

## A METHOD FOR MATHEMATICAL OPTIMIZATION OF THE TERMS FOR PROPHYLAXES OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS IN ACCORDANCE WITH THE LEVEL OF THEIR RELIABILITY REQUIRED

*Georgiev Anton, Technical University of Varna, [georgiev\\_an@tu-varna.bg](mailto:georgiev_an@tu-varna.bg)*

*Nikolov Nikolay, Technical University of Varna, [nikolay.nikolov@tu-varna.bg](mailto:nikolay.nikolov@tu-varna.bg)*

*Toncho Papanchev, Technical University of Varna, [t.papanchev@tu-varna.bg](mailto:t.papanchev@tu-varna.bg)*

**Abstract:** This article suggests and mathematically founds a new method for complex technical systems prophylaxes terms optimization in accordance with the level of reliability that they have to perform. For presenting new ideas are derived analytical dependencies suitable for practical application. On the basis of the analytical expressions proposed experimental studies are performed, the findings of which are located in the last section of the article.

**Keywords:** operational reliability; prophylaxes of technical systems; maintenance of electronic devices.

## МЕТОД ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА СРОКОВЕТЕ ЗА ПРОФИЛАКТИКА НА СЛОЖНИ ТЕХНИЧЕСКИ СИСТЕМИ В СЪОТВЕТСТВИЕ С НЕОБХОДИМОТО РАВНИЩЕ НА ТЯХНАТА НАДЕЖДНОСТ

*Антон Славчев Георгиев, Технически университет – Варна, [georgiev\\_an@tu-varna.bg](mailto:georgiev_an@tu-varna.bg)*

*Николай Иванов Николов, Технически университет – Варна, [nikolay.nikolov@tu-varna.bg](mailto:nikolay.nikolov@tu-varna.bg)*

*Тончо Христов Папанчев, Технически университет – Варна, [t.papanchev@tu-varna.bg](mailto:t.papanchev@tu-varna.bg)*

**Абстракт:** В статията е предложен и математически аргументиран нов метод за оптимизиране сроковете на профилактика на сложни технически системи в съответствие с равнището на надеждност, което те трябва да притежават. За представяне на новите идеи са изведени аналитични зависимости, удобни за практическо приложение. Въз основа на предложените аналитични изрази са направени експериментални изследвания, резултатите от които са поместени в последния раздел на статията.

**Ключови думи:** експлоатационна надеждност, профилактика на технически системи, техническо обслужване на електронни апаратури.

### Специфика на проблема

В процеса на техническо обслужване би трябвало субективният фактор да въздейства на техническите системи, пропорционално на равнището на тяхната деградация. Възстановителните въздействия върху техническите обекти по принцип са също толкова разнообразни, колкото и факторите, причиняващи /ускоряващи/ деградацията им. Разнообразни са и критериите, по които възстановителните въздействия биха могли да бъдат диференцирани. За целите на направения в тази статия анализ, по-съществено значение има класифицирането им според момента, в който биват стартирани възстановителните процедури. От тази гледна точка те са сепарирани в две обобщаващи групи – профилактични възстановявания (със субективно установена нужда от намеса) и аварийни възстановявания (с обективно съществуваща, видима нужда от ремонт).

Профилактиката на техническите системи е съвкупност от предварителни (превантивни) прегледи на отделни елементи и блокове, контрол и регулиране на променените па-

раметри, замяна и ремонт на отказалите компоненти и редица други мероприятия, целящи повишаване нейната експлоатационна надеждност. Профилактичните дейности се прилагат в строго определена последователност (която може да се опише чрез многократно разклонен алгоритъм), специфична за различните технически системи, като например: изключване от експлоатация на системата, оглед на нейните модули и елементи, измерване на контролираните параметри - ако всички параметри са в допустимите граници - включване на системата в експлоатация; ако някой/някои от параметрите са извън допустимите граници - провеждане на допълнителни измервания [1], [2] (преди и/или след демонтажа на съответните модули), диагностика, локализация на отказалия блок/елемент, демонтаж, ремонт на отказалия блок или подмяната му с нов, монтаж, регулиране и настройка на параметрите до достигане на допустимите граници, включване на системата и функционален контрол. За съжаление натрупаният практически опит показва, че профилактичните възстановявания са съпроводени с поне три нежелани ефекта:

- значителни материални разходи, поради необходимостта от използване на висококвалифициран труд и скъпа специализирана техника;
- влошаване на коефициента на готовност<sup>1</sup>, поради намаляване на времето, в което техническата система функционира;
- поява на “следпрофилактични” откази.

За да се намали влиянието на изброените негативни явления е необходимо да бъдат оптимизирани както организацията и сроковете за профилактика, така и съдържанието и последователността на профилактичните дейности. Изброените дейности са основните атрибути, характеризиращи стратегията за техническо обслужване.

Въведеното понятие „стратегия за техническо обслужване” може да бъде формулирано като регламентирана система от правила, включена в състава на техническото обслужване, съгласно която се вземат решения, касаещи: обема и състава на профилактичните и аварийните възстановявания на техническите системи, големината на срока за профилактика, началния момент за отчитане на срока за профилактика, начинът за редуване на профилактичните и аварийните възстановявания, доминиращия критерий за вземане на решения относно вида и обема на профилактичните дейности и др. За съжаление, в теорията на надеждността не се поставя необходимият акцент върху проблемите, касаещи профилактичните дейности, а проблемите, свързани с обема и състава на профилактичните и аварийните възстановявания, срока за профилактика и началния момент за отчитането му, подходът при редуването на профилактичните и аварийните възстановявания, както и критериите за вземане на решения относно обхвата на възстановяванията, се решават интуитивно - според субективната преценка на екипа, извършващ техническото обслужване, решения, базирани почти винаги на априорен емпиричен опит. Информацията, натрупана от априорен емпиричен опит има конкретен, силно индивидуален характер, поради разнообразието на техническите системи (по отношение на приложение, структура, елементна база, степен на резервиране на елементи и модули в нея, ролята ѝ за съхраняване на човешки живот и др.). Ето защо тази информация няма универсална приложимост, което е основната причина да бъдат допускани грешки при техническото обслужване на сложните технически обекти. Грешки, предизвикващи сериозно понижаване на тяхната експлоатационна надеждност.

### **Същност на метода**

Съществуват различни методи за определяне на сроковете за провеждане на периодични превантивни възстановителни дейности на техническите системи [3], които си основават на оптимизиране на един или друг надеждностен показател. Тъй като постигането

<sup>1</sup> при системи с висока експлоатационна надеждност и необосновано малки срокове на профилактика.

на оптимален срок на профилактика<sup>2</sup> е многоцелева задача, критериите за оптималност биха могли да бъдат различни: максимална стойност на коефициента на готовност, минимални разходи за профилактично обслужване при осигуряване на необходимото ниво на експлоатационната надеждност, минимална вероятност за възникване на следпрофилактични откази [4], максимален профит [5], [6] от експлоатацията на техническата система и др. Всеки един от методите, основаващи се на определен частен критерий има своите предимства, но общият им недостатък е, че оптималната профилактика по един частен критерий се оказва нецелесъобразна по друг/други частни критерии. В настоящата статия се предлага нов изчислителен метод за определяне на оптималния срок за профилактика, основаващ се на данни за възникналите откази в процеса на експлоатация на конкретната техническа система, при конкретните условия на експлоатация и режими на работа. Разработеният метод гарантира такъв срок на профилактика, при който се осигурява необходимото (предварително зададено) равнище на експлоатационната надеждност. Новият метод осигурява отличен баланс между разходите за профилактично обслужване и високата надеждност, с други думи - гарантира нужното ниво на експлоатационната надеждност, при минимални разходи за техническо обслужване.

Натрупаният опит [7], [8], [9], [10], [11] в изследването на експлоатационната надеждност на сложни технически системи ни дава основание да обобщим два детерминиращи принципа, прилагани при фиксирането на сроковете на профилактика. В съответствие с техните характеристики, тук те са наречени „регламентен” и „календарен”.

При регламентен принцип за определяне на сроковете на профилактика, профилактичните дейности се провеждат след точно определено време на експлоатация.

При прилагане на календарен принцип, отработеното време между две съседни профилактики не е от значение (профилактичните дейности се провеждат след точно определен календарен период от време - примерно на всеки 6 месеца). Практиката показва [7], [8], че този подход е целесъобразен при наличие на голям брой параметрични откази. Определящи за надеждността на съвременните електронни системи (както и за надеждността на преобладаващата част от съвременните сложни технически системи като цяло) се явяват внезапните откази. Това прави регламентния принцип за определяне сроковете на профилактика, по-подходящ при реализирането на техническото обслужване на съвременните електронни системи. Прецизното изчисляване на сроковете изисква внасяне на определени корекции в резултата, получен при прилагането на регламентния принцип. Корекциите се налагат поради наличието на временни прекъсвания на експлоатацията на техническата система, дължащи се на краткотрайната неработоспособност поради възникване на внезапни откази в периода между две поредни профилактики. При определяне стойността на коригиращата компонента са взети под внимание както статистическата точкова оценка  $T_B^*$  на средното време за аварийно възстановяване  $T_B$  и статистическата точкова оценка  $\omega(t)^*$  на параметъра на потока на отказите<sup>3</sup>  $\omega(t)$ , така и големината на предварително изчисления (съгласно регламентния принцип) срок на профилактика. Статистическите точкови оценки  $T_B^*$  и  $\omega(t)^*$  се изчисляват с помощта на статистическите данни за отказите, натрупани и обработени за периода на

<sup>2</sup> В настоящата статия, съвкупността от периодични превантивни възстановителни дейности на техническите системи е обобщена чрез добилния популярност термин „профилактика” на техническите системи. Коректно е все пак да се отбележи, че превантивните възстановителни дейности включват твърде широк кръг дейности. Тук ще бъдат дискутирани проблеми, касаещи само тази част от тях, които се провеждат през определен период от време.

<sup>3</sup> Параметърът на потока на отказите  $\omega(t)$  е основен показател, оценяващ безотказността на възстановимите електронни изделия. По своята физическа същност той е близък до показателя интензивност на отказите, използван при оценяването на невъзстановимите изделия. Изразява се чрез границата на отношението на вероятността за появата дори и само на един отказ през разглеждания период от време, към големината на този период от време, при условие, че периодът от време е безкрайно малък  $\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t, t + \Delta t)}{\Delta t}$ .

нормална експлоатация.

Предявените изисквания по отношение на надеждността на техническите системи най-често се формализират чрез нормиране на вероятността за безотказната им работа - поставя се изискване, в процеса на експлоатация тяхната вероятност за безотказна работа да не бъде по-малка от определена, предварително зададена стойност  $P(t)_{\text{ЗАД}}$ .

Основната идея на разработения метод е, че като се има предвид конкретната стойност на  $P(t)_{\text{ЗАД}}$  и се използва изчислената статистическа точкова оценка на параметъра на потока на отказите  $\omega(t)^*$  за конкретната техническа система, при конкретните условия на експлоатация и режими на работа, може да се определи оптималната стойност на срока на профилактика. За реализиране на тази идея е използван постулата, че профилактичните възстановявания водят до пълно възстановяване на изправността, т.е. след завършване на поредното профилактично възстановяване, техническата система възстановява изцяло своята работоспособност. Това означава, че вероятността техническата система да бъде в изправно състояние, в периода от време  $T_{\text{ПР}}$  между две поредни профилактики, може да се моделира математически чрез израза

$$P(t_n + T_{\text{ПР}}) = e^{-\int_0^{t_n + T_{\text{ПР}}} \omega(t) dt} . \quad (1)$$

Вероятността техническата система да бъде в технически изправно състояние, в периода от време между две поредни профилактики, може да се изрази и чрез произведение на една пълна и една условна вероятност

$$P(t_n + T_{\text{ПР}}) = P(t_n) \cdot P(T_{\text{ПР}} | t_n) . \quad (2)$$

Десните части на последните два израза могат да бъдат приравнени, при което да се запише равенството

$$P(t_n) \cdot P(T_{\text{ПР}} | t_n) = e^{-\int_0^{t_n + T_{\text{ПР}}} \omega(t) dt} . \quad (3)$$

От равенство (3) лесно може да се изрази условната вероятност

$$P(T_{\text{ПР}} | t_n) = e^{-\int_{t_n}^{t_n + T_{\text{ПР}}} \omega(t) dt} . \quad (4)$$

На практика изразената условна вероятност би трябвало да отговаря на предявените изисквания по отношение на надеждността за конкретната техническата система. Това означава, че трябва да бъде изпълнено условието „в процеса на експлоатация вероятност за безотказна работа на апаратурата да не бъде по-малка от желаната, предварително зададена стойност  $P(t)_{\text{ЗАД}}$ ”, т.е.

$$P(T_{\text{ПР}} | t_n) \geq P(t)_{\text{ЗАД}} . \quad (5)$$

Оптимизационният принцип „минимални разходи за профилактично обслужване при осигуряване на необходимото ниво на експлоатационната надеждност на техническата система” изисква при определянето на срока на профилактика да бъде разгледан случаят, при който се изпълнява равенството

$$P(T_{\text{ПР}} | t_n) = P(t)_{\text{ЗАД}} . \quad (6)$$

Очевидно, десните части на изведените аналитични изрази (4) и (6) биха могли да се приравнят, при което да се запише, че

$$P(t)_{\text{ЗАД}} = e^{-\int_{t_n}^{t_n + T_{\text{ПР}}} \omega(t) dt} . \quad (7)$$

Кое от своя страна означава, че

$$\int_{t_n}^{t_n+T_{\text{ГП}}} \omega(t) dt = -\ln P(t)_{\text{ЗАД}}. \quad (8)$$

Изведената аналитична зависимост е ценна с това, че тя показва, че оптималната големина на сроковете за профилактика на сложни технически системи може да се променя в зависимост от тяхната надеждност. Благодарение на нея, сроковете за профилактика за показани в пряка зависимост от параметъра на потока на отказите на конкретната техническа система, за конкретния период от време предхождащ профилактичното обслужване, при конкретните условия на работа и режими на експлоатация.

Изменението на параметъра на потока на отказите, в общия случай, може да се моделира чрез разпределението

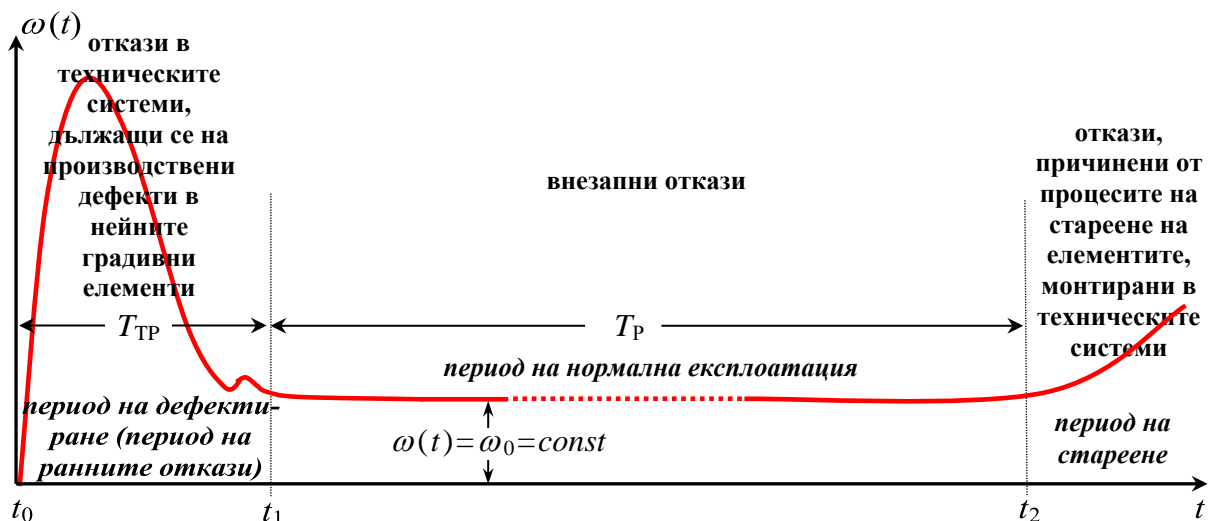
$$\omega(t) = a + b \cdot t. \quad (9)$$

Ако разпределението (9) бъде отразено в изведената зависимост (8) и полученият израз бъде интегриран, ще се получи аналитичен израз, по който биха могли да се изчисляват сроковете за профилактика

$$T_{\text{ГП}} = \frac{a + b \cdot t_n}{b} \left[ \frac{(a + b \cdot t_n)^2}{b^2} - \frac{2}{b} \ln P(t)_{\text{ЗАД}} \right]^{1/2}. \quad (10)$$

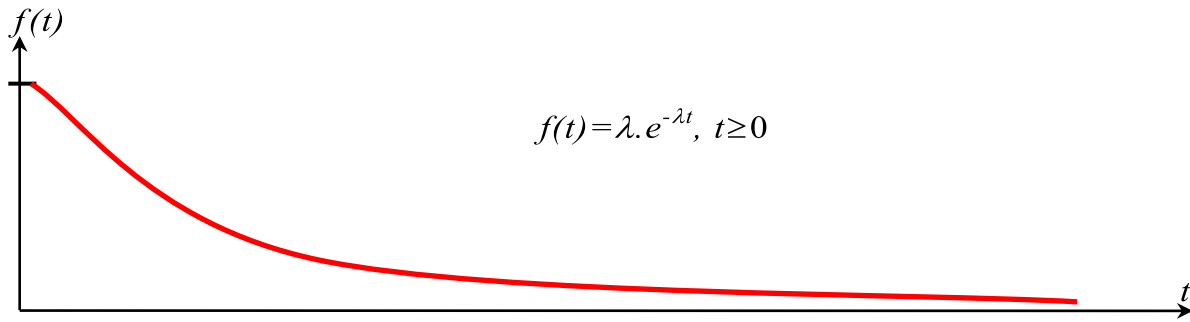
Чрез метода на максималното правдоподобие или чрез метода на най-малките квадрати могат да се конкретизират параметрите  $a$  и  $b$ , на разпределението (9). За целта се ползват статистическите данни, получени в периода на реалната експлоатация на конкретната техническа система.

Съгласно един от основните постулати в теорията на надеждността [12], в етапа на нормална експлоатация (фиг. 1) времената между отказите на елементите, изграждащи сложните технически обекти, се моделират чрез експоненциален закон на разпределение<sup>4</sup> (фиг. 2).



Фиг.1. Позициониране на отказите в отделните етапи от експлоатационния цикъл на електронните системи (обобщено представяне на параметъра на потока на отказите на техническите системи)

<sup>4</sup> експоненциалното разпределение е еднопараметрично разпределение, което се използва при моделирането на времената за безотказна работа при внезапните откази (времената до отказ при невъзстановимите изделия и времената между отказите при възстановимите изделия)  $P(t) = e^{-\lambda t}$ . Това разпределение се използва още и в случаите, когато явленията износване и стареене са слабо изразени и тяхното влияние върху надеждността може да се пренебрегне; времената за завършване на ремонта (времената за възстановяване); времената до отказ при съхранение. В тази връзка, експоненциалният закон е най-използвания закон при оценяване на надеждността на електронните изделия [3], [12].



Фиг.2. Плътност на разпределението при експоненциален закон

Получените експериментални резултати в периода на нормална експлоатация (фиг. 1) на различни по тип и предназначение електронни апаратури, потвърждават този теоретичен постулат [7], [8], [9], [10], [11]. Това означава, че в периода на нормална експлоатация на сложните технически обекти, е в сила равенството

$$\omega(t) = \omega_0 = const. \quad (11)$$

След интегриране на израз (8), при допускането (11), се получава израз, удобен за практическо приложение

$$\omega_0 \cdot T_{\text{ПР}} = -\ln P(t)_{\text{ЗАД}}, \quad (12)$$

т.е.

$$T_{\text{ПР}} = -\frac{\ln P(t)_{\text{ЗАД}}}{\omega_0}. \quad (13)$$

Трябва да се отбележи обаче, че чрез полученият израз (13) може да се определи срока на профилактика само в случаите, когато техническата система е работила без прекъсване от момента на приключване на предходното пълно (аварийно или превантивно [4], [5], [6]) възстановяване  $t_n$ , до момента на стартиране на следващата профилактика. Или изчислената с помощта на израз (13) стойност на срока на профилактика не отчита времето на неработоспособност на техническата система (времето за престой, изразходвано за извършване на възстановителни дейности при отстраняването на възникнали,  $j$  на брой откази) в периода от време между две поредни профилактики. Коректното и прецизно изчисляване на срока между две поредни профилактики (между  $i$ -тата и  $i+1$ -вата) изисква да бъде взето под внимание времето за престой. При липса, или при не ефективно работеща система за непрекъснат контрол на състоянието на техническата система, времето за престой е величина която не може и не бива да бъде пренебрегвана. Това налага добавянето на коригираща компонента в израз (13)

$$T'_{\text{ПР}} = -\frac{\ln P(t)_{\text{ЗАД}}}{\omega_0} + \sum_{j=1}^r \left( T_{B_{i,i+1}} \right)_j. \quad (14)$$

Стойността на коригиращата компонента в израз (14) би могла лесно да се изчисли с помощта на статистически данни за надеждността, натрупани в периода на нормална експлоатация на техническата система (фиг. 1). Тази стойност е пропорционална на големината на срока на профилактика, на честотата с която възникват отказите (т.е. на статистическата точкова оценка на параметъра на потока на отказите) и на статистическата точкова оценка на средното време за аварийно възстановяване

$$\sum_{j=1}^r \left( T_{B_{i,i+1}} \right)_j = \omega(t) \cdot T_{\text{ПР}} \cdot T_B^*. \quad (15)$$

Но тъй като за периода на нормална експлоатация е валидно равенството (11), последният израз може да се запише във вида

$$\sum_{j=1}^r \left( T_{B,i,i+1} \right)_j = \omega_0^* \cdot T_{PP} \cdot T_B^*, \quad (16)$$

при което израз (14) добива вида

$$T'_{PP} = T_{PP} + \omega_0^* \cdot T_{PP} \cdot T_B^*, \quad (17)$$

или

$$T'_{PP} = -\ln P(t)_{ЗАД} \cdot \left( \frac{1}{\omega_0^*} + T_B^* \right). \quad (18)$$

При оптимизиране на сроковете за профилактика  $T_{PP}'_{ПУ}$  на периферните устройства<sup>5</sup> в дадена сложна техническа система, трябва да се отчита и сумарното време за престой, дължащо се на скрити откази<sup>6</sup>

$$T'_{PPПУ} = -\ln P(t)_{ЗАД} \cdot \left( \frac{1}{\omega_0^*} + T_B^* \right) + \sum_{k=1}^{r_{с.о.}} (T_{ПРЕСТОЙ i,i+1})_k. \quad (19)$$

Чрез изведените изрази (18) и (19), и с помощта на статистическите точкови оценки на времето за аварийно възстановяване  $T_B^*$  и на параметъра на потока на отказите  $\omega(t)^*$ , лесно могат да бъдат оптимизирани стойностите на сроковете за профилактика и на техническите системи, и на техните периферни устройства, при зададена (желана) стойност на вероятността за безотказна работа.

## Експериментални резултати

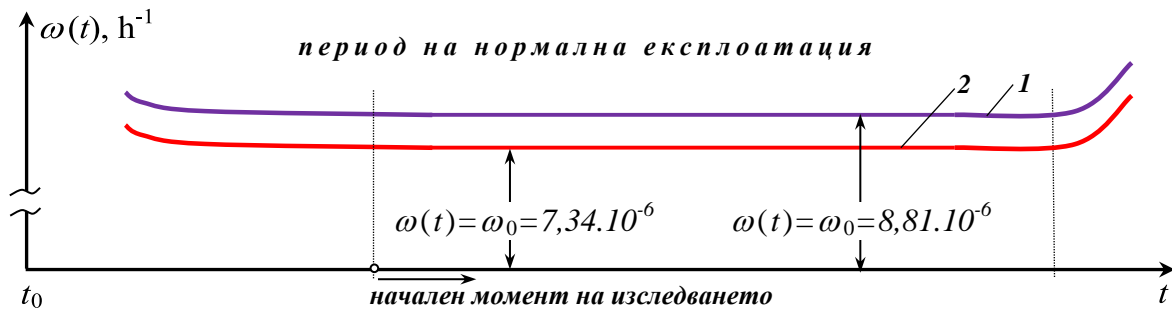
Изложеният нов подход при определянето на сроковете за профилактика е експериментиран при провеждане на техническото обслужване на различни по тип, структура и предназначение сложни електронни системи [7], [8], [9], [10], [11]. Получените резултати показват, че прилагането му понижава силно броя на следпрофилактичните откази, редуцира разходите за техническо обслужване на системите и в крайна сметка - подобрява чувствително профитът [5], [6] от експлоатацията на системите. Така например, при изследваните мултиплексни телекомуникационни системи [7], [8], при които зададената вероятност за безотказна работа е  $P(t)_{ЗАД} = 0,94$ ,  $T_B^* = 0,14$  h, а параметъра на потока на отказите за канал от системата е  $\omega(t)^* = 8,81 \cdot 10^{-6}$ ,  $h^{-1}$ , бе установено, че оптимизацията на сроковете на профилактика по изложения тук начин, в съчетание с въведената нова стратегия за техническо обслужване<sup>7</sup> [5], [6] повиши времето между две съседни профилактики от 4320 h, на 9075 h. На *фиг. 3* са съпоставени експериментално

<sup>5</sup> от гледна точка на надеждността, за периферни устройства в дадена сложна техническа система, тук се приемат тези устройства, чиято надеждност води до редуциране на крайния ефект от работата на системата, но не влияе на надеждността на системата като цяло, т.е. това са устройства, чийто отказ предизвиква единствено понижаване на производителността (ефективността) на системата.

<sup>6</sup> при голяма част от сложните технически системи, дори и при тези в които функционира система за непрекъснат контрол на състоянието, състоянието на периферните устройства не се контролира; това означава, че скритите откази, възникващи в периода от време между две поредни профилактики, се установяват и отстраняват само по време на профилактика - при провеждане на профилактичното замерване на параметрите; времето за престой в състояние на скрит отказ за такъв тип устройства е достатъчно голямо за да бъде пренебрегнато.

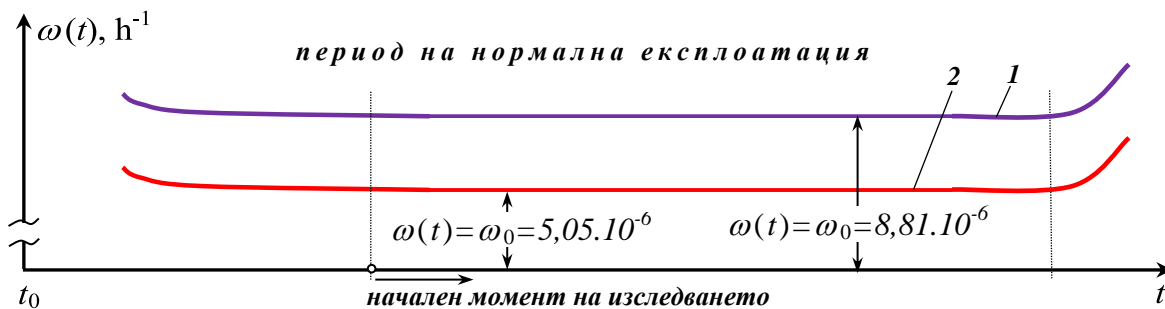
<sup>7</sup> Класифицираната като „Блокова стратегия за техническо обслужване” бе заменена с новосъздадената „Строго периодично стратегия за техническо обслужване” [6] [13].

получените криви за  $\omega(t)$  при прилагания преди това срок за профилактика и Блокова стратегия за техническо обслужване, и при оптимизирането, чрез новата методика, срок за профилактика.



Фиг.3. Апозиция на експериментално получените криви за  $\omega(t)$  преди (крива 1) и след (крива 2) оптимизирането на срока на профилактика

Съчетаването на изложената тук нова методика с разработената за целта нова Строгопериодична стратегия за техническо обслужване [6] [13], повиши допълнително надеждностните показатели на изследваните мултиплексни системи (фиг. 4). Оптимизирането само на срока на профилактика, редуцира параметъра на потока на отказите около 1,2 пъти - от  $8,81 \cdot 10^{-6}, h^{-1}$  до  $7,34 \cdot 10^{-6}, h^{-1}$ . Съчетаването на предложените промени (оптимален срок на профилактика и нова стратегия за техническо обслужване) редуцираха параметъра на потока на отказите около 1,74 пъти – от  $8,81 \cdot 10^{-6}, h^{-1}$  до  $5,05 \cdot 10^{-6}, h^{-1}$ .



Фиг.4. Апозиция на експериментално получените криви за  $\omega(t)$  преди (крива 1) и след (крива 2) оптимизирането на срока на профилактика и въвеждането на нова стратегия за техническо обслужване

Изследванията, представени в тази статия, са проведени в рамките на проект ПД11/2016 „Изследване надеждността на електронна система с мрежова структура“, финансиран целево от държавния бюджет, чрез фонда за научни изследвания на Технически университет – Варна.

## References

- [1] Йорданов Ст., Р. Василев, "Възможности за управление на обекти от електроразпределителната мрежа чрез интелигентни измервателни системи", Международна научно-техническа конференция "Електроенергетика 2014", 11-13 септември 2014, Варна, България.
- [2] Василев Р., Й. Неделчев, Прецизният измервателен анализ - основен фактор за постигане на максимална енергийна ефективност, УНИТЕХ'06, Международна научна конференция. Сб. т. I, стр. 55÷57, ТУ-Габрово, 24-25 ноември, 2006.



[3] Беляев Ю. Надежность технических систем. Справочник под редакциата на И. Ушаков. М., Радио и связь, 1985.

[4] Георгиев А. С. Нова концепция за повишаване на експлоатационната надеждност на електронни системи. “Аквапринт” ООД, ISBN 978-954-92824-6-7, Варна, 2013. 96 с.

[5] Георгиев А.С. Стратегия за техническо обслужване на електронни системи чиито обем и съдържание зависят от усвоената част от техническия ресурс Електронно списание „Компютърни науки и комуникации” брой 1, 2014 г. ISSN: 1314-7846.

[6] Георгиев А. С. Стратегии за техническо обслужване на електронните системи. Електронно списание „Компютърни науки и комуникации” брой 1, 12.2012 г. стр.58-66. ISSN: 1314-7846 <http://ojs.bfu.bg/index.php/knk/article/view/37/70> <http://ojs.bfu.bg/index.php/knk/article/view/37>

[7] Пранчов Р.Б, А.С.Георгиев, П.Славейков. “Изследване надеждността на уплътнителни телефонни системи УТС100”, Отчет по проект №353/88 с ръководител доц. д-р Р. Б. Пранчов, заявител Комитет по съобщения и информатика, НИС ТУ-София, 1989.

[8] Пранчов Р.Б, А.С.Георгиев, Н.Г.Георгиева. “Оценка на експлоатационната надеждност на уплътнителни телефонни системи УТС100”, Отчет по проект №184-11/90 с ръководител доц. д-р Р. Пранчов, заявител Комитет по съобщения и информатика, НИС ТУ-София, С. 1991.

[9] Георгиев А.С., Нели Г. Георгиева, Т. Папанчев, и др. „Изследване надеждността и изготвяне на съответната надеждна документация за система за мониторинг на състоянието и за оповестяване”, Научноизследователски проект с ръководител доц. д.т.н. Георгиев А.С, заявител ДИКС Интъртрейд ООД гр. София, 25.10.2010.

[10] Георгиев А. С., Н.Г.Георгиева, Т.Папанчев и др. „Изследване на възможностите за подобряване надеждността на електронни изделия”, Научноизследователски проект НПЗ/2011 с ръководител доц. д.т.н. Георгиев А.С.

[11] Георгиев А.С. и Т.Папанчев, Изследване на надеждността на електронни изделия”, Докторантски научноизследователски проект №ПДЗ „с ръководител доц. д.т.н. инж. Георгиев А.С.

[12] Гиндев Е.Г. Увод в теорията и практиката на надеждността - част 1: Основи на приложната надеждност. София, Акад. издателство Марин Дринов, 2000.

[13] Anton Sl.Georgiev and Toncho H.Papanchev. Strictly periodic maintenance strategy for electronic systems. „Electrotechnica & Electronica” (E&E), стр. 18-23, ISSN: 0861-4717, Vol. 48.Number 3-4, 2013.