

*С.В. Агеев, М.С. Жуковский, А.Н. Леонова, М.В. Носов*  
(ВНИИ ГОЧС МЧС России; e-mail: asvaser@yandex.ru)

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАХОДЯЩИХСЯ В ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ**

*Разработана методика оценки эффективности находящихся в длительной эксплуатации систем оповещения населения.*

*Ключевые слова: эксплуатация, система оповещения населения, интенсивность отказов, коэффициент готовности, рентабельность.*

## **S.V. Ageev, M.S. Zhukovskiy, A.N. Leonova, M.V. Nosov** **METHODS FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF BEING IN LONG-TERM OPERATION OF SYSTEMS FOR PUBLIC NOTIFICATION**

*A method for evaluating the effectiveness of being in long-term operation of systems alerting the public was developed.*

*Key words: operation, system for public notification, failure rate, availability, profitability.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 20 марта 2015 г.

Известно, что в процессе длительной эксплуатации технических систем наблюдается их физическое старение, которое проявляется в увеличении интенсивности отказов [1]. Рассмотрим региональные системы **оповещения населения (СОН)**, многие из которых находятся в эксплуатации более 30 лет, что почти в три раза превышает установленный ресурс (12 лет). Назовем такие системы оповещения населения **стареющими**.

Задача анализа эффективности функционирования СОН, находящихся в длительной эксплуатации, является актуальной и имеет два аспекта: научный и практический.

Научный аспект предполагает выбор математической зависимости, адекватно описывающей процесс анализа эффективности эксплуатации стареющих СОН по принятым показателям.

Практический аспект состоит в принятии обоснованных решений по дальнейшей эксплуатации данных систем или снятию с эксплуатации и проведению модернизации.

В качестве показателя эффективности функционирования СОН примем **коэффициент технической готовности**  $k_T$  за период эксплуатации

$$k_T = \frac{M[T_0]}{\sum_n M[T_n]}, \quad (1)$$

где  $\sum_n M[T_n] = M[T_0] + M[T_B] + M[T_{TO}]$ ;

$M[T_0]$  – математическое ожидание времени нахождения СОН в работоспособном состоянии;

$M[T_B]$  – математическое ожидание времени восстановления СОН;

$M[T_{TO}]$  – математическое ожидание времени нахождения СОН в состоянии технического обслуживания.

Кроме показателя  $k_T$  определим коэффициент оперативной готовности СОН за период эксплуатации (О, Т)

$$k_{ог} = k_T R(\tau), \quad (2)$$

где  $R(\tau)$  – вероятность безотказной работы в интервале времени практического применения СОН.

Для оценки *экономической эффективности* эксплуатации СОН использован показатель [2] – средние удельные затраты на техническое обслуживание и ремонт, приходящиеся на один час нахождения СОН в работоспособном состоянии

$$C = \frac{M[C^*]}{M[T_0]}, \quad (3)$$

где  $C_{вв}$  и  $C_{то}$  – затраты на единицу времени восстановления и технического обслуживания соответственно.

В качестве показателей целесообразности последующей эксплуатации принимаем уровни снижения показателей (1) и (2) относительно их директивных значений и  $K_{ог}^{dup}$ :

$$\gamma_T = \frac{K_T}{K_T^{dup}} \geq 1 \quad \text{и} \quad \gamma_{ог} = \frac{K_{ог}}{K_{ог}^{dup}} \geq 1 \quad (4)$$

при  $\gamma_{T(ог)} < 1$  дальнейшую эксплуатацию СОН будем считать нецелесообразной.

Для оценки эффективности эксплуатации СОН используем методику, предложенную в работах [2, 3]. Особенность этой методики состоит в том, что определение технического состояния системы проводится по фактической наработке или календарному сроку эксплуатации.

Предложенная методика оценки эффективности эксплуатации СОН справедлива при следующих допущениях:

- интенсивность отказов является монотонно возрастающей функцией времени, то есть  $\lambda'(t) > 0$ ;

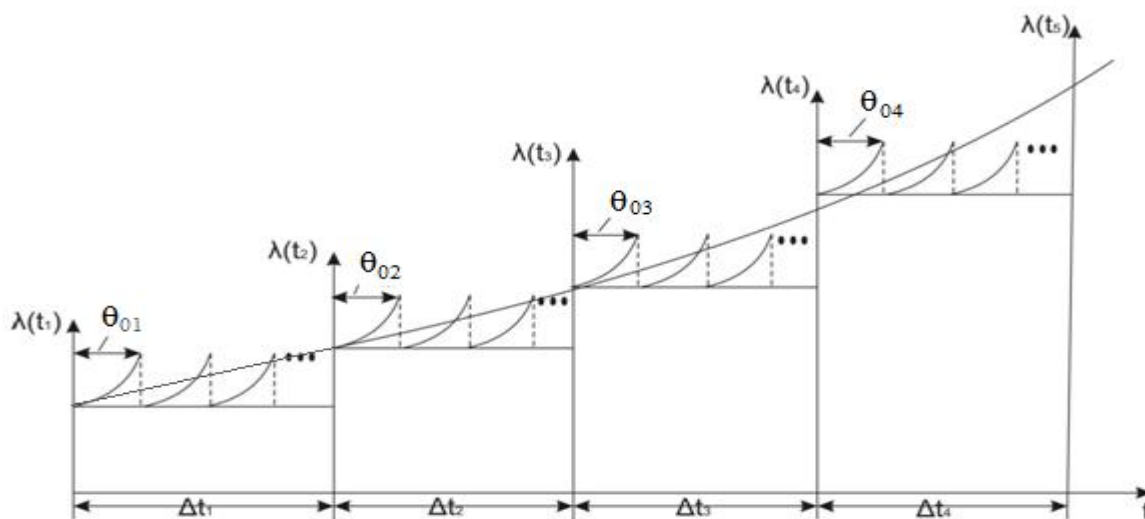
- среднее время восстановления  $\overline{T}_в$  больше среднего времени технического обслуживания  $\overline{T}_{то} : \overline{T}_в > \overline{T}_{то}$ ;

- возникший отказ обнаруживается мгновенно;

- система считается полностью обновленной как после завершения **технического обслуживания (ТО)**, так и после восстановления при отказе.

Определим временные этапы эксплуатации  $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i = (5 \div 10)$  лет, где  $t_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) – момент начала нового (исходного)  $\Delta t_i$ -го этапа эксплуатации.

Каждому временному этапу  $\Delta t_i$  эксплуатации СОН соответствует определённая интенсивность отказов  $\lambda(t_i)$ , приведённая на рис. 1.



**Рис. 1.** Графическая модель эксплуатации стареющей СОН

Примем допущение о том, что  $\lambda(t_i) < \lambda(t_{i+1})$ . Тогда возрастание интенсивности отказов на  $\Delta t_{i+1}$  этапе эксплуатации относительно  $\Delta t_i$ -го этапа определим как:

$$\xi_i = \frac{\lambda(t_{i+1})}{\lambda(t_i)} \gg 1. \quad (5)$$

Очевидно, условие (5) можно определить как показатель необходимости перехода к очередному этапу эксплуатации  $\Delta t_i$ .

Будем считать, что принятая модель эксплуатации системы по выработке ресурса остается неизменной для каждого временного этапа  $\Delta t_i$ . Для такой модели эксплуатации объем и периодичность ТО, направление в ремонт и списание систем определяются в зависимости от значения их наработки на отказ или срока эксплуатации, определенных в *технической документации (ТД)* на СОН.

Алгоритм её применения сводится к следующему [4]. В начальный момент времени планируется проведение ТО через календарное время  $\theta$ . Если СОН проработала безотказно время  $\theta$ , то ТО заданного объема в течение времени  $T_{ТО}$  проводится независимо от фактического состояния.

Если через календарное время  $\theta$  произошел отказ системы, то проводится её восстановление в течение времени  $T_в$ . После этого эксплуатация СОН продолжается до начала следующего ТО.

Таким образом, нормативный уровень безотказности СОН при их технической эксплуатации по выработке ресурса обеспечивается главным образом своевременным выполнением мероприятий по ТО и ремонту в случае отказа.

При практической реализации принятой модели эксплуатации СОН будем использовать следующие исходные данные:

$F(t)$  – функцию распределения случайного времени наработки системы до отказа;

$\theta$  – период между техническими обслуживаниями;

$T_{0i}$  – время наработки на отказ для  $\Delta t_i$ -го этапа эксплуатации со средним значением  $\overline{T_{0i}}$ ;

$T_{ei}$  – время восстановления при отказе СОН со средним значением  $\overline{T_{ei}}$ ;

$T_{TOi}$  – время выполнения технического обслуживания со средним значением  $\overline{T_{TOi}}$ ;

$\tau$  – время выполнения оперативной задачи;

$\lambda(t_i)$  – интенсивность отказов на этапе эксплуатации  $\Delta t_i$ ;

$C_{ei}$  – затраты на единицу времени восстановления СОН;

$C_{TOi}$  – затраты на единицу времени технического обслуживания СОН;

$C_{ni}$  – прибыль за единицу времени нахождения системы в работоспособном состоянии.

Очевидно, при возрастании интенсивности отказов СОН должны изменяться и периоды  $\theta_i$  проведения их ТО. Определение оптимальных значений  $\theta_{i0}$  этих периодов и их практическое применение обеспечивает достижение оптимальных значений принятых показателей эффективности эксплуатации СОН на  $\Delta t_i$ -м этапе.

С учётом этого требуется определить оптимальные периоды  $\theta_{i0}$  ТО СОН и соответствующие этим оптимальным периодам максимальные показатели эффективности технической эксплуатации

$$\left. \begin{aligned} \max_{\theta} k_{Ti}(\theta) &= k_T(\theta_{0,i}), \\ \max_{\theta} k_{or_i}(\theta) &= k_{or}(\theta_{0,i}), \\ \max_{\theta} \gamma_{T(or)_i}(\theta) &= \gamma_{T(or)}(\theta_{0,i}) \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

а также экстремальные показатели экономической эффективности эксплуатации

$$\left. \begin{aligned} \min_{\theta} C_i(\theta) &= C(\theta_{0,i}), \\ \max_{\theta} S_i(\theta) &= S(\theta_{0,i}), \\ \max_{\theta} \delta_i(\theta) &= (\theta_{0,i}). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

для каждого этапа эксплуатации  $\Delta t_i$ .

Кроме того, при выработке назначенного ресурса на основе показателей (6) и (7) требуется обосновать целесообразность последующей эксплуатации СОН. Рассмотрим коэффициент оперативной готовности  $k_{ор}$

$$k_{ор} = \frac{M[T_0]}{M[T_{0i}] + M[T_{пр}]} R(\tau). \quad (8)$$

Для этого показателя решение задачи сводится к тому, чтобы определить оптимальный период  $\theta_{i0}$  между техническими обслуживаниями, обеспечивающий его максимальное значение на  $\Delta t_i$ -м интервале эксплуатации, то есть:

$$\max_{\theta} k_{ор}(\theta) = K_{ор}(\theta_{i0}). \quad (9)$$

Для решения поставленной задачи выразим через исходные статистические данные следующие составляющие показателя (7):

$M[T_0]$  – математическое ожидание длительности работы;

$M[T_{пр}]$  – математическое ожидание длительности простоя;

$R(\tau)$  – вероятность безотказной работы за время выполнения оперативной задачи.

Математическое ожидание  $M[T_0]$  на интервале  $0-\theta$  определим следующим образом [4]:

$$M[T_0] = \int_0^{\theta} t f(t) dt = \int_0^{\theta} t dF(t), \quad (10)$$

где  $f(t)$  – плотность вероятности безотказной работы.

Полученное выражение интегрированием по частям преобразуем к виду:

$$\int_0^{\theta} t dF(t) = tF(t) - \int_0^{\theta} F(t) dt. \quad (11)$$

Будем полагать, что вероятность отказа СОН в конце интервала  $\theta$  между техническими обслуживаниями близка к единице, то есть.  $F(\theta) \approx 1$  [2].

В этом случае

$$M[T_0] = \theta - \int_0^{\theta} F(t) dt = \int_0^{\theta} [1 - F(t)] dt = \int_0^{\theta} R(t) dt. \quad (12)$$

Выразим математическое ожидание простоя СОН  $M[T_{пр}]$  на интервале  $0-\theta$ .

Заметим, что в соответствии с принятым алгоритмом эксплуатации, СОН в состоянии вынужденного простоя может оказаться в двух случаях [4]:

- отказ, не достигнув наработки  $\theta$  с вероятностью  $F(\theta)$ , и тогда необходимо выполнить восстановление в течение времени  $\overline{T}_в$ ;
- работоспособное состояние в течение времени  $\theta$  с вероятностью  $1 - F(\theta)$ , и в этом случае потребуется выполнить техническое обслуживание за время  $\overline{T}_{то}$ .

Следовательно:

$$\overline{T}_{\text{пр}} = M [T_{\text{пр}}] = M [\overline{T}_{\text{в}}] + M [\overline{T}_{\text{ТО}}] \quad (13)$$

или

$$\overline{T}_{\text{пр}} = M [T_{\text{пр}}] = \overline{T}_{\text{в}} F(\theta) + \overline{T}_{\text{ТО}} [1 - F(\theta)] = \overline{T}_{\text{ТО}} + (\overline{T}_{\text{в}} - \overline{T}_{\text{ТО}}) F(\theta). \quad (14)$$

Далее получим выражение для вероятности безотказной работы СОН на этапе практического применения длительностью  $\tau$ , то есть  $R(\tau)$ .

Будем полагать, что время восстановления  $T_{\text{в}}$  и время технического обслуживания  $T_{\text{ТО}}$  не оказывают влияния на  $R(r)$ .

Тогда, как показано в [2, 3],

$$R(\tau) = \frac{1}{M [T_{\text{о}}]} \int_0^{\infty} R(t + \tau) dt. \quad (15)$$

Поскольку практическое применение СОН возможно только на интервале  $0-\theta$ , то равенство (15) запишем как:

$$R(\tau) = \frac{1}{M [T_{\text{о}}]} \int_0^{\theta} R(t + \tau) dt. \quad (16)$$

Подставляя (12), (13) и (15) в (10), получим:

$$k_{\text{ор}}(\tau) = \frac{\int_0^{\theta} R(t + \tau) dt}{\int_0^{\theta} R(t) dt + \overline{T}_{\text{ТО}} + (\overline{T}_{\text{в}} - \overline{T}_{\text{ТО}}) F(\theta)} \quad (17)$$

Если время  $\tau$  мало по сравнению со средним временем безотказной работы  $\overline{T}_{\text{о}}$ , то есть  $\tau \ll \overline{T}_{\text{о}}$  то приближенно можно считать, что:

$$R(t + \tau) \cong R(t) + [R(t)]' \tau = R(t) + [1 - F(t)]' \tau \quad (18)$$

Тогда коэффициент оперативной готовности (10) будет равен:

$$k_{\text{ор}}(\theta) = \frac{\int_0^{\theta} R(t) dt - \tau F(\theta)}{\int_0^{\theta} R(t) dt + \overline{T}_{\text{ТО}} + (\overline{T}_{\text{в}} - \overline{T}_{\text{ТО}}) F(\theta)} \quad (19)$$

Определим оптимальный период  $\theta_0$ , соответствующий равенству (19).

Для этого решим уравнение:

$$\frac{dk_{\text{ор}}(\theta)}{d\theta} = 0 \quad (20)$$

В результате дифференцирования и последующего преобразования получим уравнение для определения оптимального периода  $\theta_{i0}$  проведения технического обслуживания [2]:

$$\frac{\overline{T}_{\text{ТО}}}{\overline{T}_{\text{в}} - \overline{T}_{\text{ТО}} + \tau} = -F(\theta) + \lambda_i(\theta) \int_0^{\theta} [1 - F(t)] dt - \frac{\overline{T}_{\text{ТО}}}{\overline{T}_{\text{в}} - \overline{T}_{\text{ТО}} + \tau} \tau \lambda_i(\theta), \quad (21)$$

где  $\lambda_i(\theta) = \frac{F'(\tau)}{1 - F(\tau)}$  – интенсивность отказов СОН, соответствующая

$\Delta t_i$  – у этапе эксплуатации.

Правую часть равенства (18) обозначим как:

$$\varphi_i(\theta) = -F(\theta) + \lambda_i(\theta) \int_0^{\theta} [1 - F(t)] dt - \frac{\overline{T_{TO}}}{T_B - \overline{T_{TO}} + \tau} \tau \lambda_i(\theta). \quad (22)$$

В работе [2] показано, что при монотонной возрастающей функции  $\lambda_i(\theta)$  уравнение (19) имеет единственное решение.

Поэтому уравнение (19) может быть решено графически, что показано на рис. 2. Кривая  $\varphi_i(\theta)$  рис. 2 отражает характер изменения правой части рассматриваемого уравнения, а штриховая линия – значение левой части. Момент пересечения штриховой линии с функцией  $\varphi_i(\theta)$  соответствует оптимальному значению  $\theta_{i0}$ .

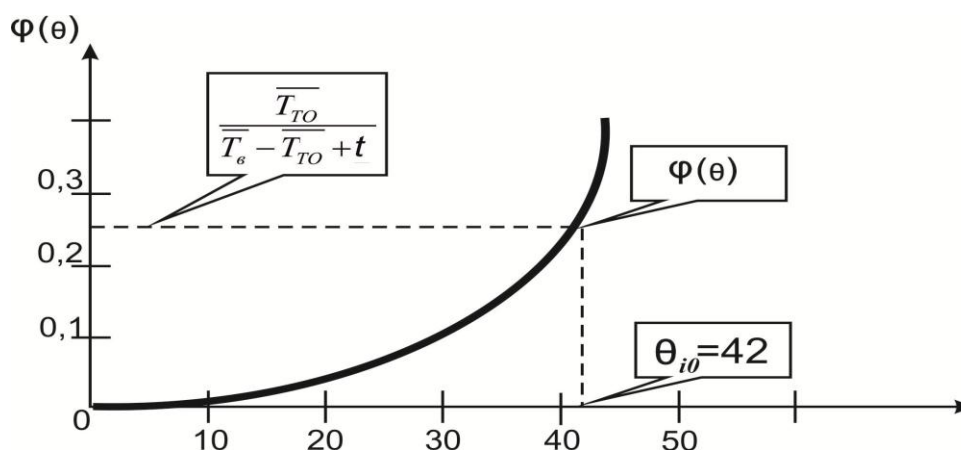


Рис. 2. Графическое представление определения  $\theta_{i0}$

При заданном  $\theta_{i0}$  максимальное значение  $k_{OR}$  будет равно:

$$\max_{\theta_i} k_{OR_i}(\theta) = k_{OR_i}(\theta_{i0}) = \frac{\int_0^{\theta_{i0}} [1 - F(t + \tau)] dt}{\int_0^{\theta_{i0}} [1 - F(t)] dt + \overline{T_{TO}} + (\overline{T_e} - \overline{T_{TO}}) F(\theta_{i0})} \quad (23)$$

Выражение для анализа эффективности эксплуатации СОН по коэффициенту технического использования получим из равенства (22) при условии  $\tau = 0$ . При этом (22) преобразуется к виду:

$$k_T(\theta) = \frac{\int_0^{\theta} R(t) dt}{\int_0^{\theta} R(t) dt + \overline{T_{TO}} + (\overline{T_B} - \overline{T_{TO}}) F(\theta)} \quad (24)$$

Для определения  $\theta_{i0}$  решим уравнение:

$$\frac{dk_T(\theta)}{d\theta} = 0 \quad (25)$$



После дифференцирования и соответствующего преобразования получим уравнение для определения оптимального периода  $\theta_{i0}$  проведения технического обслуживания:

$$\frac{\overline{T_{TO}}}{\overline{T_e} - \overline{T_{TO}}} = -F(\theta_i) + \lambda_i(\theta) \int_0^\theta [1 - F(t)] dt. \quad (26)$$

Правую часть равенства (24) обозначим как:

$$\varphi_i(\theta) = -F(\theta) + \lambda_i(\theta) \int_0^\theta [1 - F(t)] dt. \quad (27)$$

Для определения  $\theta_{i0}$  воспользуемся графическим способом (рис. 2). При заданном  $\theta_{i0}$  максимальное значение коэффициента готовности будет равно:

$$\max_{\theta} k_{Ti}(\theta) = k_{Ti}(\theta_{i0}) = \frac{1}{1 + (\overline{T_b} - \overline{T_{TO}}) \lambda_i(\theta_{i0})}. \quad (28)$$

При эксплуатации СОН в течение продолжительного времени большое значение имеет оценка экономичности их эксплуатации. С этой целью рассмотрим решение задачи оптимизации периода  $\theta$  выполнения технического обслуживания, который выразим как:

$$C = \frac{C_{TO} \overline{T_{TO}} + C_b \overline{T_b}}{T_0}, \quad (29)$$

где  $C_{TO}$  – средние затраты на проведение ТО за единицу времени;

$C_b$  – средние затраты на восстановление за единицу времени.

Требуется определить

$$\min_{\theta} C(\theta) = C(\theta_{i0}) \quad (30)$$

Для этого средние затраты определим как их математическое ожидание:

$$M[C] = C_b \overline{T_b} P(T_0 \leq \theta) + C_{TO} \overline{T_{TO}} P(T_0 > \theta) = C_b \overline{T_b} F(\theta) + C_{TO} \overline{T_{TO}} [1 - F(\theta)].$$

Тогда выражение (27) примет вид:

$$C(\theta) = \frac{C_b \overline{T_b} F(\theta) + C_{TO} \overline{T_{TO}} [1 - F(\theta)]}{\int_0^\theta [1 - F(t)] dt}. \quad (31)$$

Для определения оптимального значения  $\theta_{i0}$  решим уравнение:

$$\frac{dC(\theta)}{d\theta} = 0 \quad (32)$$

В результате дифференцирования и последующего преобразования получим уравнение для определения оптимального периода  $\theta_{i0}$  проведения ТО по минимуму средних удельных затрат:

$$\frac{C_{TO} \overline{T_{TO}}}{C_b \overline{T_b} - C_{TO} \overline{T_{TO}}} = -F(\theta) + \lambda_i(\theta) \int_0^\theta [1 - F(t)] dt. \quad (33)$$



Для правой части равенства (31) введем обозначение:

$$\varphi_i(\theta) = -F(\theta) + \lambda_i(\theta) \int_0^{\theta} [1 - F(t)] dt. \quad (34)$$

Определив в соответствии с уравнением (31) оптимальный период ТО  $\theta_{i0}$ , подставим его в (33), из которого получим выражение минимума средних удельных затрат. Применение предложенной модели для анализа эффективности эксплуатации СОН выполним на основе исходных данных, соответствующих четырем этапам эксплуатации (рис. 1) и представленных в табл. 1.

Таблица 1

**Исходные данные для численного эксперимента**

Этапы эксплуатации	$\lambda(t_i)$ , 1/час	$R(t_i)$	$\bar{T}_B$ , час	$\bar{T}_{ТО}$ , час	$C_B$ , ед./час	$C_{ТО}$ , ед./час	$C_{п}$ , ед./час	$\tau$ , час
$\Delta t_1$	$0,0003t_1$	$e^{-0,00015t_1^2}$	30	10	2	1	2	24
$\Delta t_2$	$0,0004t_2$	$e^{-0,0002t_2^2}$	30	10	2	1	2	24
$\Delta t_3$	$0,0005t_3$	$e^{-0,00025t_3^2}$	30	10	2	1	2	24
$\Delta t_4$	$0,0006t_4$	$e^{-0,0003t_4^2}$	30	10	2	1	2	24

Каждый последующий по порядку этап эксплуатации характеризует усиление старения СОН относительно предыдущих этапов, что отражено в виде соответствующего увеличения интенсивности отказов  $\lambda(t_i)$ , то есть  $\lambda(t_1) < \lambda(t_2) < \lambda(t_3) < \lambda(t_4)$ .

Для заданных исходных данных требуется:

- определить оптимальные периоды  $\theta_{i0}$  проведения ТО для установленных этапов эксплуатации  $\Delta t_i$ ;
- исследовать зависимость сокращения оптимальных периодов  $\theta_{i0}$  проведения ТО, а также уменьшение значений принятых показателей эффективности эксплуатации СОН от возрастания интенсивности отказов  $\lambda(t_i)$ ;
- получить оптимальные значения принятых показателей эффективности эксплуатации СОН;
- оценить эффективность эксплуатации СОН по принятым показателям в зависимости от её интенсивности отказов  $\lambda(t_i)$  (старения).

Для определения оптимальных периодов  $\theta_{i0}$  проведения ТО для установленных этапов эксплуатации воспользуемся графическим методом, применение которого предусматривает выполнение расчётов левых и правых частей равенств (18), (22), (27) и (33).

Левые части указанных равенств представляют собой постоянные числа, а правые – возрастающие функции  $\varphi_i(\theta)$  анализируемых показателей  $k_{ор}$ ,  $k_{т}$ ,  $C$  и  $S$  для каждого отдельно взятого  $\Delta t_i$ -го этапа эксплуатации.

Для определения функции  $\varphi_i(\tau)$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) принято последовательное увеличение значений  $\theta$  с установленным шагом  $\Delta\theta_n = 10$  час,  $n=0, 1, 2, 3, \dots$ .

Расчёты выполняем до получения точки пересечения констант левых частей равенств (18), (22), (27) и (31) с возрастающей функцией  $\varphi_i(\theta)$

По полученным значениям  $\varphi_i(\Delta\theta_n)$  строим графики функций  $\varphi_i(\theta)$ . Пересечение функции  $\varphi_i(\theta)$  с постоянной величиной левых частей равенств (18), (22), (27) и (31) соответствует оптимальной величине  $\theta_{i0}$ .

На рис. 3 представлен график функции  $\varphi_1(\theta)$ , характеризующий первый этап эксплуатации системы, на котором показаны оптимальные значения  $\theta_{i0}$ , соответствующие равенствам (18), (22), (27) и (33). Оптимальные значения  $\theta_{i0}$  для принятых показателей и установленных этапов эксплуатации системы  $\Delta t_i$  СОН сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Расчёт оптимальных периодов проведения технического обслуживания**

Анализируемые показатели	Этапы эксплуатации СОН и соответствующие им $\theta_{i0}$			
	$\theta_{10}$	$\theta_{20}$	$\theta_{30}$	$\theta_{40}$
$k_{ЭГ}$	47	44	37	34
$k_T$	51	46	40	37
$C$	33	30	27	25
$S$	43	38	34	31

Анализ результатов расчётов, представленный в табл. 2, показывает, что оптимальные периоды  $\theta_{i0}$  проведения ТО в зависимости от увеличения интенсивности  $\lambda(\Delta t_i)$  отказов СОН сокращаются. Вследствие этого ухудшаются и максимальные (минимальные) значения принятых показателей эффективности их эксплуатации, которые представлены в табл. 3.

В табл. 3 представлены максимальные значения показателей эффективности эксплуатации СОН для четырех этапов эксплуатации, соответствующие оптимальным значениям  $\theta_{i0}$ .

Таблица 3

**Максимальные значения показателей эффективности эксплуатации**

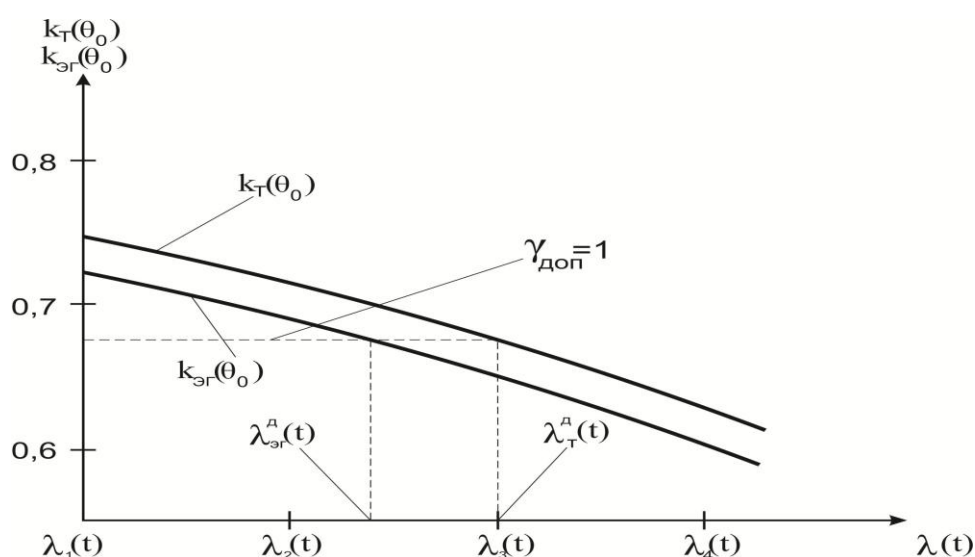
Экстремальные показатели	Значения показателей, соответствующих $\lambda_i(t)$			
	$\lambda_1(t) = 0,0003t$	$\lambda_2(t) = 0,0004t$	$\lambda_3(t) = 0,0005t$	$\lambda_4(t) = 0,0005t$
$\max_{\theta} k_{ог}(\tau_i) = k_{ог}(\theta_{i0})$	0,74	0,71	0,67	0,63
$\max_{\theta} k_T(\theta) = k_T(\theta_{i0})$	0,76	0,73	0,69	0,65
$\min_{\theta} C(\theta) = C(\theta_{i0})$	0,57	0,63	0,68	0,75
$\max_{\theta} S = S(\theta_{i0})$	1,02	0,9	0,85	0,81
$\max_{\theta} \delta = \delta(\theta_{i0})$	1,78	1,4	1,25	1,08

При этом, возникает задача оценки предела снижения количественных значений показателей эффективности эксплуатации, при достижении которых дальнейшую эксплуатацию СОН можно считать нецелесообразной или нерентабельной.

Для этого примем в качестве показателя эффективности технической эксплуатации СОН допустимый уровень  $\gamma_{\text{доп}}$  снижения частных показателей  $k_T$  и  $k_{\text{ог}}$  относительно их директивных значений  $k_T^{\text{дир}}$  и  $k_{\text{ог}}^{\text{дир}}$ , который выразим как:

$$\gamma_{\text{доп}} = \frac{k_{T(\text{ог})}}{k_{T(\text{ог})}^{\text{дир}}} \geq 1. \quad (35)$$

Показатель (34) означает, что при  $\gamma_{\text{доп}} \leq 1$  дальнейшую эксплуатацию системы можно считать нецелесообразной (рис. 3).



**Рис. 3.** График расчёта эффективности функционирования СОН, находящихся в длительной эксплуатации

Таким образом, авторами разработана методика оценки эффективности функционирования систем оповещения населения, находящихся в длительной эксплуатации, использование которой позволит принимать обоснованные решения по дальнейшей эксплуатации систем оповещения или снятию их с эксплуатации и проведению модернизации.

#### Литература

1. **Каишанов В.А.** Исследование стратегий обслуживания сложных систем // Надёжность технических систем: справочник / Под ред. И.А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985.
2. **Барзилович Е.Ю., Каишанов В.А.** Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем. М.: Транспорт, 1981.
3. **Виноградов В.А., Мартынов В.И., Носов М.В., Ярлыков М.С.** Инженерно-авиационное обеспечение боевых действий и боевой подготовки частей и эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования. Часть 1. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1983.
4. **Отчёт** по НИР "Разработка предложений по внедрению современных инновационных разработок в области систем информирования и оповещения населения для снижения рисков чрезвычайных ситуаций". М.: ВНИИ ГОЧС МЧС России, 2012.