

**SELECTED PROBLEMS OF DESCRIPTION AND
ESTIMATION OF DURABILITY**

WYBRANE PROBLEMY OPISU I OCENY TRWAŁOŚCI

Zbigniew Smalko

**Air Force Institut of Technology
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
01-494 Warszawa, Poland, ul. Księcia Bolesława 6**

e-mail: zbigniew.smalko@itwl.pl

Abstract: The subject of this paper deals with different aspects of durability: physically, technical, safety, innovative and economic. Likewise is presented the basis reasons of usable characteristics losses and some selected durability coefficients.

Keywords: durability, usable characteristics, destruction, prevention

Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono rozważania o różnych aspektach trwałości: fizycznych, technicznych, bezpieczeństwa, innowacyjnych i ekonomicznych. Omówiono także podstawowe przyczyny utraty trwałości i niektóre wskaźniki trwałości.

Słowa kluczowe : trwałość, właściwości użytkowe, destrukcja, profilaktyka

SELECTED PROBLEMS OF DESCRIPTION AND ESTIMATION OF DURABILITY

*The time is the only deficit thing,
you can't buy time...*

1. Introduction

Durability is one of the most important features of components (elements and subsystems) and technical objects as a whole.

By *durability* we understand the capability of an item to maintain its useful properties under given circumstances of work and maintenance until a limit state is achieved.

Borderstates are understood as states when an object for technical reasons, economic reasons or functional reasons (innovative) and/or for other essential reasons is no longer fit for use.

The measure of durability of technical objects is a period of use after which an object loses its serviceability according to its design.

The moment a technical object loses its required properties is called *the top border of durability*. However, it is worth noting, that the moment starting from which an item is no longer fit for use is not always a distinct one.

Therefore, a multi-aspect selection of criteria determinating the upper limit of operation time is the crucial issue.

2. Kinds of durability

A loss of required usable properties characteristics can result inter alia from technical reasons, economic reasons or perished innovativeness as it is present hereinafter.

The economic durability is identified with retention usable properties until the moment when further maintaining of requested technical availability is found to be uneconomic. This is dependent on both economic and technical factors. An important measure of durability in light of the economic aspect is the unit price of maintaining an objects availability and the profitability of its use.

The innovative durability is identified with the preservation of usable features until a new generation of competitive and non-compatible technical

objects appears, when at the same time a possible modernisation of an item is uneconomic. An important feature in terms of innovativeness is a prospective rise in profits due to the employment of a new generation technical objects. The necessity to terminate the use of a technical objects can be result from its incompatibility with the technospheric environment.

The safety durability is identified with retention already existing usable properties until hazards occur. A need to terminate the operation of an object can result from non-fulfilment of objects safety requirements in the human- object-environment system.

It is obvious that the technical durability -the physical durability to be exact - is what constitutes a reference base for all considerations on a lost worthiness of a given technical objects.

The technical durability is identified with retaining a required value of usable features until the possibility to maintain usable features to ensure a required level of the operational availability by means of repairs and technical services is irretrievably lost.

The technical durability expires due to the depletion of technical expendability since there is no technical possibility of upgradeability of an object.

The measure of life (durability) of a technical objects is the service life after the termination of which a technical object loses its capability of use according to its designed application.

For human - object - environment systems one uses the term of liveliness, which applies to a multiple renovation (including a biological renovation) and sustaining of functions (including life functions) over a defined period of use under determined conditions. For the above systems also the notion of survival under sudden overloads (e.g. during an attack, sudden weather changes, hurricanes, tsunami, volcanic erosions) etc. is used. Due to this, an object loses irrevocably its capability of further functioning.

3. Loss of usable properties

The technical durability is considered usually at the macroscopic level and the physical durability at the microscopic level.

In case of the macroscopic level (considering constrains between objects elements and subassemblies which create the structure of a technical objects in the energetic meaning). On a microscopic level one considers interatomic constrains, which occur in material structures. The material of design elements is considered a system with a structure of constrains, superimposed onto microscopic material particles.

Considering the durability of a design material one takes into account the laws of *the physics of failure*. Therefore the *physical durability* is expressed as a limit period resulting from the loss of the hardness of its components against the effect of enforcing factors, in particular of working factors.

The art of engineering consists, inter alia, in finding the relations between defects in the substance of a design material and the failure of the technical objects as a whole.

Three destructive phenomena play the basic role: fatigue, metal corrosion and wear due to friction. The first process results in fractures and breaks of shaped pieces. The result of the two other phenomena is a loss of the surface material layer, called wear. The results of these phenomena decide, inter alia, whether the usefulness of an objects can be technically restored.

Exceeding the permissible values of usable features (states of characteristics) related to a correct functioning of an object, causes a variety of unwanted phenomena and events.

Such damages may leave an object in an unwanted technical state, in which this item does not fulfil its required usable functions; loses the capability of repairing it and/or it does not satisfy safety requirements..

According to a thorough analysis the durability is define with two notions - *strength and resistance (hardiness)*

The strength is a property defines the capability of a design material subjected to allowable loads to maintain required usable properties. It is understood as a capability of maintaining - maintainability - of the internal cohesiveness of a material until permissible working loads are exceeded.

One distinguishes an immediate strength and fatigue strength, i.e. a capability of a repeated taking on of usable loads. In the latter case, a destructive process, called a fatigue occurs and results in brittle ruptures, slip ruptures and split ruptures as well as in plastic and elastic deformations.

The probability of occurrence of this kind of damage is a basis to determine the upper limit of the use-time of design elements.

The strength is a property, therefore a physical value, expressed in units of measure, which consequently can have particular numerical values.

The resistance is a feature which define the capability of a structural material and associations of technical objects elements to maintain the required element characteristics and associations when subject to impact of external and internal forcing factors..

The requisite cohesiveness of a system is maintained thanks to the internal energy of cohesion binding material parts of a system.

There are three basic factors, which contribute to maintaining the system's resistance; these are: proper strength of an item, properly selected load

acting on an item and a controlled speed of deterioration of objects characteristics.

The resistance can be regarded as a non-measurable feature (a behaviour manifestation). E.g. technical objects can have a resistance or not. This resistance can be described only approximately as very low, low, high or very high etc

4. Preservation of objects usability

Considering technical objects as consisting of assemblies, association of kinetic and static elements, one considers them as macro systems of a structure of constrains superimposed on cooperating design elements.

As a result of destructive processes within systems of associated design elements *natural and imparted usable constrains disappear* as well as *parasite constrains develop*. This is the reason why components lose their worthiness and consequently rendering useless of the objects as a whole. One distinguishes two extreme states of technical objects.

The first extreme state being the one in which an item loses its capability of processing and transferring energy (due to evolved additional parasitic constrains and/or disappearance of useful constrains).

The second extreme technical state is a state when an item loses its capability of performing working moves and obtainment of a required speed of relocation – movement (due to a change of purposeful constrains to restricted constrains and due to an elastic deformation of constrains and kinematical pairs under the impact of forces and temperature).

According to a thorough analysis the durability is described with a set of two notions *maintainability and supportability*.

The maintainability – a feature of a machine and technical equipment, define its capability of performing maintenance as well as service and repair steps within a given time.

These steps are: repairs to restore a requisite condition (state), a technical service to maintain a required condition and a technical inspection to determine the technical condition of a technical object.

The tractability of maintenance consists in features, which enable easy services and repair of a technical objects as well as keeping a technical objects in a required condition by way of an appropriate strategy of maintenance.

The strategy of maintaining of a demanded technical operational stand-by is a rational time schedule of inspections of the technical objects condition and preventing steps or upgrading steps. This strategy consists in a

determination of such work periods of technical objects, which satisfy to the best advantage technical, organisational and cost limitations.

The measure of the maintainability can be e.g. such a 'physical value' like performed technical steps or a property (a behaviour manifestation), e.g. a technical objects shows the capability of maintenance or repair or it does not. It can be also definite - not clearly - as a very low, low, high or very high etc. capability.

The supportability – a feature expressing a *serviceability* and usefulness of technical equipment and means to maintain a machine in a required technical state.

As a result of very advanced technical progress, the use of machines is more and more dependent on professional maintenance. Performing maintenance and technical checks calls for modern inspection and measuring devices, availability of service with spare parts and appropriate consumables. Logistic service guarantees safe and effective use of technical objects.

A measure of the *supportability* can be e.g. such a physical quantity as a required diagnosing time, spare parts delivery time etc. or e.g. a feature of behaviour like accessibility or non-accessibility of services [0,1]. It can also be described approximately as a very low, low, high or very high professionalism of maintenance.

5. Estimation of durability

For further considerations, with regard to the aspect of technical durability, one has to divide technical objects into non-salvageable (one-way) and salvageable (multiple-use) technical objects.

The measures of the technical durability of *unsalvageable items* is a single period of maintaining required usable features, i.e. a period from the start of operation until the time of an irreversible loss of usable features occurs.

The measures of the technical durability of *salvageable items* is a joint time of maintaining required usable features, taking into account the restoration of the usefulness of an objects by means of repeated repairs and maintenance.

The following formulas present some selected durability coefficients: expected value and standard deviation of the durability time (operation life):

$$\bar{\tau} = \sum_{\tau=1}^k p_{\tau}, (\tau = 1, 2, \dots),$$

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\sum_{\tau=1}^k p_{\tau} (\tau - \bar{\tau})^2}, (\tau = 1, 2, \dots),$$

where:

$\bar{\tau}$ - average age, expected durability time (operation life)

σ_{τ} - standard deviation of the operation life

τ - random variable, age (a time interval over which usable properties are maintained, time of worthiness) of an object, quantity of time units (hours, days, weeks, months, years) over which an item was used ($\tau = 1, 2, \dots$) from the time point of the initial observation $\tau = 0$.

k - upper limit of usable lifetime (a time point when required usable properties end)

p_{τ} - loss coefficient indicates the part of items, which lose their usefulness (lose usable properties) within a time interval $[\tau, \tau + 1]$ expressed in usable time units, i.e. within a time unit after a terminated lifetime τ .

$$p_{\tau} = \frac{N_{\tau} - N_{\tau+1}}{N_0}, (\tau = 1, 2, \dots)$$

where:

N_{τ} - number of used items which achieved the τ , [$\tau = 1, 2, \dots$] age

N_0 - number of items the use of which started within a given time unit ($\tau = 0$).

CONCLUSIONS

Therefore in order to estimate durability the following aspects have to be determined:

- a technical aspect: *lack of technical means of restoring a required technical condition* due to an overly dispersed energy of internal structural cohesiveness of an object
- an economic aspect: *non-profitability of further use* due to an excessive rise in unit operating costs
- aspects of innovation: innovative manufacture of technical objects of *an increased output*,
- *new properties and better compatibility* as a result of new requirements for use, which are a consequence of a new generation of solutions.

6. Bibliography

- [1] Arendarski J. Trwałość i niezawodność budynków mieszkalnych, Arkady, Warszawa, 1987.
- [2] Fr. von Gottl - Ottilienfeld, Wirtschaft und Technik, Grundriss der Sozialökonomik, Tybinga 1932
- [3] Grzesiak K. Kołodziejcki I., Netzel Z., Badania trwałościowe obiektów technicznych. WNT, Warszawa, 1968.
- [4] Haviland R.P. Niezawodność urządzeń technicznych, PWN, 1968.
- [5] Mazur M., Terminologia techniczna, WNT, Warszawa 1961,
- [6] Norma "*Wybór wskaźników niezawodności*", PN-77/N-04010. PKNMiJ, Warszawa, 1977.
- [7] Radkowski S. Podstawy bezpiecznej techniki, OFPW, Warszawa, 2003.
- [8] Smalko Z., Pięć podstawowych pojęć w technice. Komitet Naukoznawstwa PAN. 1987.
- [9] Warszński M. Niezawodność w obliczeniach konstrukcyjnych, PWN, 1988.
- [10] Fr. von Gottl - Ottilienfeld, Wirtschaft und Technik, Grundriss der Sozialökonomik, Tuebingen 1932
- [11] Mazur M., Terminologia techniczna – Terminology of technology, WNT, Warszawa 1961,
- [12] PN-77/N-04010 standard: "*Wybór wskaźników niezawodności – Selection of Reliability Indicators*", PKNMiJ, 1977.
- [13] Smalko Z., Pięć podstawowych pojęć w technice – Five Basic Notions in Technology, Komitet Naukoznawstwa PAN (PAN - Polish Academy of Science – Committee of Science of Science), 1987.

WYBRANE PROBLEMY OPISU I OCENY TRWAŁOŚCI

*Jedyną rzeczą naprawdę deficytową jest
czas,*

1. Wstęp

Trwałość jest jedną z najważniejszych właściwości składników (elementów i podukładów) jak i urządzeń technicznych jako całości.

Przez *trwałość* rozumiemy zdolność obiektu do długotrwałego zachowania wymaganych właściwości użytkowych, w danych warunkach użytkowania i obsługi (utrzymania), aż do osiągnięcia stanu granicznego.

Stany graniczne rozumiane są jako sytuacje, w których obiekt nie nadaje się już do użytku ze względów: technicznych, ekonomicznych lub funkcjonalnych (innowacyjnych) oraz/lub ze względu na inne istotne powody.

Miarą trwałości urządzenia jest okres użytkowania po upływie, którego urządzenie traci swoją przydatność do stosowania zgodnie z przeznaczeniem.

Chwilę, w której urządzenie traci wymagane właściwości nazywamy *górnym kresem trwałości*. Należy jednak stwierdzić że chwila, od której począwszy obiekt nie nadaje się do użytku nie zawsze jest wyraźna.

Dlatego ważnym zagadnieniem jest wieloaspektowy wybór kryteriów górnego kresu używalności urządzenia.

2. Rodzaje trwałości

Utrata wymaganych właściwości użytkowych może nastąpić m.in. ze względów technicznych, ekonomicznych lub innowacyjnych, jak opisano niżej.

Trwałość ekonomiczna utożsamiana jest z zachowaniem właściwości użytkowych do chwili stwierdzenia nieopłacalności utrzymania wymaganej gotowości technicznej. Jak również z nieopłacalności dalszego odtwarzania stanu zdadności urządzenia. Jest to zależne zarówno od ekonomicznych jak i od technicznych czynników. Ważną miarą trwałości w aspekcie

ekonomicznym jest jednostkowy koszt utrzymania gotowości obiektu a także zyskowość użytkowania.

Trwałość innowacyjna (moralna) utożsamiana jest z zachowaniem posiadanych właściwości użytkowych do chwili wystąpienia konkurencyjnych i niekompatybilnych urządzeń nowej generacji, przy nieopłacalności ewentualnej modernizacji obiektu. Ważną miarą trwałości w aspekcie innowacyjnym jest dodatnia różnica w spodziewanym zysku z zastosowania urządzenia nowej generacji. Konieczność zakończenia użytkowania zdanego urządzenia może wynikać także z niekompatybilności ze środowiskiem technosferycznym.

Trwałość bezpieczeństwa jest utożsamiana jest z zachowaniem posiadanych właściwości użytkowych do chwili wystąpienia zagrożeń. Konieczność zakończenia użytkowania urządzenia może wynikać z niespełnienia wymagań bezpieczeństwa obiektu, a także z niedotrzymania wymaganego poziomu bezpieczeństwa w systemie człowiek - obiekt - otoczenie.

Jest oczywiste, że to trwałość techniczna, a ściślej rzecz ujmując *trwałość fizyczna*, stanowi podstawę odniesienia dla wszelkich rozważań na temat utraty użyteczności przez dane urządzenie.

Trwałość techniczna jest utożsamiana jest z zachowaniem wymaganych wartości właściwości użytkowych do chwili, nieodwracalnej utraty możliwości zachowania ich na drodze napraw i obsług technicznych dla zapewnienia wymaganego poziomu gotowości operacyjnej.

Trwałość techniczna dobiega swego kresu w wyniku wyczerpania zasobu technicznego (expendability) wobec braku technologicznych możliwości jego odtworzenia (upgradeability).

Miarą trwałości urządzenia jest okres użytkowania (service life) po upływie, którego urządzenie traci zdolność do stosowania zgodnie z przeznaczeniem.

W systemach człowiek -obiett-otoczenie stosuje się pojęcie *żywności*, które dotyczy, wielokrotnej odnowy(w tym biologicznej) i podtrzymania funkcji (w tym życiowych) przez określony czas użytkowania w określonych warunkach. A także pojęcie *przetwania* w warunkach nagłych przeciążeń,(np. w czasie ataku, nagłych zmian pogodowych,

huraganów, tsunami, erozji wulkanicznych itp.) Powoduje to nagłą i nieodwracalną utratę zdolności obiektu do działania.

3. Utrata właściwości użytkowych

Trwałość techniczną rozpatrujemy zazwyczaj na poziomie makroskopowym, natomiast trwałość fizyczną rozpatrujemy na poziomie mikroskopowym.

W przypadku trwałości na poziomie makroskopowym (rozpatrywane są więzy między elementami i podzespołami obiektu tworzące strukturę urządzenia w sensie energetycznym). Na poziomie mikroskopowym mamy do czynienia z więzami międzyatomowymi, które występują w strukturach materiałowych. Tworzywo elementów konstrukcyjnych traktuje się jako układ o strukturze z więzów nakładanych na mikroskopijne cząstki materialne.

Przy rozpatrywaniu trwałości tworzywa konstrukcyjnego odwołujemy się do praw *fizyki uszkodzeń*. Stąd *trwałość fizyczna* (physically durability) jest wyrażana granicznym okresem wynikającym z utraty fizycznej odporności jej składników (hardiness) na oddziaływanie czynników wymuszających, a w szczególności czynników roboczych.

Sztuka inżynierska m.in. polega na tym, aby znaleźć związki defektów w strukturze materiału konstrukcyjnego z uniezdatnieniem urządzenia jako całości.

Podstawową rolę odgrywają trzy destrukcyjne procesy: zmęczenie, korozja metali i zużywanie przez tarcie. Wynikiem pierwszego procesu są przełomy i pęknięcia kształtek. Efektem pozostałych obu procesów jest ubytek tworzywa warstwy wierzchniej elementu, nazywany zużyciem. Skutki tych procesów decydują m.in. o technicznych możliwościach uzdatniania obiektów. Przekroczenie dopuszczalnych (granicznych) wartości przybieranych przez własności użytkowe (stany cech), związane z poprawnym funkcjonowaniem obiektu powoduje różnego rodzaju niepożądane zjawiska i zdarzenia.

Takie uszkodzenia mogą przeprowadzać obiekt do niepożądanego stanu, w którym obiekt nie spełnia wymagań, użytkowych, naprawczych oraz/lub bezpieczeństwa.

Trwałość dokładniej analizowana opisywana jest odpowiednio dwoma pojęciami: *wytrzymałością i odpornością*.

Wytrzymałość - cecha opisująca zdolność tworzywa konstrukcyjnego obiektu poddawanego dopuszczalnym obciążeniom do zachowania wymaganych właściwości użytkowych. Rozumiane jest to jako zdolność do zachowania wewnętrznej spójności tworzywa do chwili przekroczenia dopuszczalnych obciążeń użytkowych [kg/m^2].

Rozróżniamy wytrzymałość doraźną i zmęczeniową tzn. możliwości przeniesienia wielokrotnie użytkowych obciążeń. Występujący przy tym proces destrukcyjny nazywamy zmęczeniowym. Efektem tego procesu są pęknięcia takie jak: przełomy kruche, poślizgowe i rozdzielcze a także odkształcenia plastyczne i sprężyste.

Prawdopodobieństwo występowania tego rodzaju uszkodzeń stanowi podstawę do wyznaczenia górnego kresu eksploatacji elementów konstrukcyjnych.

Wytrzymałość jest własnością, stanowi, więc wielkość fizyczną, a w związku z tym posiada wymiar (jednostkę miary) i może przybierać określone wartości liczbowe. Liczbowa ocena jest oceną, jednoznaczną.

Odporność (resistance, refractoriness)- cecha opisująca zdolność tworzywa konstrukcyjnego i skojarzeń elementów urządzenia do zachowania wymaganych charakterystyk elementów i skojarzeń w warunkach oddziaływania zewnętrznych i wewnętrznych czynników wymuszających.

Pożądana spójność układu utrzymywana jest dzięki energii wewnętrznej spójności wiążącej materialne cząstki układu.

Istnieją trzy podstawowe czynniki sprzyjające zachowaniu odporności obiektu, są nimi: odpowiednia wytrzymałość obiektu, właściwy dobór obciążenia przyłożonego do obiektu i kontrolowanie szybkości pogarszania się własności obiektu.

Odporność może być traktowana jako niemierzalna właściwość (przejaw zachowania się). Np. urządzenie wykazuje odporność lub jej nie wykazuje. Może także być opisana niedokładnie, jako odporność: bardzo mała, mała, duża, bardzo duża itp.

4. Zapobieganie utracie właściwości użytkowych

Rozpatrując urządzenia techniczne złożone z zespołów, skojarzenia ruchowych i spoczynkowych traktujemy je jak makroukłady o strukturze z więzów nakładanych na współpracujące elementy konstrukcyjne.

W wyniku procesów destrukcyjnych w skojarzeniach elementów konstrukcyjnych *zanikają naturalne i nadane więzy użyteczne* jak również *pojawiają się więzy pasożytnicze*. Jest to powodem utraty użyteczności elementów składowych a w konsekwencji niezdatności obiektów jako całości. Wyróżniane są dwa ekstremalne stany techniczne obiektów.

Pierwszy stan ekstremalny, w którym obiekt traci zdolność do przetwarzania i przenoszenia energii (w wyniku powstania dodatkowych pasożytniczych więzów oraz/lub zanikania więzów użytecznych).

Drugi stan ekstremalny ma miejsce wtedy, gdy obiekt traci zdolność do wykonywania ruchów roboczych oraz uzyskiwania wymaganych prędkości przemieszczania (w wyniku: zmiany celowych więzów na więzy ograniczone oraz sprężystego odkształcania ogniwi i par kinematycznych pod wpływem działania sił i temperatury).

Trwałość dokładniej analizowana opisywana jest odpowiednio dwoma pojęciami: *obsługiwalnością i utrzymywalnością (dostęp do usług technicznych)*.

Obsługiwalność - cecha maszyny i wyposażenia zaplecza technicznego opisująca ich podatność na wykonywanie zabiegów obsługowo-naprawczych w zadanym czasie .

Do nich należą zabiegi takie jak: naprawy służące odtwarzaniu wymaganego stanu, obsługi techniczne służące zachowaniu wymaganego stanu i kontrole techniczne służące do rozpoznawania stanu technicznego urządzeń..

Podatność obsługowo naprawcza polega na posiadaniu cech umożliwiających łatwe jego obsługiwanie i przeprowadzanie niezbędnych napraw. A także utrzymanie urządzenia w wymaganym stanie za pomocą odpowiednich strategii utrzymania.

Strategią utrzymania wymaganej gotowości technicznej nazywamy racjonalne rozmieszczenie w czasie kontroli stanu oraz zapobiegawczych uzdatnień. Wyraża się to w ustaleniu takich okresów użytkowania obiektów, które w najkorzystniejszy sposób spełniają ograniczenia: techniczne, organizacyjne i ekonomiczne.

Miarą obsługiwalności może być np. taka wielkość fizyczna jak wykonanie zabiegów technicznych lub jako właściwość (przejaw zachowania się) np. urządzenie wykazuje podatność obsługowo naprawcza lub jej nie

wykazuje $[0,1]$. Może także być opisana niejednoznacznie, jako podatność: bardzo mała, mała, duża, bardzo duża itp.

Utrzymywalność - własność cecha opisująca dostępność i przysposobienie, zaplecza technicznego, do utrzymywania maszyny w wymaganym stanie technicznym.

W wyniku daleko zaawansowanego postępu technicznego użytkowanie urządzeń coraz bardziej jest uzależnione od profesjonalnego obsługiwanie. Wykonywanie obsług i przeglądów technicznych wymaga dostępu do nowoczesnej aparatury kontrolno pomiarowej, serwisu części wymiennych oraz właściwych środków eksploatacyjnych. Usługi logistyczne są gwarantem bezpiecznego i efektywnego wykorzystywania użytkowanych urządzeń.

Miarą utrzymywalności może być np. taka wielkość fizyczna jak niezbędny czas diagnozowania, czas dostawy części itp. lub np. właściwość (przejaw zachowania się) taka jak- usługi są dostępne lub są niedostępne. $[0,1]$. Może także być opisana niedokładnie np. jako: bardzo mała, mała, duża, bardzo duża profesjonalność obsługiwanie.

5. Ocena trwałości

Dla przeprowadzenia dalszych rozważań, związanych z technicznym aspektem trwałości, niezbędny jest podział urządzeń na obiekty nienaprawialne (jednokrotnego użytku) i naprawialne (wielokrotnego użytku). Wskaźnikiem trwałości technicznej *nienaprawialnych obiektów* jest pojedynczy okres zachowania wymaganych wartości własności użytkowych. Tzn. okres od chwili włączenia do eksploatacji do chwili do chwili nieodwracalnej utraty własności użytkowych.

Wskaźnikiem trwałości technicznej *obektów naprawialnych* jest łączny okres zachowania wymaganych wartości własności użytkowych, z uwzględnieniem wielokrotnego przywracania zdadności obiektu na drodze napraw i obsług technicznych..

Przedstawiamy niżej wybrane wskaźniki trwałościowe nienaprawialnych obiektów wartość oczekiwaną czasu dotrwania i średnie odchylenie kwadratowe czasu użytkowania, jak niżej:

$\bar{\tau}$ -przeciętny wiek, wartość oczekiwana czasu dotrwania(okresu użytkowania)

$$\bar{\tau} = \sum_{\tau=1}^k p_{\tau} \tau, (\tau = 1, 2, \dots), (P_{\tau} = 1, 2, \dots).$$

σ_{τ} -średnie odchylenie kwadratowe czasu użytkowania

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\sum_{\tau=1}^k p_{\tau} (\tau - \bar{\tau})^2}, (P_{\tau} = 1, 2, \dots).$$

gdzie:

τ -zmienna losowa skokowa ,wiek(czas zachowania własności użytkowych, czas zdatności) obiektu, liczba jednostek czasu (godziny, dni, tygodnie, miesiące, lata) przez które zdatny obiekt był użytkowany($\tau = 1, 2, \dots$). od chwili początkowej obserwacji $\tau = 0$.

k - górny kres wieku użytkowania (chwila w której następuje utrata wymaganych własności użytkowych) p_{τ} -współczynnik ubytku wskazuje jaka część obiektów przechodzi do stanu niezdatności (traci własności użytkowe)w przedziałiku czasowym $[\tau, \tau + 1]$ mierzonym w jednostkach czasu użytkowania czyli w trakcie jednostki czasu po ukończeniu wieku τ .

$$p_{\tau} = \frac{N_{\tau} - N_{\tau+1}}{N_0}, (\tau = 1, 2, \dots)$$

gdzie:

N_{τ} -liczba użytkowanych obiektów, które dotrwały wieku τ , $[\tau = 1, 2, \dots)$.
 N_0 – liczba obiektów wprowadzonych do użytku w jednostce czasu $\tau = 0$.

Wnioski

Tak, więc do oszacowania trwałości zbiera się dane z uwzględnieniem następujących aspektów:

- aspektów technicznych ze względu na *brak technologicznych możliwości przywrócenia wymaganego stanu technicznego* z powodu nadmiernego rozproszenia energii wewnętrznej spójności strukturalnej obiektu,
- aspektów ekonomicznych ze względu na *nieopłacalność dalszego użytkowania* z powodu nadmiernego wzrostu jednostkowych kosztów utrzymania,
- aspektów innowacyjnych ze względu na nowatorską produkcję obiektów o *zwiększona wydajność, nowe właściwości, kompatybilność*-z powodu wystąpienia nowych wymagań użytkowych spowodowanych nową generacją rozwiązań.



Prof. dr hab. inż. Zbigniew SMALKO, professor of the Air Force Institute of Technology, Warszawa, as well as the University of Technology, Faculty of Transport. Specialist in reliability safety and maintainability of technical transport systems, operation problems of transport systems and devices. Author and co-author of more than 200 scientific publications. Member of: Polish Academy of Science (PAN) – Transport Committee, PTBiN, ERN SAFERLENET, ETNiŚT; Editor in Chief of Archives of Transport, Chair of Winter Schools of Reliability PAN. Organisator and member of several scientific and programme committees of international and national conferences and symposiums.