



СТРАТЕГИЯ ЗА „ГОРЕЩО” РЕЗЕРВИРАНЕ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ ОТ ТОПЛОТЕХНИЧЕСКИТЕ СИСТЕМИ

**Петър Казаков, Николай Колев,
Ефтим Ваяров**

Факултет „Техника и технологии“ - Ямбол
към Тракийски университет – Стара Загора
ул. "Граф Игнатиев" 38, 8600 гр. Ямбол,
Р. България

Анотация: Гарантирането на нормалната работа на елементите от топлотехническите системи (ТС) за продължителен срок от време изисква те да бъдат подложени на периодичен контрол и проверки на техническото им състояние. Често това е съпроводено с изменение на режима на работа и въвеждане в структурата на системата на нови, по-модерни устройства за работа, както и въвеждане на система от резервни устройства.

В доклада е предложена стратегия за „горещо“ резервиране на елементи от топлотехническите системи при тяхното поддържане и ремонт.

Ключови думи: „горещо“ резервиране, топлотехническа система

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Постигането на висока надеждност на сложни топлоенергийни системи зависи както от реализирането на висока надеждност на всеки от съставните й

STRATEGY FOR „HOT" RESERVING OF THE ELEMENTS ON THERMAL SYSTEMS

**Petar Kazakov, Nikolay Kolev,
Eftim Vajarov**

Faculty of Technics and Technologies of
Trakia University - Stara Zagora
str. "Graf Ignatiev", 38, 8600 Yambol,
Bulgaria

Abstract: Ensuring the normal operation of the elements of thermal systems (TC) for a long required to be subject to periodic control and verification of their technical condition. Often this is accompanied by a change of the operation mode and putting into the structure of the system of the new, modern working devices, and introducing a system of spare devices.

The report proposed a strategy for "hot" reserving of the elements on thermal systems in their maintenance and repair.

Keywords: "hot" reserving, thermal systems

1. INTRODUCTION

A high reliability of the complicated thermal energy system depends on the implementation of the reliability of each of its constituent elements and by the introduction of suitable

елементи, така и с въвеждането на подходяща структурна схема на резервиране.

Структурното резервиране изисква въвеждането на допълнителни (резервни) съставни към минималната необходима структура на системата, които да изпълняват същите функции, както и основните елементи. По такъв начин, чрез намаляване на вероятността за откази, може надеждността на топлотехническата система (ТС) да нарастне няколкократно.

В енергетиката, при наличие на опасности от аварии, с превантивна цел се прилагат следните видове резервиране на ТС [1,2,6]:

- постоянно („горещо“) резервиране – с натоварен („горещ“) резерв, при което резервните елементи или вериги на ТС са включени успоредно на основните;
- „студено“ резервиране - със заместване с ненатоварен („студен“) резерв, при което резервните елементи или вериги се включват само при отказ на основните;
- резервиране с постоянно включен резерв, работещ при облекчен режим до отказа на основни елементи на ТС.

Създаване на мрежа от резервни устройства се налага, когато:

- оборудването на една или няколко топлотехнически системи (ТС) е излязло от строя и комплексът не може да изпълнява функциите си;
- е необходимо компенсирание на износването на подсистемите;
- едно или няколко устройства са останали без модернизирана система за контрол и неуправлението на режима на тяхната работа води до нарушаване на техническите параметри.

2. СТРУКТУРА НА МЕЖДУРЕМОНТНИЯ ЦИКЪЛ (РЕСУРС) НА ЕЛЕМЕНТИТЕ ОТ ТОПЛОТЕХНИЧЕСКАТА СИСТЕМА

Системата ППР (за плано-

structural diagram of the redundancy.

Structural redundancy requires the introduction of additional (reserve) component to the minimum required structure of the system to perform the same functions as the main elements. Thus, by reducing the probability of failure may reliability of district heating system (TC) to increase repeatedly.

In energy, in case of accident hazards, for preventive purposes, the following types of backup TC [1,2,6]:

- permanently ("hot") backup - a charge ("hot") reserve where the reserves re-elements or circuits TC included parallel to the main;
- "cold" backup - replacing an unladen ("cold") reserve in co-lo spare parts or circuits are included only in the denial of the fundamental;
- booking a permanent reserve included working in a relaxed mode for recoil-essential elements of TC.

Creating a network of spare devices is necessary when:

- the equipment to one or more heat engineering systems (TC) ceased to function and the complex cannot perform its functions;
- it is necessary to compensate for wear of the subsystems;
- one or more devices are left without a modernized system for contacts and roll not management mode of their work distorts's technical parameters.

2. STRUCTURE OF BETWEEN-REPAIR CYCLE (RESOURCE) ELEMENTS HEAT ENGINEERING SYSTEMS

PRW system (for planned repairs, warning), depending on the type of plant and equipment and conditions of

предупредителни ремонти), в зависимост от вида на машините и съоръженията и условията на експлоатацията им, предвижда различна продължителност на междуремонтните цикли, а вътре в циклите - различен брой междуремонтни и междупрегледни периоди.

Структурата на *междуремонтния цикъл* обхваща същността и последователността от изпълнение на операциите, свързани с техническия надзор и ремонта на машините и съоръженията в периода от въвеждането им в експлоатация до първия основен ремонт или в периода между два последователни основни ремонта (Фиг. 1).

Планови са ремонтите, включени в структурата на ремонтния цикъл - планов преглед (П), текущ ремонт (ТР) и основен ремонт (ОР). Планово профилактичният преглед се включва в структурата на ремонтния цикъл, но по функционална предназначено и по същност се отнася към обема работи по профилактиката.

Междуремонтният цикъл T_{PC} (ресурсът между ремонтите) е времето за работа на съоръжението между два основни ремонта или от въвеждането му в експлоатация до първия основен ремонт. Състои се от **$m+1$** *междуремонтни периоди t_{PP}* (времето за работа между два последователни планови ремонта), всеки от които включва определен брой междупрегледни периоди t_{PP} (времето за работа между два последователни планови прегледа или между поредните прегледи и планови ремонти).

Продължителността на t_{PC} , t_{PP} и t_{PP} се определя по съответни методики съобразно с вида на машините и съоръженията и от условията на тяхната работа (Табл. 1).

При правилно организирана система ППР профилактиката в междуремонтното обслужване заема главно място в ремонтните работи. Добре провежданата профилактика не само изключва възможността от аварии, но и увеличава

operation provides for a different duration between-repair cycles and cycles within - different number between-repair cycles and between the review periods.

Structure *between the repairing cycle* covering the nature and sequence of execution of the operations related to the technical supervision and repair of machines and equipment in the period from the introduction into service until the first overhaul or between two consecutive major repair (Figure 1).

Planned repairs are included in the structure of the repair cycle - planning review (П), maintenance (ТР) and overhaul (ОР). Scheduled preventive examinations included in the structure of the maintenance cycle, but functional belongs in essence refers to the volume of work on prevention.

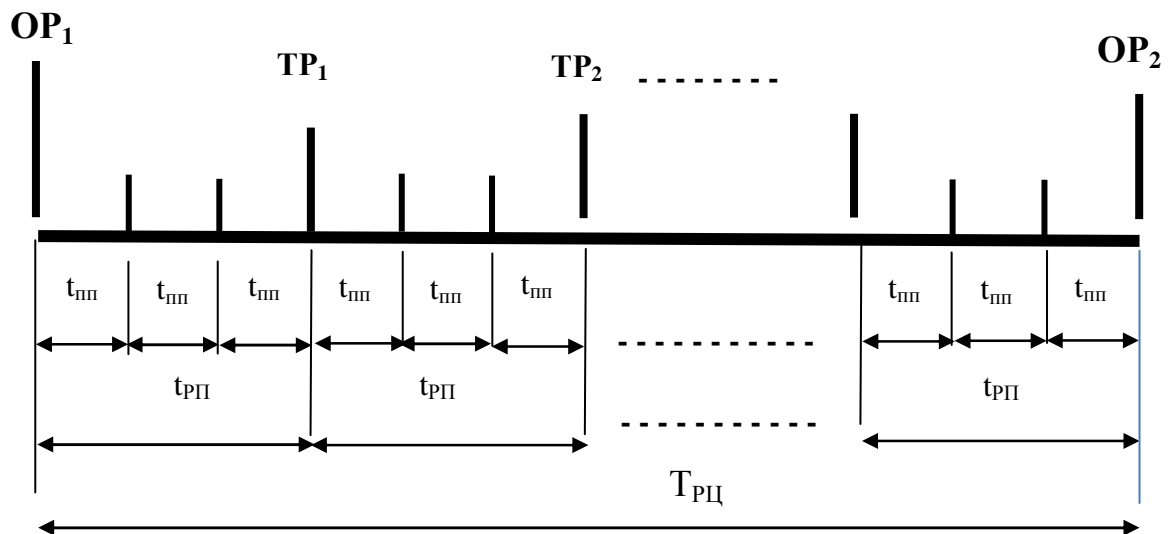
Between-repair T_{PC} cycle (resource between repairs) is the operating time of the equipment between two major repair or commissioning the first overhaul. It consists of **$m+1$** *between-repair t_{PP}* (operating time between two consecutive scheduled repair), each of which includes a number of periods between overview t_{PP} (operating time between two consecutive scheduled examination or between successive examinations and scheduled maintenance).

The duration of t_{PC} , t_{PP} and t_{PP} is determined by the relevant methods according to the type of plant and equipment and the conditions of their work (Tab. 1).

When properly organized system outages prevention in between-repair cycles service central to the works. Well-implemented prevention not only preclude accidents, but also

междуремонтния период, което спестява значителни средства и материали и съкращава времето за ремонтен престой.

increases the period between, saving significant resources and materials and shortens maintenance downtime.



Фиг. 1. Модел на примерна структурна схема на междуремонтен цикъл на елемент от топлотехническа система

Fig. 1. Model of a structural diagram of an exemplary between-repair cycle an element of thermal technical system

OP - основен ремонт;
TP – текущ ремонт;
П – планов преглед;
t_{ПП} - междупрегледен период;
t_{РП} - междуремонтен период;
T_{РЦ} - междуремонтен цикъл (ресурс между ремонтите);
m – максимален брой текущи ремонти в междуремонтния цикъл;
l - номер на поредния текущ ремонт ($i = 1, 2, 3, \dots, m$);

Препоръчвани структури на междуремонтните цикли за някои машини и съоръжения от ТС могат да се определят таблично (Табл. 1).

OP - overhaul;
TP - repair;
П - Planning Review;
t_{ПП} – between overview period;
t_{РП} - between-repair period;
T_{РЦ} - between-repair cycle (resource between repairs);
m - maximum number of repairs in between the repairing cycle;
l - serial number of repair ($i = 1, 2, 3, \dots, m$);

Recommended structures between-repair cycles for certain machinery and equipment from TC can be defined in tables (Tab. 1).

Таблица 1. / Table 1.

Структура на междуремонтния цикъл според вида на машините от ТС
Structure of the cycle between the repairing of the type of machines of TC

Наименование на машина/съоръжение Name of machine / equipment	Структура на ремонтния цикъл (О-основен; Т- текущ; П- планов преглед) Structure of the repair cycle (O-major; T going; n- planned review)	Брой ремонти: Number of repairs:	
		Планови Planning	Текущи Current
Енергетични машини и съоръжения, парни котли - отоплителни и промишлени бойлери Energetic machines and equipment, steam boilers - heating and industrial boilers	О-П-П-Т1-П-П-Т2-П-П-Т3-П-П-О	12	3
Компресори и помпи Compressors and pumps	О-П-П-П-Т1-П-П-П-Т2-П-П-П-Т3-П-П-П-Т4--П-П-П-Т5-П-П-П-О	18	5
Вентилатори Fans	О-П-П-П-П-Т1-П-П-П-П-Т2-П-П-П-П-Т3-П- -П-П-П-Т4-П-П-П-П-О	20	4
Помпи центробежни, дренажни, бутални дозаторни Centrifugal pumps, drainage, piston metering	О-П-П-Т1-П-П-Т2-П-П-Т3-П-П-Т4-П-П-Т5- -П-П-О	12	5

3. СТРАТЕГИЯ ЗА „ГОРЕЩО” РЕЗЕРВИРАНЕ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ ОТ ТОПЛОТЕХНИЧЕСКАТА СИСТЕМА

3.1. Представяне на процеса за поддържане на работоспособността на подсистемите на ТС

Поддържането на работоспособността на подсистемите на ТС при техническата им експлоатация (ТЕ) може да се разглежда като процес на тяхното излизане от изправно състояние и замаяната им с резервни подсистеми. При това ТЕ може да се представи като изразходване на техническия ресурс и наслагване на няколко процеса на възстановявания чрез ремонтни въздействия – ТР и ОР (Фиг. 1). Общият брой на тези ремонтни въздействия е равен на броя на подсистемите в ТС.

Статистическите характеристики на общия процес за поддържане на работоспособността на подсистемите на

3. STRATEGY „HOT” RESERVATION OF ITEMS BY HEAT ENGINEERING SYSTEMS

3.1. Presentation of a process for maintaining the operability of the sub-systems of TS

Maintaining the efficiency of the subsystems of TC in technical exploitation (TE) can be seen as a process of their exit from executive-equal status and replacing them with spare subsystems. In addition, TE can be represented as the removal of technical resources and the superimposition of several recovery process through repair effects - TP and OP (Fig. 1). Total number of repair effects is equal to the number of subsystems in TC.

Statistical characteristics of the overall process to maintain the efficiency of the subsystems of the TC

ТС могат да се определят, ако са известни статистическите характеристики на интервалите от времена, съставляващи процеса на експлоатация и възстановяване [3,4].

Интервалите от време между събитията TP и OP представляват времето за “технически живот” (отработване) на отделните подсистеми на ТС.

Необходимият ресурс между два последователни основни ремонта $T_{PMP} \equiv T_{PL}$ и техническия ресурс T_{PKE} до края на експлоатацията се определят по изразите [5]:

$$T_{PMP} = \int_{t_0}^{T_{opt}} P_{BP}(t) dt, \quad (1)$$

$$T_{PKE} = \int_0^{T_{PMP,i}} P_{BP}(t) dt, \quad (2)$$

където $P_{BP}(t)$ е вероятността за безотказна работа на ТС в междуремонтния интервал;

T_{opt} - оптималният момент за извършване на OP_2 на системата.

От това следва, че за описване на общия процес по осигуряване на текущата надеждност на ТС трябва да се състави математически модел на излизането на отделните подсистеми от работоспособно състояние.

3.2. Моделиране на оценката на текущата надеждност на ТС

Като модел на излизането на отделните подсистеми на ТС от работоспособно състояние може да се използва статистическото описание на времената за работата им до момента на техния отказ. Това статистическо представяне дава възможност да се определи математическото очакване и дисперсията на техническия ресурс T_p .

Изследването на процеса на моделиране на оценката на текущата надеждност на ТС

can be determined, if known statistical characteristics of the intervals composing process operation and recovery [3,4].

The intervals between events TP and OP represent time "technical life" (practicing) the individual subsystems of the TC.

The resources required between two successive overhaul $T_{PMP} \equiv T_{PL}$ and technical resource T_{PKE} to the end of operation are determined by the expressions [5]:

Where $P_{BP}(t)$ is the probability of reliable operation of the TC in between the repairing interval;

T_{opt} - The optimal time for carrying out OP_2 the system.

It follows that to describe the overall process of providing current-credibility of the TC must be drawn mathematical model of the release of the various subsystems of the working condition.

3.2. Modeling assessment of the reliability of the current TC

As a model for the release of individual subsystems of TC working condition can be used statistical description of times their work until their withdrawal. This statistical representation makes it possible to determine the mathematical expectation and dispersion of technical resources T_p .

The examination of the modeling process of evaluation of reliability of TC is possible by examining the

е възможно чрез разглеждане на примерен обект за транспортиране на топлоносител (ОТТ).

Общата надеждност на системата на ОТТ (Фиг. 2), съставена от отделни елементи (подсистеми и възли), ще се определя от надеждността на съответните елементи и от начина на тяхното свързване и функциониране.

В зависимост от това, как са обединени тези елементите, системата може да е: обикновена (без резервиране) и сложна (с резервиране). Надеждността на резервните елементи за периода на работа (TE) е в зависимост от момента на включването им в работа. При това се получават различни закони на разпределение на вероятността за отказ на елементите на ОТТ, съответстващи на нерезервиран режим и на резервиран режим на работа.

Основният подход за повишаване на надеждността на разглеждания ОТТ е резервиране на най-ненадеждните елементи на обекта.

От технологична гледна точка броят на резервните елементи M_{PE} е много важен и е необходимо да се установи връзка между характеристиките на надеждност на ОТТ и M_{PE} .

За оценката на характеристиките на надеждността е необходимо да се извършат изпитания (експеримент) с ТС, при което се получават твърде сложни математически модели.

Ето защо, още при проектирането на ОТТ следва да се състави достатъчно адекватен модел за надеждно функциониране, основан на следния подход.

ОТТ, като сложна ТС, е структуриран от множество елементи, част от които работят продължително време, докато времето за безотказна работа на други елементи е ограничено. Но, точно тези елементи определят надеждността на разглеждания обект като цяло.

exemplary object for transporting the heat carrier (ОТТ).

Overall system reliability of ОТТ (Fig. 2) consists of individual elements (subsystems and assemblies) will be determined by the reliability of the corresponding and the mode of their connection and operation.

Depending on how these elements are combined, the system can be: plain (without reservation) and complex (with reservations). Reliability of spare parts for the time period (TE) depends on the time of their inclusion in the work. This resulted in different laws of distribution of the failure probability of the elements of ОТТ corresponding unreserved and reserved mode operation.

The basic approach to improving the reliability of the ОТТ is reserving the most unreliable elements of the site.

From a technological perspective, the number of spare parts M_{PE} is very important and it is necessary to establish a connection between the characteristics of reliability ОТТ and M_{PE} .

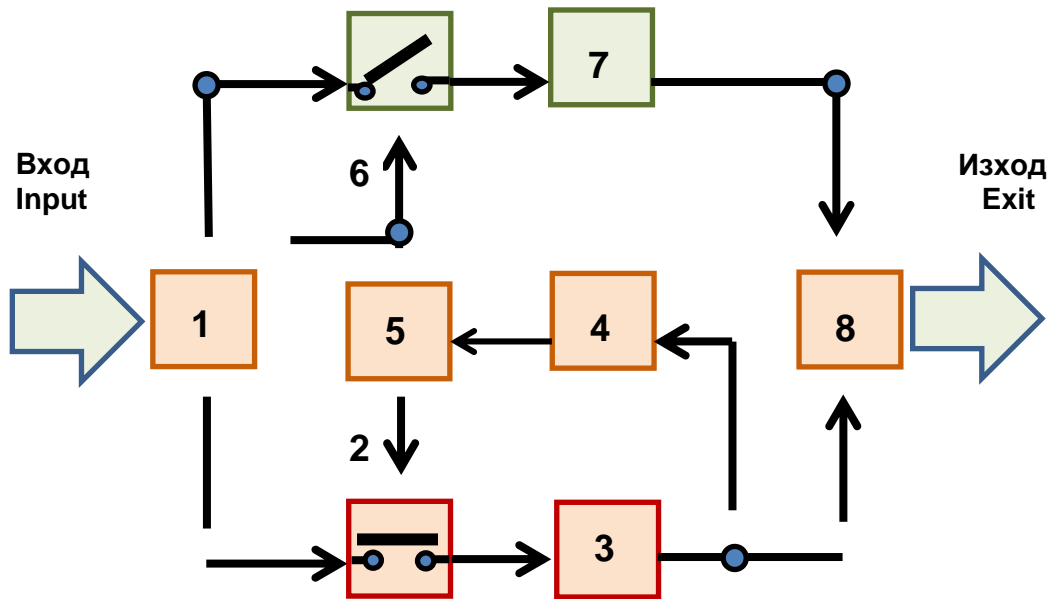
For the performance evaluation of reliability is necessary to carry out tests (experiment) with ТС, yielding very complex mathematical models.

Therefore, by design ОТТ should be drawn sufficiently adequate model for reliable operation based on the following approach.

ОТТ as complex ТС is structured by many elements, some of which work for a long time, until the time for reliable operation of the other elements is limited. But, it is these elements reliability of the site as a whole.

Втори (n-ти) резервен клон

Second (n-th) spare brunch



Фиг. 2. Структурна схема на ТС (ОТТ) с възможност за резервиране
 Fig. 2. Structural diagram of TC (OTT) with the possibility of booking

- 1 - общ вход на резервирания ОТТ;
- 2 - включване на основния клон на ОТТ;
- 3 - основен клон на ОТТ;
- 4 - станция за управление резервния възел за контрол на ОТТ;
- 5 - диспечерска станция за контрол на аварийните ситуации;
- 6 - включване на резервния клон на ОТТ;
- 7 - резервен клон на ОТТ;
- 8 - общ товар на резервирания ОТТ

- 1 - common entrance reserved OTT;
- 2 - include the main branch of OTT;
- 3 - the main branch of OTT;
- 4 - station management backup node control OTT;
- 5 - dispatching station for control of emergency situations;
- 6 - Including the reserve branch of OTT;
- 7 - reserve branch of OTT;
- 8 - total load of the reserved OTT

Ето защо следва да се определи каква част от общия брой елементи M_o влияе на надеждността M_{EBH} на ТС относно аварии и катастрофи, поради което трябва да се въведе понятието „критичен коефициент на надеждност“ α_{KKH} , определен от:

It is therefore necessary to determine what M_o portion of the total number of elements affect the reliability M_{EBH} of the TC on emergencies and disasters should therefore introduce the concept of "critical reliability coefficient" α_{KKH} defined by:

$$\alpha_{KKH} = \frac{M_{EBH}}{M_o}, \quad (3)$$

Броят на резервните елементи M_{PE} на фиг. 2 е свързан с кратността на резервиране n_{KP} чрез израза:

The number of spare elements M_{PE} in Fig. 2 is related to the multiplicity of the booking n_{KP} by the expression:

$$n_{KP} = \frac{M_{PE}}{M_{EBH}} = \frac{M_{PE}}{\alpha_{KKH} \cdot M_O}. \quad (4)$$

В ТС (ОТТ) ще липсва резервиране при $n_{KP} = 0$. Може да приемем, че нерезервираните системи за управление са съставени от много независими функционални елементи с интензивност на потока от откази (ИПО) със стойност $\omega_{\Phi E}(\Delta t)$. При това този поток следва да притежава свойствата *стационарност*, *ординарност* и *отсъствие на последствия* (Поасонов поток от откази).

При тези условия *вероятността за безотказна работа* (ВБР) на отделен функционален елемент $P_{БР, \Phi E}(\Delta t)$ от ТС за календарен интервал от време $\Delta t = 1 \text{ год.}$ може да се определи от израза:

$$P_{БР, \Phi E}(\Delta t) = \exp[-\omega_{\Phi E}(\Delta t) \cdot \tau_{\Sigma, \Phi E}], \quad (5)$$

където $\tau_{\Sigma, \Phi E}$ е сумарно отработено време от функционален елемент (ФЕ) за календарен интервал от време Δt .

Според теорията на надеждността, при сумиране на голям брой Поасонов потоци от откази се получава отново общ Поасонов поток. Ето защо, за общата вероятност за безотказна работа на ТС (ОТТ) може да приемем, че е разпределена по експоненциален закон от вида:

$$P_{БР, ТИС}(\Delta t) = \exp[-\omega_{ТИС}(\Delta t) \cdot \tau_{\Sigma, ТИС}(\Delta t)], \quad (6)$$

където $\omega_{ТИС}(\Delta t) = \sum_{i=1}^N \omega_{\Phi E, i}(\Delta t)$; $\tau_{\Sigma, ТИС}(\Delta t)$ е сумарната отработка на цялата резервирана ТС за календарно време Δt .

Резервиране, при което моментът на въвеждане в действие на резервиранения елемент зависи от момента на отказ на основния елемент, прави потока от откази на ТС в *поток с последствия* и затова той

In TC (OTT) will miss at booking. $n_{KP} = 0$ You can assume that the non-reserved control systems are composed of many independent functional elements with flow rate of refusals (IPO) value $\omega_{\Phi E}(\Delta t)$. Moreover, this flow should have the properties *stationarity*, *ordinariness* and *lack of consequences* (Poisson stream of refusals).

Under these conditions, the probability of trouble-free operation on a separate functional element $P_{БР, \Phi E}(\Delta t)$ of the TC calendar time interval can be $\Delta t = 1 \text{ год.}/\text{year}$ defined by the expression:

where $\tau_{\Sigma, \Phi E}$ the total time spent by the functional element (FE) for calendar time. Δt

According to the theory of reliability when adding a large number of Poisson streams failures are retrieved general Poisson stream. Therefore, the overall probability of reliable operation of the TC (OTT) may assume that it is distributed according to an exponential law of the form:

where $\omega_{ТИС}(\Delta t) = \sum_{i=1}^N \omega_{\Phi E, i}(\Delta t)$; $\tau_{\Sigma, ТИС}(\Delta t)$ is the sum of all otработка reserved TC calendar time Δt .

Reservation in which the timing of implementation of the reserved element depends on the time of failure of the main components, the flow of failures in TC *flow consequences*, so it is not a Poisson

не е Поасонов поток.

За ТС с кратност на резервирането n_{KP} имаме следните видове резервиране:

- “горещо” резервиране – с натоварено състояние на резервните клонове;
- “студено” резервиране – с полунатоварено или ненатоварено състояние на резервните клонове.

Приема се, че основният и резервният елементи са еднакви, като в резервно състояние опасността за отказ е по-голяма, отколкото в работно състояние. При отказ на основния елемент на мястото му се включва резервният елемент, а основният започва да се възстановява и остава в резерв. В този момент основният и резервният елементи си разменят ролите.

Разстоянията между съседните моменти от възстановяванията се нарича цикъл. Всички цикли са независими и с еднакво разпределение. Отказ на двойката настъпва, когато, в който и да е цикъл от време на възстановяване на единия елемент настъпва отказ на другия.

След поставяне на горното условие, следва да се определи основния параметър на надеждността - вероятността за безотказна работа на ТС с “горещо” резервиране.

3.3. Вероятност за безотказна работа на ТС с “горещо” резервиране

Вероятността за безотказна работа на ТС може да се определи от израза:

$$P_{БР,ТС}(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n_{sp}+1} [1 - P_{БР,i}(t)], \quad (7)$$

където $P_{БР,i}(t)$ е вероятността за безотказна работа на i -тия резервен клон на ТС;

i - номерът на резервната система на общата ТС.

При еднакви характеристики на

stream.

ТС of multiplicity of booking n_{KP} have the following types of backup:

- “hot” backup - with a load of spare branches;
- “cold” backup - semi laden or unladen condition of spare branches.

It is assumed that the primary and backup units are the same as in the backup position risk for failure is higher than in working condition. Upon failure of the primary element in place include the replacement unit and the main starts to recover and remain in reserve. At this point the primary and backup units switch roles.

Distances between adjacent points of refunds is called cycle. All cycles are independent and uniform distribution. Cancel the pair occurs when in any cycle during recovery of one element occurs denial of the other.

After placing the above condition should determine the basic parameter of reliability - the probability of reliable operation of the TC with “hot” backup.

3.3. Chance of reliable operation of the TC with “hot” backup

Probability of reliable operation of the TC can be determined by the expression:

where $P_{БР,i}(t)$ is the probability of trouble-free operation of the i -th reserve branch of the TC;

i - the number of the backup system overall TC.

In the same characteristics of the

надеждността на резервните клонове на ТС се изпълнява условието:

$$P_{BP,i}(t) = P_{BP,OKC}(t) \forall i, \quad (8)$$

където $P_{BP,OKC}(t)$ е вероятността за безотказна работа на основния клон на системата.

С отчитане на изрази (5) и (7) се получава, за календарен интервал $\Delta t = 1 \text{ год.}$, уравнението на вероятността за безотказна работа на ТС:

$$P_{BP,i}(t) = P_{BP,OKC}(t) \forall i, \quad (9)$$

където n_{kp} е кратността на резервирането.

Функцията на разпределение на момента за настъпване на отказ на резервираната ТС се определя от уравнението:

$$Q_0(t) = 1 - P_{BP,ТИС}(t) = \left\{ 1 - \exp\left[-\omega_{OKC}(\Delta t) \cdot \tau_{\Sigma,ТИС}\right] \right\}^{n_{kp}+1}. \quad (10)$$

Плътноста на разпределението на вероятността за безотказна работа на ТС е:

$$f(t) = Q'_0(t) = \omega_{OKC}(\Delta t) \cdot (n_{kp} + 1) \cdot \left\{ 1 - \exp\left[-\omega_{OKC}(\Delta t) \cdot \tau_{\Sigma,ТИС}\right] \right\}^{n_{kp}} \times \exp\left[-\omega_{OC}(\Delta t) \cdot \tau_{\Sigma,ТИС}\right]. \quad (11)$$

Целесъобразно е Поасоновия поток да се разглежда като нестационарен Поасонов процес с разпределение на вероятността за безотказна работа на ТС:

$$P_{BP,ТИС}(t) = \exp\left[-\int_0^{T_{PKE}} \omega_{ТИС}(\Delta t) dt\right], \quad (12)$$

където $\omega_{ТС} \Delta(t)$ е текущата интензивност на потока от откази на ТС.

Разглежданата в (11) текуща интензивност на потока от откази $\omega_{ТС} \Delta(t)$ при произволно разпределение може да се определи от израза:

$$\omega_{ТИС}(\Delta t) = \frac{f(t)}{P_{BP,ТИС}(\Delta t)}. \quad (13)$$

reliability of reserve branches of TC fulfills the condition:

where $P_{BP,OKC}(t)$ is the probability of reliable operation of the main branch of the system.

Taking into account the expressions (5) and (7) is obtained for calendar interval, the equation of the probability $\Delta t = 1 \text{ год.}$ /year of reliable operation of the TC:

where n_{kp} is the multiplicity of booking.

Distribution function of the time of occurrence of the failure of the reserved TC is determined by the equation:

Density function of the probability of reliable operation of TC is:

It is a Poisson stream is regarded as a non-stationary Poisson process with probability distribution for reliable operation of the TC:

where $\omega_{ТС} \Delta(t)$ is the current flow rate of refusals to TC.

Question in (11) the current flow rate of refusals $\omega_{ТС} \Delta(t)$ at an arbitrary distribution can be determined from the expression:

От изразите (8), (10) и (12) се получава окончателно уравнението за текущата интензивност на потока от откази $\omega_{TC}\Delta(t)$ при произволно разпределение на потока от откази и n_{kp} - та кратност на резервиране на ТС:

$$\omega_{TC}(\Delta t) = \frac{\omega_{OKC}(\Delta t) \cdot (n_{kp} + 1) \left\{ 1 - \exp[-\omega_{OKC}(\Delta t) \tau_{\Sigma, TC}] \right\}^{n_{kp}} \exp[-\omega_{OKC}(\Delta t) \tau_{\Sigma, TC}]}{1 - \left\{ 1 - \exp[-\omega_{OKC}(\Delta t) \tau_{\Sigma, TC}] \right\}^{n_{kp} + 1}} \quad (14)$$

From the expressions (8), (10) and (12) give the final equation for the current flow rate of refusals $\omega_{TC}\Delta(t)$ at an arbitrary allocation of flow failures and n_{kp} so multiplicity of booking for TC:

3.4. Статистически характеристики на времето за безотказна работа t_H

Статистическите характеристики на времето за безотказна работа (отработка) t_H на ТС са:

Математическото очакване M_{t_H} :

$$M_{t_H}(\Delta t) = \frac{n_{kp} + 1}{\omega_0(\Delta t)} \sum_{j=0}^{n_{kp}} (-1)^j \frac{n_{kp}!}{(n_{kp} - j)! \cdot j! \cdot (j + 1)^2}, \quad (15)$$

Дисперсията D_{t_H}

$$D_{t_H}(\Delta t) = \frac{2(n_{kp} + 1)}{\omega_0^2(\Delta t)} \sum_{j=0}^{n_{kp}} (-1)^j \frac{n_{kp}!}{(n_{kp} - 1)! \cdot j! \cdot (j + 1)^3} - M_{t_H}^2, \quad (16)$$

Квантилът $t_H^{\alpha_T}$ от ред α_T

$$t_H^{\alpha_T} : \alpha_T = 1 - \exp \left[- \int_0^{T_{PKE}} \omega(\Delta t) dt \right]. \quad (17)$$

3.4. Statistical characteristics of uptime t_H

Statistical characteristics of uptime (otrabotka) t_H of TC are:

Mathematical expectation M_{t_H} :

Dispersion D_{t_H}

Kvantilat $t_H^{\alpha_T}$ Row α_T

4. ИЗВОДИ

1. Законът на Поасон е практически удобен, тъй като потокът от събития (откази) няма последствия (дори и ако този поток е нестационарен).

2. Чрез закона на разпределение за "горещото" резервиране и съответните математически изрази за функцията на разпределение $F(t) = 1 - P_{BP}(t)$, както и плътността на разпределение $f(t)$, може да се получат статистическите характеристики на времето за безотказна работа (отработка) t_H на ТС за календарен интервал от време $\Delta t = 1 \text{ год}$.

4. CONCLUSIONS

1. Poisson law is practically convenient, because the flow of events (failures) are no consequences (even if the flow is non-stationary).

2. By the law of distribution of "hot" backup and relevant mathematical expressions for the distribution function $F(t) = 1 - P_{BP}(t)$ and density distribution of minutes $f(t)$, you can obtain the statistical characteristics of uptime (work off) t_H of TC for calendar interval time $\Delta t = 1 \text{ год}$.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. *Петров, Н.* (2014) Принцип на целесъобразността за структурата на кибернетичната система и нейната надеждност. Сп. „Наука, образование, култура”, бр. 4, с. 19-29.
2. Решетов, Д. и др. (1988) Надежность машин. Москва, «Высшая школа».
3. *Petrov, N.* (2014) An Indicator of Reliability in th Space Dimensions. Bulletin of Society for Mathematical Services and Standards (BMSA). pp. 120-125.
4. *Petrov, N.* (2014) Method of the Excession for Resource Researches of Technical Economical Systems. Bulletin of Society for Mathematical Services & Standards, Vol. 3, № 2, pp. 101-112.
5. *Petrov, N.I., Sn. Yordanova.* (2000) Extrapolation Prediction of the Technical Pesource via For-ced Testing. IEEE, WSES, CSCC-MSP-MCME 2000, Athens, Greece, p.p. 353-356.
6. *Petrov, N.* (2013) About Philosophical Sence of the Category Reliability. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), ISO 9001-2008, vol. 2, issue 5, pp. 59-63.

5. REFERENCES

1. *Petrov, N.* (2014) Principle of relevance to the structure of the cyber system and its reliability. Magazine., Science, Education, Culture "issue. 4, pp. 19-29.
2. *Reshetov, D. et al.* (1988) Nadezhnosty machine. Moscow «Vysshaya School».
3. *Petrov, N.* (2014) An Indicator of Reliability in the Space Dimensions. Bulletin of Society for Mathematical Services and Standards (BMSA). pp. 120-125.
4. *Petrov, N.* (2014) Method of the Excession for Resource Researches of Technical Economical Systems. Bulletin of Society for Mathematical Services & Standards, Vol. 3, № 2, pp. 101-112.
5. *Petrov, N.I., Sn. Yordanova.* (2000) Extrapolation Prediction of the Technical Pesource via For-ced Testing. IEEE, WSES, CSCC-MSP-MCME 2000, Athens, Greece, 10.07.2000, pp 353-356.
6. *Petrov, N.* (2013) About Philosophical Sence of the Category Reliability. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), ISO 9001-2008, vol. 2, issue 5, sept. 2013, pp. 59-63.

