENIA

1. Ogólne pojęcia i miary eksploatacyjne

Eksploracja obejmuje wszystkie zadania techniczne, administracyjne i logistyczne, podejmowane w okresie eksploatacji urządzenia elektronicznego (ue). Głównym celem tych działań jest spełnianie przez ue funkcji użytecznych wynikających z jego przeznaczenia. Eksploatacja rozpoczyna się w momencie przekazania gotowego ue do magazynu [4, 7, 16]. Jest to moment, w którym kończy się wpływ producenta na kształtowanie niezawodności ue. Od tej chwili to użytkownik będzie oddziaływał na niezawodność ue. Okres eksploatacji nazywamy użytkowaniem – urządzenie spełnia funkcję użyteczną, zgodnie z potrzebami użytkownika [3, 17, 11, 24]. Okres użytkowania rozpoczyna się w chwili, gdy ue realizuje pierwszy raz funkcję użyteczną wyznaczoną przez użytkownika. Koniec okresu eksploatacji ue określa uszkodzenie, o którym decydują najczęściej procesy zużycia naturalnego lub moralnego [5, 8, 9, 13]. Urządzenie elektroniczne to zbiór pakietów i (lub) elementów, które powiązane ze sobą funkcjonalnie, współdziałających ze sobą w celu wykonania funkcji użytecznej, wynikającej z przeznaczenia ue. Funkcja użyteczna – realizacja zadania przez ue powinna być zgodna z oczekiwaniem użytkownika. Pakiet to inaczej płytką drukowaną (PCB) ze zbiorem umieszczonych na niej elementów, która stanowi wyodrębnioną całość konstrukcyjną ue. Element to część składowa ue, którą można traktować jako niepodzielną i nienaprawialną. Urządzenie elektroniczne najczęściej eksploatowane jest w otaczającym środowisku. Środowisko eksploatacyjne (sprzyjające lub niesprzyjające) jest źródłem narażeń środowiskowych oddziałujących na ue oraz jego elementy [5, 9, 14]. Wpływa bezpośrednio na użytkowanie urządzenia, zmieniając jego niezawodność. Narażenia środowiskowe to wszystkie zewnętrzne warunki fizyczne, które mogą wpłynąć korzystnie lub niekorzystnie na własności ue [11, 12, 19, 21]. Każda faza życia układu elektronicznego powoduje zapewnienie odpowiedniego poziomu niezawodności ue. Poziom niezawodności urządzenia z punktu widzenia jego użytkownika jest połączeniem wszystkich rodzajów niezawodności – projektowej, wytwórczej, eksploatacyjnej. Jest to wynik rozwiązań problemów decyzyjnych

występujących w poszczególnych fazach życia ue [15, 18, 21]. Przykładem tych problemów w poszczególnych fazach życia ue jest tzw. baza elementowa i techniczna. Niezawodność ue rozumiemy jako niezawodność obserwowaną przez użytkownika końcowego danego urządzenia. Ocena niezawodności jest wynikiem tej obserwacji, jest miarą subiektywną. Niezawodność urządzenia jest zależna od wymagań i warunków eksploatacji [1, 12, 19]. Gdy zmienione zostaną wymagania lub warunki eksploatacji (np. środowisko eksploatacyjne, oddziałujące wymuszenia zewnętrzne lub wewnętrzne jak zakłócenia elektromagnetyczne, zmiany napięcia zasilającego, prądy robocze itd.), może zmienić się obserwowany poziom niezawodności [5, 6, 17, 20]. Niezawodność jest to pewien przedział, którego maksymalny poziom górny wyznaczony jest przez niezawodność wbudowaną w ue. Jest to wynikiem procesu projektowania i produkcji. Poziom niezawodności obserwowany przez użytkownika jest wynikiem połączenia niezawodności w poszczególnych etapach życia ue. Przykładami są baza elementowa i techniczna, technologia produkcji, warunki użytkowania, obsługi technicznej i środowisko. Optymalizacja poszczególnych zrealizowanych faz warunkuje uzyskanie maksymalnego i opłacalnego poziomu niezawodności ue. Współzależność poszczególnych faz życia ue przedstawiono na rys. 1 [1, 5, 17, 19, 20].

Rys. 1. Współzależność poszczególnych faz życia urządzenia elektronicznego

Rynek urządzeń powszechnego użytku, takich jak np. tablety, laptopy, elementy peryferyjne zestawów komputerowych i smartfony, zmienił podejście do ogólnego tematu projektowania [6, 25, 20, 12]. Ze względu na stosunkowo niską cenę finalną tych urządzeń tylko najwięksi producenci sprzętu elektronicznego są w stanie zasilić finansowo i utrzymać swoje firmowe centra projektowe. Reszta producentów kupuje gotowe rozwiązania techniczne. Wtedy każdy element produktu, np. laptopa, jest traktowany jako oddzielny moduł-podzespół bez wnikania w sposób projektowania i np. rozmieszczenia elementów na PCB. W przypadku tabletów jest to np. rodzaj wyświetlacza (przekątna, technika wykonania, rozdzielczość itd.), bateria zasilająca (akumulator) z jej podstawowymi parametrami – np. pojemność, maksymalny prąd ładowania, płyta główna, rodzaj procesora, wielkość pamięci operacyjnej oraz moduł SIM, LTE lub 3G oraz rodzaj i sposób wykonania obudowy (np. materiał, poziom szczelności IP itd.). Rozwiązanie to obniża znacznie koszty produkcji oraz przyspiesza powstanie finalnego produktu, który jest „skrojony” na potrzeby danego producenta. Wtedy można minimalizować koszty materiałów, produkcji, a tym samym koszty samego urządzenia.

2. Wybrane wskaźniki niezawodności

Do podstawowych wskaźników niezawodności należy intensywność uszkodzeń. Intensywność uszkodzeń λ w większości wypadków dla elementów elektronicznych, układów cyfrowych i modułów wykonawczych podawana jest w wymiarze 10^{-6} [1/h]. Intensywność uszkodzeń wyrażana jest wzorem (1).

$$\lambda(t_i) = \frac{\Delta n_i}{(N - n_i)\Delta t_i} \quad (1)$$

gdzie:

- N – liczba badanych urządzeń (modułów) elektronicznych,
- n_i – liczba urządzeń (modułów) elektronicznych uszkodzonych od początku próby do początku i -tego przedziału obserwacji,
- Δn_i – liczba urządzeń (modułów) elektronicznych uszkodzonych w i -tym przedziale obserwacji,
- Δt_i – długość przedziału obserwacji, badania wynikająca z próby,
- t_i – czas liczony od początku obserwacji, badania,
- i – numer przedziału obserwacji, analizy uszkodzeń urządzeń (modułów) elektronicznych.

Funkcja niezawodności $R(t)$ jest to podstawowy wskaźnik określający prawdopodobieństwo spełnienia przez urządzenie elektroniczne założonych funkcji w danym przedziale czasu $(0, t_1)$ w określonych warunkach eksploatacji. Empiryczną funkcję niezawodności wyznacza się z zależności (2).

$$R(t_i) = 1 - \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

gdzie: N – liczba badanych urządzeń (modułów) elektronicznych,
 n_i – liczba urządzeń (modułów) elektronicznych uszkodzonych od początku próby do początku i -tego przedziału obserwacji.

Funkcja uszkodzalności $Q(t)$ określa prawdopodobieństwo wystąpienia niezdatności po upływie czasu t przy założeniu braku niezdatności w czasie przeszłym przed rozpoczęciem eksploatacji urządzeń (modułów) elektronicznych. Funkcja uszkodzalności opisana jest wzorem (3).

$$Q(t_i) = \frac{n_i}{N} \quad (3)$$

gdzie: N – liczba badanych urządzeń (modułów) elektronicznych,
 n_i – liczba urządzeń (modułów) elektronicznych uszkodzonych od początku próby do początku i -tego przedziału obserwacji.

3. Baza danych o czasach naprawy i rodzajach uszkodzeń urządzenia elektronicznego

Realizując badania procesu eksploatacji ue, opracowano bazę danych, która umożliwiała zapis historii „życia” danego urządzenia elektronicznego od chwili sprzedaży do momentu uszkodzenia. Historia kartoteki serwisowej każdego z urządzeń analizowana jest jako całość (rys. 2). Dostarcza bardzo dokładnej wiedzy na temat rodzaju i ilości występowania usterek oraz sposobu naprawy. Zawiera także pewne elementy, które pomogą ocenić jakość naprawy, szybkość usunięcia usterki, a także pokazuje logistyczny aspekt naprawy urządzenia. Wszystko to przyczynia się do oceny pracy serwisu firmy, tj. czasu od momentu otrzymania zgłoszenia o uszkodzeniu do oddania sprawnego ue użytkownikowi. Czas naprawy to funkcja wielu zmiennych zależnych m.in. od czasu identyfikacji uszkodzenia, procesu wykrycia uszkodzonego elementu lub regulacji parametrów, wymiany uszkodzonego układu, procesu sprawdzenia urządzenia, elementu itd. [2, 8, 10, 13, 22]. Jakość napraw można ocenić m.in. po czasie naprawy oraz liczbie

powrotów tego samego uo do serwisu. Powroty są traktowane jako nieskutecznie wykonane naprawy zweryfikowane przez klienta i odesłane ponownie do serwisu w celu usunięcia tej samej usterki. Czas naprawy jest to czas potrzebny na usunięcie usterki od momentu przyjęcia sprzętu do serwisu, sklepu lub przyjęcia uszkodzonego sprzętu przez kuriera. Czas przeznaczony na transport z punktu przyjęcia do serwisu jest także wliczany w czas naprawy. Czas naprawy nie powinien przekroczyć 14 dni roboczych. Średni czas naprawy przedstawiony na wykresach jest średnią arytmetyczną ze stałych przedziałów – miesięcy. Jest zliczany z poszczególnych stałych okresów rozliczeniowych lub może być liczony miesięcznie. Jednostką czasu jest jeden dzień. Statusy naprawy danego urządzenia elektronicznego mogą być następujące:

- rejestracja naprawy – rys. 3,
- przyjęcie naprawy w serwisie i przekazanie do naprawy,
- diagnoza stanu urządzenia elektronicznego – status w trakcie diagnozy,
- przekazanie zapotrzebowania na części zamienne (elementy elektroniczne) do magazynu – status urządzenie elektroniczne czeka na części do naprawy,
- po otrzymaniu części i usunięciu usterki – status naprawiony – przekazanie urządzenia elektronicznego do wysłania,
- sprawdzenie urządzenia elektronicznego po naprawie,
- po nadaniu numeru paczki i przekazaniu kurierowi – status wysłany.

	D	E	F	G	H	I	J	K
	typ urządzenia	an	data przyjęcia	data wydania	połączona	data wydania	data przyjęcia	data wydania
1	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	uszkodzenie słuchowiska do karty sim/odmowa uslug z 1.Lampychem	Naprawiony	1
2	S (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	nie czyta karty	Naprawiony	1
3	S (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO CZYTA NIE WIDZI KARTY SIM	Naprawiony	1
4	S (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	RABIDZO DLUGO PO URUCHOMIENIU SPRAWOZA PLIKI SYSTEMOWE, ZAWIESZA SIĘ	Naprawiony	1
5	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	NIE WIDZI KARTY SIM POROWNA NIE WIDZI KARTY SIM	Naprawiony	1
6	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WLOZENIU KARTY SIM WŁACZENIU DZIAŁA. DOKŁADNIE PO WŁACZENIU GO I Z JAK...	Naprawiony	1
7	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
8	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
9	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
10	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
11	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
12	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
13	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
14	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
15	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
16	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
17	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
18	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
19	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
20	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
21	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
22	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
23	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
24	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
25	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
26	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
27	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
28	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
29	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
30	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
31	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
32	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
33	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
34	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1
35	G (gwarancja)	MI0101010101000000	X	2015-06-01	2015-06-13	PO WŁACZENIU BIAŁA MATRYCA	Naprawiony	1

Rys. 2. Kartoteka serwisowa każdego z analizowanych urządzeń elektronicznych

Na wykresie (rys. 4) przedstawiono poszczególne typy uszkodzeń i odpowiadające im wszystkie symptomy, jakie zostały zgłoszone i zdiagnozowane przez serwis dystrybutora urządzeń dla około 3 000 przebadanych sztuk. Największy udział procentowy w ogólnym procesie całości napraw jest dla baterii akumulatorów – wynosi on 31,5%. Na drugim miejscu wśród innych rodzajów uszkodzeń jest uszkodzenie karty telekomunikacyjnej. Jest to typowe uszkodzenie, które powoduje unieruchomienie całego urządzenia elektronicznego (brak możliwości nawiązania

Dys. 3. Kartoteka serwisowa urzędów elektronicznych – rejestracja usługodawców

2.1.1. *Phylogenetic analysis*

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono podstawowe pojęcia dotyczące niezawodności urządzeń elektronicznych oraz zależności matematyczne, które umożliwiają wyznaczenie podstawowych wskaźników niezawodnościowych [7, 23]. Pierwszy dokument dotyczący prognozowania niezawodności został wydany przez Radio Corporation of America (RCA) – był to dokument nr TR-1100 [1, 4, 7, 9]. Dotyczył on analizy naprężeń w sprzęcie elektronicznym – odnosił się głównie do elementów elektronowych – lamp wzmacniających (trioda, tetroda, pentoda, itd.). RCA było jednym z głównych producentów lamp elektronowych. W raporcie zaprezentowano modele matematyczne do szacowania współczynników awaryjności komponentów. Stał się standardem i obowiązkowym wymogiem prognozowania niezawodności w nadchodzących dekadach, np. jako standard MIL-HDBK-217. Metodologia zastosowana po raz pierwszy w MIL-HDBK-217 była punktową oceną wskaźnika niezawodności, który został oszacowany przez dopasowanie danych o uszkodzeniach.

W artykule przeprowadzono również kompleksową analizę użytkowania jednego typu urządzenia elektronicznego (tabletu) pod względem występowania różnego rodzaju usterek oraz ich liczebności. Dodatkowo analizując typ uszkodzeń i czas naprawy, pośrednio dokonano oceny pracy całego serwisu na podstawie dodatkowych wskaźników, które były generowane w trakcie prowadzonych napraw (np. średni czas naprawy). W drugiej części artykułu obliczono i przedstawiono podstawowe wskaźniki niezawodności wybranego urządzenia elektronicznego.

5. Literatura

1. Będkowski L., Dąbrowski T.: Podstawy eksploatacji, cz. II. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.
2. Białek K., Paś J.: Exploitation of selected railway equipment - conducted disturbance emission examination. *Diagnostyka*, Vol. 19, No. 3, 2018.
3. Burdzik R., Konieczny Ł., Figlus T.: Concept of on-board comfort vibration monitoring system for vehicles. In: J. Mikulski (ed.), *Activities of Transport Telematics*, Heidelberg: Springer, TST 2013.
4. Dąbrowski T., Paś J., Olchowik W., Rosiński A., Wiśnios M.: Podstawy eksploatacji systemów, Laboratorium. WAT, Warszawa 2014.
5. Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.

6. Dziula P., Paś J.: Low Frequency Electromagnetic Interferences Impact on Transport Security Systems Used in Wide Transport Areas. *TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 12, Nr 2, June 2018.
7. Kołowrocki K., Soszyńska-Budny J.: Reliability and safety of complex technical systems and processes. Springer, London 2011.
8. Kornaszewski M., Chrzan M., Olczykowski, Z.: Implementation of new solutions of intelligent transport systems in railway transport in Poland. In: *Communications in Computer and Information Science*. Springer, 2017.
9. Laskowski, D., Łubkowski, P., Pawlak, E., Stańczyk, P.: Anthropotechnical systems reliability. In: „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, eds: Nowakowski T., Młynszak M., Jodejko-Pietruczuk A., Werbińska-Wojciechowska S. CRC Press/Balkema, London 2015.
10. Lewiński A., Perzyński, T., Toruń A.: The analysis of open transmission standards in railway control and management. In: *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 329, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
11. Paś J., Choromański W.: Results of measurement and determination of threshold electric field component for transport security systems. *Archives of Transport Systems Telematics*, Vol. 8, Iss. 1, February 2015.
12. Paś J., Dąbrowski T., Wiśnios M.: Teaching methodology of the diagnosing process on the example of the fire alarm system. *Journal of KONBiN* No. 41(2017), DOI 10.1515/jok-2017-0014.
13. Paś J., Rosiński A.: Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, Vol.19, No. 3, 2017 I, DOI 10.17531/ein.2017.3.8.
14. Paś J.: *Eksploatacja elektronicznych systemów transportowych*. Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Radom 2015.
15. Paszek J., Kaniewski P.: Simulation of random errors of inertial sensors. In 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine 2016.
16. Rosiński A.: *Modelowanie procesu eksploatacji systemów telematyki transportu*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
17. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Issue of reliability–exploitation evaluation of electronic transport systems used in the railway environment with consideration of electromagnetic interference. *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 10, Iss. 9, November 2016, DOI 10.1049/iet-its.2015.0183.
18. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Reliability and operating properties of the electronic safety system used for unintended electromagnetic radiation sources. *Diagnostyka*, Vol. 19, No. 4, 2018, DOI: 10.29354/diag/92003.
19. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Train call recorder and electromagnetic interference. *Diagnostyka*, Vol. 16, No. 1, 2015.

20. Siergiejczyk M., Rosiński A., Paś J.: Analysis of unintended electromagnetic fields generated by safety system control panels. *Diagnostyka*, Vol. 17, No. 3, 2016.
21. Siergiejczyk M., Rosiński A., Paś J.: Analysis of unintended electromagnetic fields generated by safety system control panels. *Diagnostyka*, Vol. 17, No. 3, 2016.
22. Stawowy M., Dziula P.: Comparison of uncertainty multilayer models of impact of teleinformation devices reliability on information quality. In: "Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2015", eds: L. Podofillini, B. Sudret, B. Stojadinovic, E. Zio, W. Kröger. CRC Press/Balkema, 2015.
23. Tchórzewska-Cieślak B.: *Niezawodność i bezpieczeństwo systemów komunalnych na przykładzie system zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.
24. Wetoszka P., Paś J., Laskowski D.: Electromagnetic compatibility in selected electronic devices security systems - preliminary tests. *Elektronika* No. 8, 2018, Wyd. Sigma-NOT, DOI:10.15199/13.2018.8.1.
25. Żółtowski B., Niziński S.: *Modelowanie procesów eksploatacji maszyn*. AT-R 2002.