УДК 62-192, 620.169.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ[1] НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ УСТРОЙСТВ

А.С. Мясников

«Все что имеет начало - имеет и конец»
Смит. Из кинофильма «Матрица: Революция»

В настоящее время продление назначенных сроков службы[2] технических устройств проводится путем оценки технического состояния лидерных или искусственно состаренных образцов. Такие работы преследуют цель — определить такой срок службы, при котором физико-химические процессы старения еще не ухудшают технические характеристики устройства. В настоящей статье предлагается оригинальный способ определения предельного срока службы невосстанавливаемого технического устройства по статистическим данным об отказах[3] этого устройства в эксплуатации.

Назначенные сроки службы устанавливаются с целью досрочного прекращения эксплуатации технических устройств, предупреждая тем самым опасные отказы [1]. Отказы большинства авиационных деталей и устройств являются опасными, возникновение которых чревато гибелью людей. При эксплуатации технических устройств по ресурсу[4] часто возникает ситуация, когда техническое состояние эксплуатируемого объекта не препятствует дальнейшей эксплуатации, а сроки эксплуатации этих устройств уже превысили назначенные. В этом случае эксплуатация должна быть прекращена независимо от технического состояния устройства [1]. Для наиболее полного расходования технического потенциала, заложенного разработчиком в устройство, проводятся работы по продлению назначенных сроков службы этих устройств. В настоящее время проблема прогноза технического состояния устройств на продлеваемый период является нераскрытой. В данной работе предпринята попытка определить предельно допустимый срок эксплуатации технических устройств по известным статистическим данным об отказах этого устройства в эксплуатации.

Объектом исследования являются невосстанавливаемые технические устройства, основной способ эксплуатации которых — хранение до применения по назначению. Такое описание справедливо для резинотехнических изделий, различных средств спасения, пожаротушения, сигнализации и оповещения, аккумуляторных батарей, авиационных боеприпасов, пиропатронов, запасных частей и расходных материалов, хранящихся до применения по назначению. Предмет исследования —

---

1 ***Срок службы*** - (useful lifetime) календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние [1].

2 ***Назначенный срок службы*** - (assigned lifetime) календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния [1].

3 ***Отказ*** - (failure) событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта [1].

4 ***Эксплуатация по ресурсу*** - метод технической эксплуатации изделия, при котором применение изделия по назначению производится до тех пор, пока его наработка (срок службы) не достигнет назначенной величины [2].

вероятность безотказной работы устройства. Следует отметить, что теоретические выводы, полученные в данной работе справедливы для устройств, для составных частей которых сведения о надежности неизвестны или известны не полностью. В противном случае задача определения срока службы устройств должна решаться с учетом известных данных о параметрах безотказности составных частей, систем и агрегатов.

В процессе эксплуатации технических устройств имеют место ***внезапные отказы*** и ***отказы по износу*** [3]. Внезапные отказы, носящие случайный характер, обычно довольно хорошо описываются экспоненциальным законом распределения. Отказы, возникшие в результате износа, в связи с действием необратимых физико-химических изменений физических параметров технического устройства носят название ***постепенных***. Эти отказы во многих случаях довольно хорошо описываются нормальным законом. Следует отметить, что для каждого конкретного типа устройств необходимо проверять по известным критериям согласия (Пирсона χ^2, Романовского, Ястрембского, Колмогорова, и т.п.) принадлежность имеющейся статистической информации о внезапных и постепенных отказах устройства, соответственно, экспоненциальному и нормальному распределению.

В устройстве может произойти внезапный отказ, но параллельно идет «старение» устройства, которое приводит к постепенному отказу, если до этого не произошел внезапный отказ. Такое устройство можно рассматривать состоящим из двух условных частей, в одной из которых может произойти только внезапный отказ, а в другой — только постепенный. Устройство эксплуатируется до первого из этих отказов.

Время исправного состояния невосстанавливаемого технического устройства $T_{ис}$ в период его срока (времени) эксплуатации $t_э$ совпадает с временем наступления отказа за этот срок эксплуатации [4]:

$$T_{ис}(t_э)=T_{отк}(t_э)=\int_0^{t_э} t\cdot q(t)\cdot dt=-\int_0^{t_э} t\cdot p(t)\cdot dt \quad ,$$

где $q(t)=\frac{dQ(t)}{dt}=\frac{d}{dt}\cdot(1-P(t))=-\frac{dP(t)}{dt}=-p(t)$ — плотность распределения вероятности возникновения отказа,

p(t) — плотность распределения вероятности безотказной эксплуатации,

Q(t) — вероятность возникновения отказа,

P(t) — вероятность безотказной эксплуатации.

Рассмотрим простейшую ситуацию, когда постепенные отказы отсутствуют. В этом случае вероятность невозникновения внезапного отказа в пределах срока службы при допущении о постоянстве интенсивности внезапных отказов ($\lambda=const$) определяется выражением [3]:

$$P(t)=e^{-\lambda\cdot t} \quad ,$$

где λ, *1/год* — интенсивность внезапных отказов.

Интегрируя по частям, получим следующее выражение для среднего времени исправного состояния устройства:

$$T_{ис}(t_э) = -\int_0^{t_э} t \cdot p(t) \cdot dt = -t_э \cdot P(t) + \int_0^{t_э} P(t) \cdot dt \quad .$$

Подставим в формулу времени исправного состояния устройства вероятность безотказной эксплуатации и вычислим интеграл:

$$T_{ис}(t_э) = -t_э \cdot e^{-\lambda \cdot t_э} + \int_0^{t_э} e^{-\lambda \cdot t_э} \cdot dt = -t_э \cdot e^{-\lambda \cdot t_э} - \frac{1}{\lambda} \cdot e^{-\lambda \cdot t_э} + \frac{1}{\lambda} = \frac{1 - e^{-\lambda \cdot t_э} \cdot (\lambda \cdot t_э + 1)}{\lambda} \quad .$$

На рисунке 1 показан график зависимости времени исправного состояния от его срока эксплуатации.

Из рисунка видно, что большие сроки эксплуатации практически не влияют на среднее время исправного состояния. Очевидно, что при увеличении срока эксплуатации устройства вероятность безотказной работы снижается и стремится к нулю (при заданном экспоненциальном законе распределения вероятности безотказной работы). Поэтому при увеличении времени эксплуатации $t_э$ график среднего времени исправного состояния становится пологим.

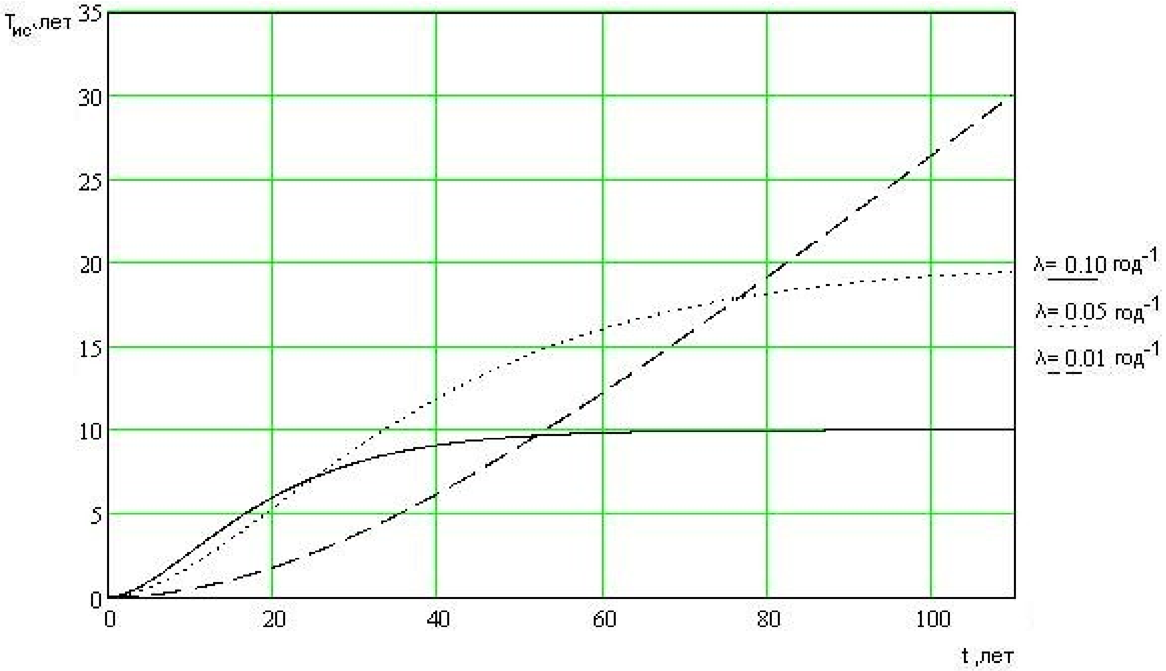

Рисунок 1 - Зависимость времени исправного состояния от срока эксплуатации устройства при *λ=0.10, 0.05, 0.01 1/год*

Введем понятие коэффициента неисправного состояния, равного отношению среднего времени неисправного состояния технического устройства к среднему времени его исправного состояния

$$k = \frac{t - T_{ис}}{T_{ис}} = \frac{t_э}{T_{ис}} - 1 = \frac{\lambda t_э}{1 - e^{-\lambda t_э}(\lambda t_э + 1)} - 1 \quad .$$

Коэффициент неисправного состояния имеет тот же физический смысл, что и коэффициент готовности [5], но используется для устройств, техническое состояние которых контролируется периодически («скважно»), а основной способ эксплуатации — это хранение.

График коэффициента неисправного состояния технического устройства представлен на рисунке 2.

Очевидно, что наилучшим значением коэффициента неисправного состояния с точки зрения эксплуатанта является такое, при котором среднее время неисправного состояния (числитель в выражении k) минимально, а среднее время исправного состояния $T_{ис}$ стремится к времени эксплуатации устройства $t_э$. Таким образом, наилучшее значение коэффициента неисправного состояния соответствует его минимуму. Так, на графике рисунка 2 при $\lambda=0.05$ *1/год* наименьшее значение k достигается при 36 годах эксплуатации. При эксплуатации устройства более 36 лет имеет место увеличение коэффициента неисправного состояния, вызванное, прежде всего, существенным снижением вероятности невозникновения внезапного отказа.

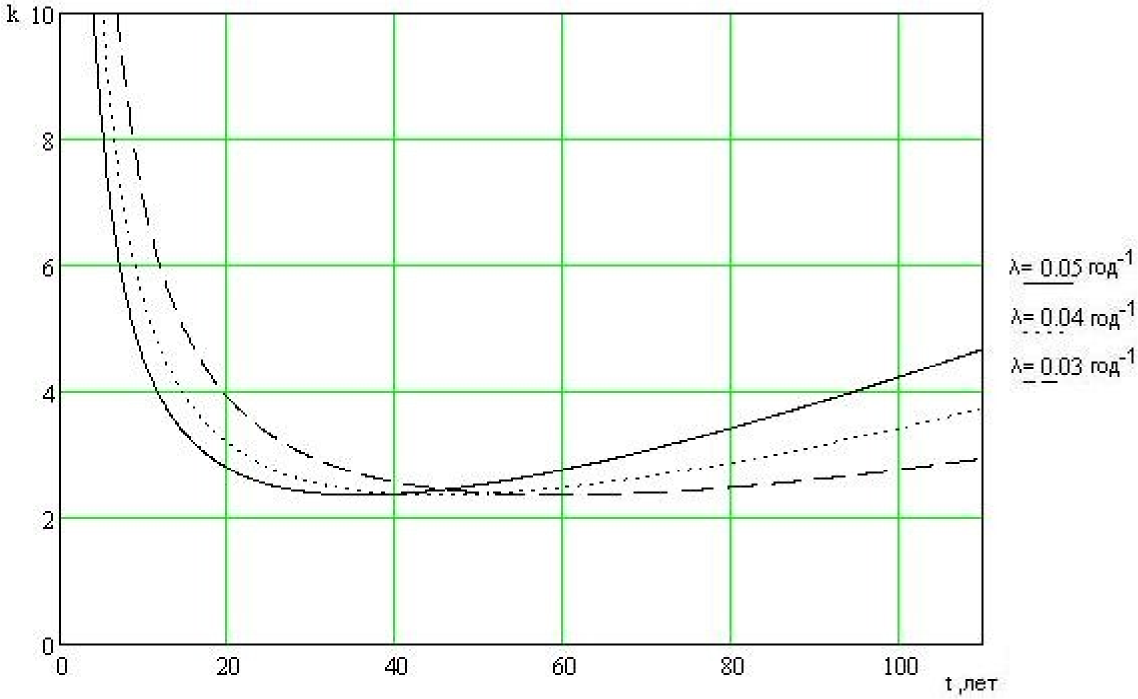

Рисунок 2 - Зависимость коэффициента неисправного состояния от срока эксплуатации устройства при $\lambda=0.05,\ 0.04,\ 0.03$ *1/год*

В связи с этим постулируем: ***срок службы невосстанавливаемого технического устройства, при котором процессы старения еще не оказывают существенного влияния на его безотказность, является такой срок, при котором достигается минимум коэффициента неисправного состояния этого устройства.***

Для определения предельного срока эксплуатации устройства целесообразно получить выражение производной коэффициента неисправного состояния:

$$\frac{dk}{dt}=\frac{d}{dt}\left(\frac{t}{T_{ис}}-1\right)=\frac{T_{ис}-t\cdot\dfrac{dT_{ис}}{dt}}{T_{ис}^2}\ .$$

Подставим в полученное выражение среднее время исправного состояния:

$$\frac{dk}{dt}=\frac{\lambda\cdot\left(\left(1-e^{-\lambda\cdot t}\cdot(\lambda\cdot t+1)\right)-t\cdot\left(t\cdot e^{-\lambda\cdot t}+\lambda\, e^{-\lambda\cdot t}\right)\right)}{\left(1-e^{-\lambda\cdot t}\cdot(\lambda\cdot t+1)\right)^2}\ .$$

График производной коэффициента неисправного состояния в зависимости от срока эксплуатации представлен на рисунке 3.

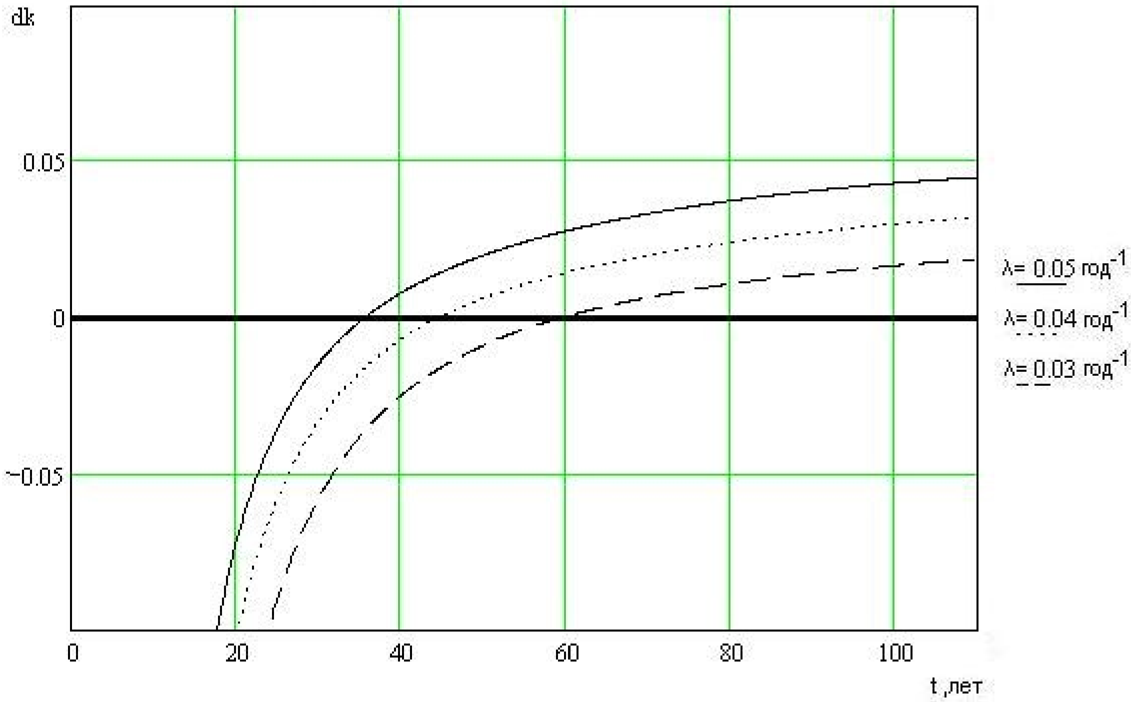

Рисунок 3 - Зависимость производной коэффициента неисправного состояния от срока эксплуатации устройства при *λ=0.05, 0.04, 0.03 1/год*

Минимум коэффициента неисправного состояния достигается, когда его производная равна нулю. Производная равна нулю, если:

$$\lambda\cdot\left(\left(1-e^{-\lambda\cdot t}\cdot(\lambda\cdot t+1)\right)-t\cdot\left(t\cdot e^{-\lambda\cdot t}+\lambda\, e^{-\lambda\cdot t}\right)\right)=0 \quad ,$$

$$1-e^{-\lambda\cdot t}\cdot(\lambda\cdot t+1)\neq 0 \quad ,$$

то есть $t\neq 0, \lambda\neq 0$.

Преобразуем числитель в формуле производной *dk/dt* к следующему виду:

$$\left(1+t\cdot\lambda+t^2\cdot\lambda^2\right)\cdot e^{-\lambda\cdot t}=1 \quad .$$

Обозначим левую часть полученного тождества как функцию φ:

$$\varphi=\left(1+t\cdot\lambda+t^2\cdot\lambda^2\right)\cdot e^{-\lambda\cdot t} \quad .$$

Тогда критерий для определения предельного срока эксплуатации можно сформулировать в виде выражения:

$$\varphi=1.$$

Графически функция φ представлена на рисунке 4.

График на рисунке 4 показывает какой срок эксплуатации устройства соответствует ситуации, когда коэффициент неисправного состояния еще не увеличивается. Так например, для *λ=0.05 1/год* предельный срок эксплуатации устройства составит *36 лет*.

Приближенным решением уравнения $\varphi=1$ является следующее:

$$T_{np}(\lambda)=\frac{1.7933}{\lambda} \quad ,$$

где константа *1.7933* является корнем уравнения $x^2+x+1-e^x=0$ (*φ=1, где x=λ t*) и найдена численно методом половинного деления.

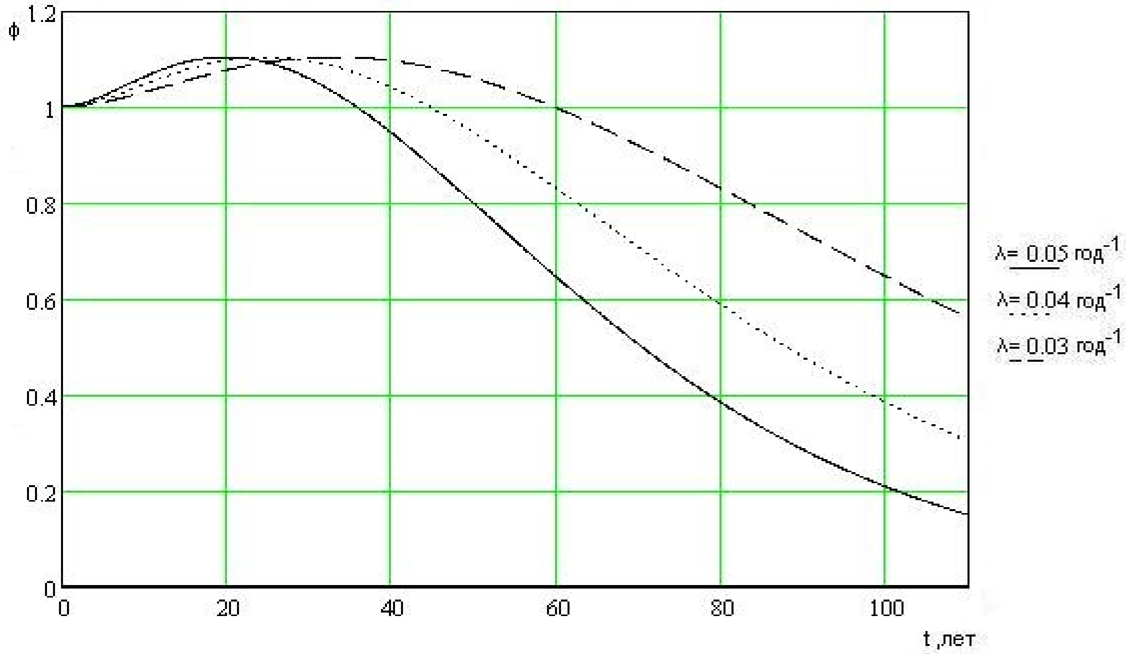

Рисунок 4 - Зависимость функции φ от срока эксплуатации устройства при *λ=0.05, 0.04, 0.03 1/год*

График функции $T_{пр}(\lambda)$ представлен на рисунке 5. График на рисунке 5 позволяет для известного λ определить предельный срок службы $T_{пр}$ по признаку безотказности устройства, отказывающего внезапно.

Следует отметить, что в процессе эксплуатации значение интенсивности внезапных отказов меняется и является случайной величиной. В связи с этим получаемые оценки срока службы являются только одним из критериев для продления назначенных сроков службы невосстанавливаемых технических устройств.

В связи с тем, что на практике имеют место также постепенные отказы, то рассмотрим более сложный случай, учитывающий внезапные отказы и отказы по износу. В этом случае вероятность невозникновения отказа в пределах срока службы при допущении о постоянстве интенсивности внезапных отказов (*λ=const*) определяется выражением:

$$P(t_э, \lambda, T_о, \sigma) = \frac{e^{-\lambda \cdot t_э}}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\int_{\frac{t_э - T_о}{\sigma}}^{\infty} e^{\frac{-x^2}{2}} \cdot dx}{\int_{-\frac{T_о}{\sigma}}^{\infty} e^{\frac{-x^2}{2}} \cdot dx},$$

где T_0, *лет* — среднее время до первого отказа по износу,

σ, лет — среднеквадратичное отклонение времени до первого отказа по износу.

С учетом того, что обычно $T_0 \gg \sigma$, то есть $-\frac{T_0}{\sigma} \approx -\infty$, то вероятность безотказной эксплуатации технического устройства за время $t_э$ примет следующий вид:

$$P(t_э, \lambda, T_о, \sigma) \approx \frac{e^{-\lambda \cdot t_э}}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{\frac{t_э - T_о}{\sigma}}^{\infty} e^{\frac{-x^2}{2}} \cdot dx.$$

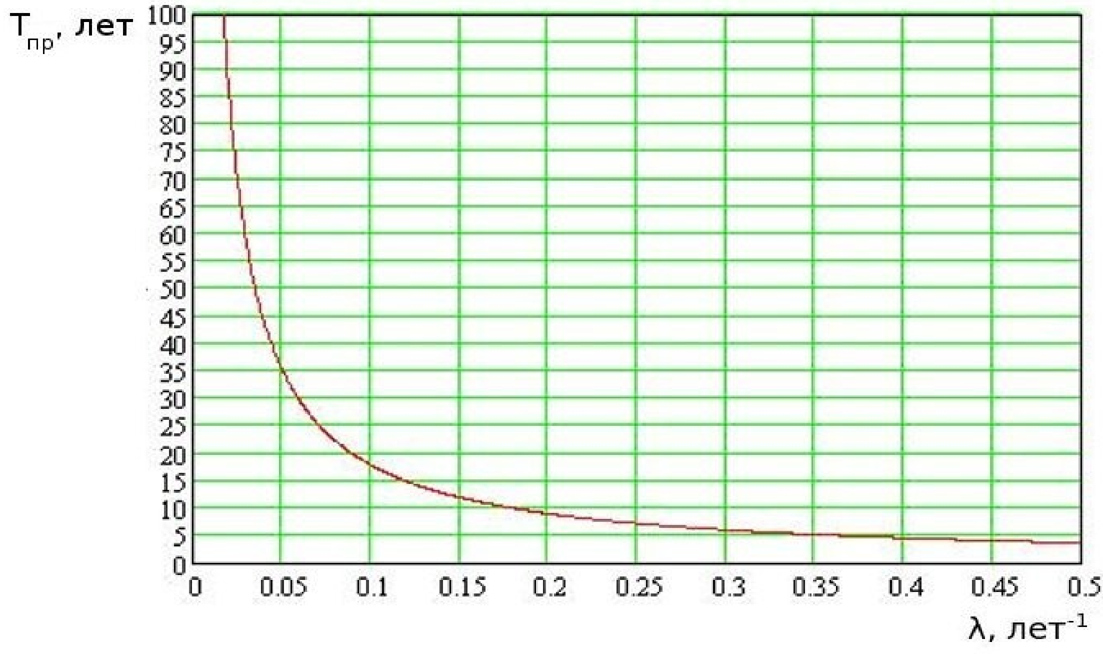

Рисунок 5 - График функции $T_{пр}(\lambda)$

Найдем среднее время исправного состояния устройства в пределах срока его эксплуатации по формуле:

$$T_{ис}=-t_э\cdot P(t,\lambda,T_{0,}\sigma)+\int_0^{t_э} P(t,\lambda,T_{0,}\sigma)\cdot dt \quad .$$

Введем следующие функции:

$$U(t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\cdot\int_{\frac{t-T_0}{\sigma}}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}}\cdot dx \quad ,$$

$$dV(t)=e^{-\lambda\cdot t_э}\cdot dt \quad ,$$

$$V(t)=-\frac{1}{\lambda}\cdot e^{-\lambda\cdot t_э} \quad .$$

В функции *U(t)* сделаем замену переменной $x=\frac{t-T_0}{\sigma}$:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\cdot\int_{\frac{t_э-T_0}{\sigma}}^{\infty} e^{\frac{-x^2}{2}}\cdot dx=\frac{e^{-\lambda\cdot t_э}}{\sqrt{2\pi}}\cdot\int_{\frac{t_э-T_0}{\sigma}}^{\infty} e^{\frac{-\left(\frac{t_э-T_0}{\sigma}\right)^2}{2}}\cdot\frac{1}{\sigma}\cdot dt \quad .$$

Тогда после замены переменной имеем следующее:

$$dU(t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\cdot\frac{d}{dt}\left(\int e^{\frac{-\left(\frac{t_э-T_0}{\sigma}\right)^2}{2}}\cdot\frac{1}{\sigma}\cdot dt\right)dt=-\frac{e^{-\frac{(t_э-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad .$$

Проинтегрируем $\int_0^{t_э} P(t,\lambda,T_{0,}\sigma)\cdot dt$ по частям:

$$\int_0^{t_э} P(t,\lambda,T_{0,}\sigma)\cdot dt=\left|\frac{-\frac{1}{\lambda}\cdot e^{-\lambda\cdot t}}{\sqrt{2\pi}}\cdot\int_{\frac{t_э-T_0}{\sigma}}^{\infty} e^{\frac{-x^2}{2}}\cdot dx\right|_0^{t_э}-\int_0^{t_э}\left(-\frac{1}{\lambda}\cdot e^{-\lambda\cdot t}\right)\cdot\frac{-e^{-\frac{(t_э-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}\cdot dt=$$

$$=\left[\left(\frac{1}{2}-\Phi_0\left(\frac{t_э-T_0}{\sigma}\right)\right)\cdot\left(-\frac{1}{\lambda}\cdot e^{-\lambda\cdot t_э}\right)-\left(\frac{1}{2}+\Phi_0\left(\frac{-T_0}{\sigma}\right)\right)\cdot\left(-\frac{1}{\lambda}\cdot e^{0}\right)\right]-\frac{1}{\lambda\sigma\sqrt{2\pi}}\int_0^{t_э} e^{-\lambda\cdot t}\cdot e^{-\frac{(t_э-T_0)^2}{2\sigma^2}}\cdot dt=$$

$$=\left[\left(\frac{1}{2}-\Phi_0(\frac{t_э-T_0}{\sigma})\right)\cdot\left(-\frac{1}{\lambda}\cdot e^{-\lambda\cdot t_э}\right)-\left(\frac{1}{2}+\Phi_0(\frac{-T_0}{\sigma})\right)\cdot\left(-\frac{1}{\lambda}\right)\right]-\frac{1}{\lambda\sigma\sqrt{2\pi}}\int_0^{t_э} e^{-\lambda\cdot t-\frac{(t_э-T_0)^2}{2\sigma^2}}\cdot dt \quad ,$$

где $\Phi_0(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\cdot\int_0^z e^{\frac{-x^2}{2}}\cdot dx$ - таблично заданная специальная математическая функция нормированного и центрированного нормального распределения случайной величины.

Принимая во внимание, что $T_0\gg\sigma$, получим:

$$\int_0^{t_э} P(t,\lambda,T_0,\sigma)\cdot dt\approx\frac{1}{\lambda}\left[e^{-\lambda\cdot t_э}\cdot\left(\Phi_0(\frac{t_э-T_0}{\sigma})-\frac{1}{2}\right)+1-\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_0^{t_э} e^{-\lambda\cdot t-\frac{(t_э-T_0)^2}{2\sigma^2}}\cdot dt\right] \quad .$$

Преобразуем показатель интегрируемой экспоненты к следующему виду:

$$-\lambda\cdot t-\frac{(t_э-T_0)^2}{2\sigma^2}=-\frac{(a\cdot t-b)^2}{2}+c \quad ,$$

где $a=\frac{1}{\sigma}$, $b=\frac{T_0}{\sigma}-\lambda\sigma$, $c=\lambda\cdot\left(\frac{\lambda\cdot\sigma^2}{2}-T_0\right)$,

и произведем в интеграле замену переменной $y=a\cdot t-b$. Тогда интеграл $\int_0^{t_э} P(t,\lambda,T_0,\sigma)\cdot dt$ примет следующий вид:

$$\int_0^{t_э} P(t,\lambda,T_0,\sigma)\cdot dt\approx\frac{1}{\lambda}\left[e^{-\lambda\cdot t_э}\cdot\left(\Phi_0(\frac{t_э-T_0}{\sigma})-\frac{1}{2}\right)+1-\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_{-b}^{a\cdot t_э-b} e^{-\frac{y^2}{2}+c}\cdot\frac{dy}{a}\right]\approx$$

$$\approx\frac{1}{\lambda}\left[e^{-\lambda\cdot t_э}\cdot\left(\Phi_0(\frac{t_э-T_0}{\sigma})-\frac{1}{2}\right)+1-\frac{e^c}{\sqrt{2\pi}}\int_{-b}^{a\cdot t_э-b} e^{-\frac{y^2}{2}}\cdot\frac{dy}{a}\right]\approx$$

$$\approx\frac{1}{\lambda}\left[e^{-\lambda\cdot t_э}\cdot\left(\Phi_0\left(\frac{t_э-T_0}{\sigma}\right)-\frac{1}{2}\right)+1-e^c\cdot\left(\Phi_0(a\cdot t_э-b)+\Phi_0(b)\right)\right] \quad .$$

С учетом вышеизложенного среднее время исправного состояния технического устройства равно:

$$T_{ис}\approx e^{-\lambda\cdot t_э}\cdot\left(\Phi_0\left(\frac{t_э-T_0}{\sigma}\right)-\frac{1}{2}\right)\cdot\left(\frac{1}{\lambda}+t_э\right)+\frac{1}{\lambda}\cdot\left[1-e^{\frac{(\lambda\cdot\sigma)^2}{2}-T_0\cdot\lambda}\cdot\left(\Phi_0\left(\frac{t_э-T_0}{\sigma}+\lambda\cdot\sigma\right)+\Phi_0\left(\frac{T_0}{\sigma}-\lambda\cdot\sigma\right)\right)\right] \quad .$$

Проверим правильность полученной формулы, сравнив ее с формулой среднего времени исправного состояния при внезапных отказах. Для этого вычислим предел среднего времени исправного состояния при внезапных и постепенных отказах при $\sigma\to 0$, $T_0\to\infty$:

$$\lim_{\substack{\sigma\to 0,\\ T_0\to\infty}} T_{ис}\approx e^{-\lambda\cdot t_э}\left(\Phi_0\left(\frac{t_э-\infty}{0}\right)-\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{\lambda}+t_э\right)+\frac{1-e^{\frac{(\lambda\cdot 0)^2}{2}-\infty\cdot\lambda}\left(\Phi_0\left(\frac{t_э-\infty}{0}+\lambda\cdot 0\right)+\Phi_0\left(\frac{\infty}{0}-\lambda\cdot 0\right)\right)}{\lambda}\approx$$

$$\approx e^{-\lambda\cdot t_э}\left(\Phi_0(-\infty)-\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{\lambda}+t_э\right)+\frac{1-e^{(0-\infty)}\left(\Phi_0(-\infty+0)+\Phi_0(\infty-0)\right)}{\lambda}\approx$$

$$\approx e^{-\lambda\cdot t_э}\left(-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{\lambda}+t_э\right)+\frac{1-e^{-\infty}\left(-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\right)}{\lambda}\approx -e^{-\lambda\cdot t_э}\left(\frac{1}{\lambda}+t_э\right)+\frac{1}{\lambda}\approx\frac{1-e^{-\lambda\cdot t_э}\cdot(\lambda\cdot t_э+1)}{\lambda} \quad .$$

Предел при $\sigma\to 0$, $T_0\to\infty$ среднего времени исправного состояния при внезапных и постепенных отказах оказался равен среднему времени исправного состояния при внезапных отказах. Таким образом, формулу среднего времени исправного состояния при внезапных и постепенных отказах можно считать достоверной.

На рисунках 6-8 показаны графики зависимости среднего времени исправного состояния от срока эксплуатации устройства.

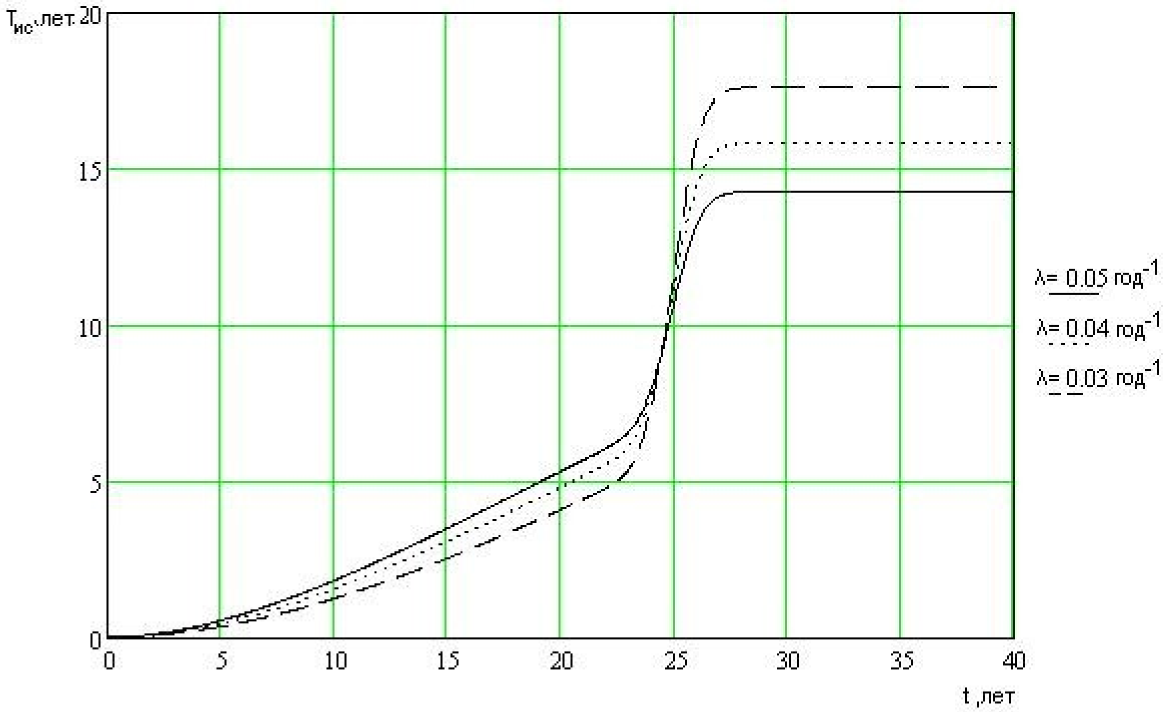

Рисунок 6 - Зависимость времени исправного состояния от срока эксплуатации устройства при *T_0=25 лет, σ=1 год λ=0.05, 0.04, 0.03 1/год*

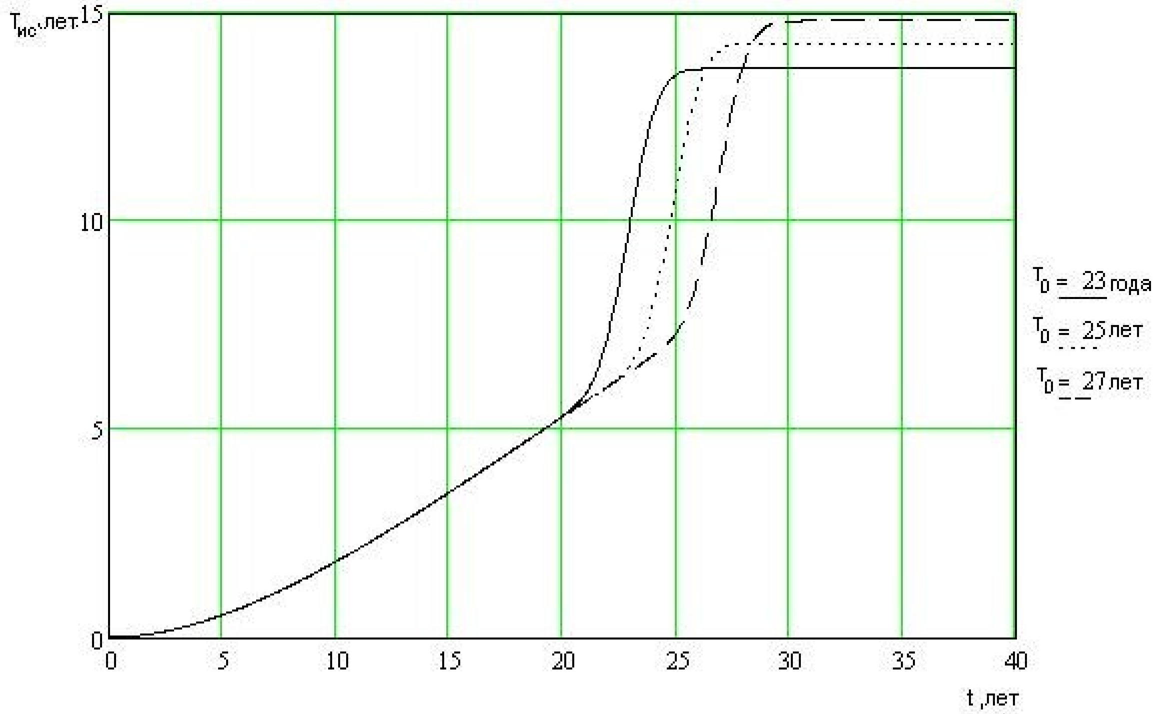

Рисунок 7 - Зависимость времени исправного состояния от срока эксплуатации устройства при *σ=1 год λ=0.05 1/год, T_0=23, 25, 27 лет*

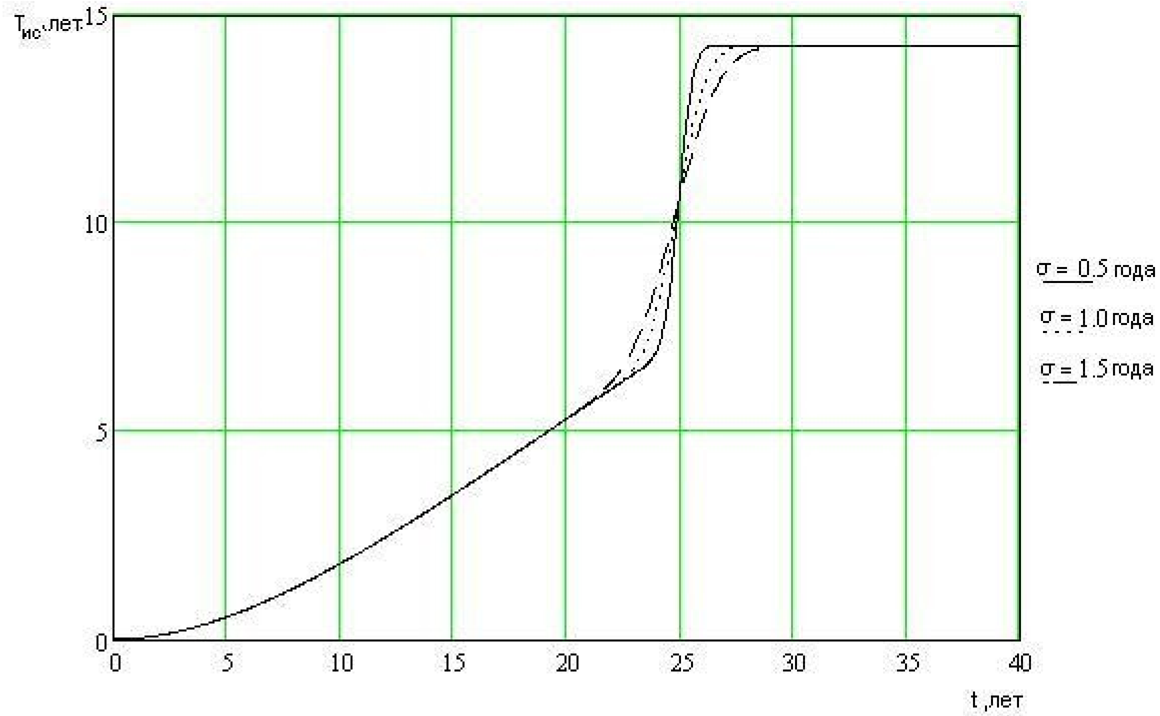

Рисунок 8 - Зависимость времени исправного состояния от срока эксплуатации устройства при *λ=0.05 1/год, T_0=25 лет, σ=0.5, 1.0, 1.5 года*

Коэффициент неисправного состояния имеет вид:

$$k=\frac{t_э}{e^{-\lambda\cdot t_э}\cdot\left(\Phi_0\left(\frac{t_э-T_0}{\sigma}\right)-\frac{1}{2}\right)\cdot\left(\frac{1}{\lambda}+t_э\right)+\frac{1}{\lambda}\cdot\left[1-e^{\frac{(\lambda\cdot\sigma)^2}{2}-T_0\cdot\lambda}\cdot\left(\Phi_0\left(\frac{t_э-T_0}{\sigma}-\lambda\cdot\sigma\right)+\Phi_0\left(\frac{T_0}{\sigma}-\lambda\cdot\sigma\right)\right)\right]}-1 .$$

На рисунках 9-11 показаны графики коэффициента неисправного состояния в зависимости от срока эксплуатации устройства.

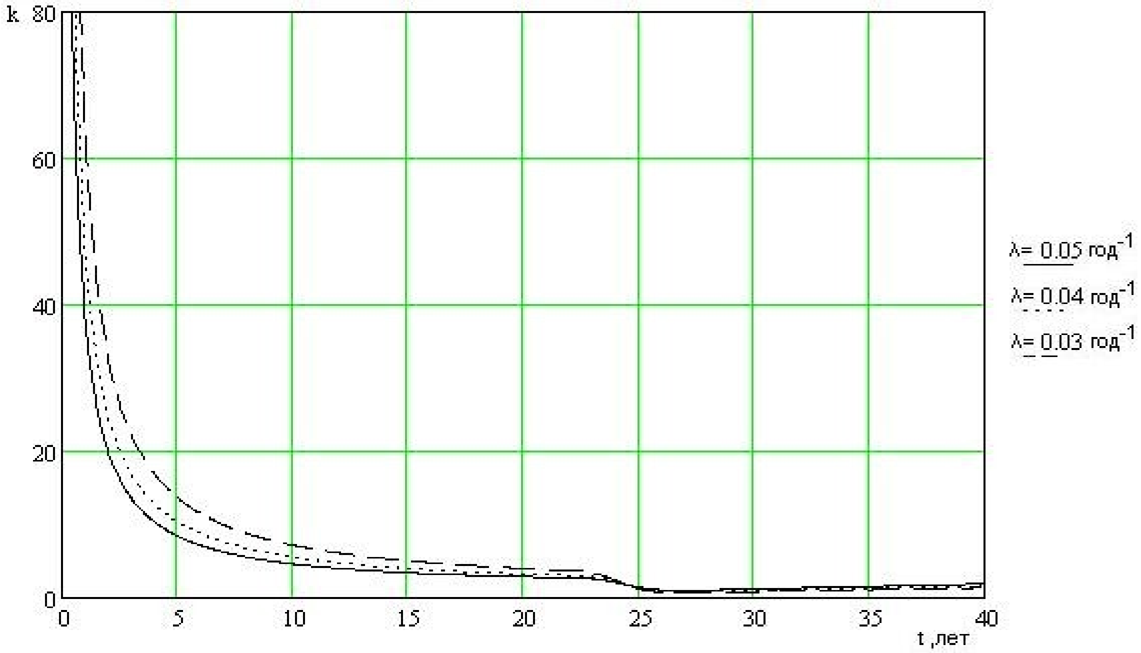

Рисунок 9 - Зависимость коэффициента неисправного состояния от срока эксплуатации устройства при *T_0=25 лет, σ=1 год λ=0.05, 0.04, 0.03 1/год*

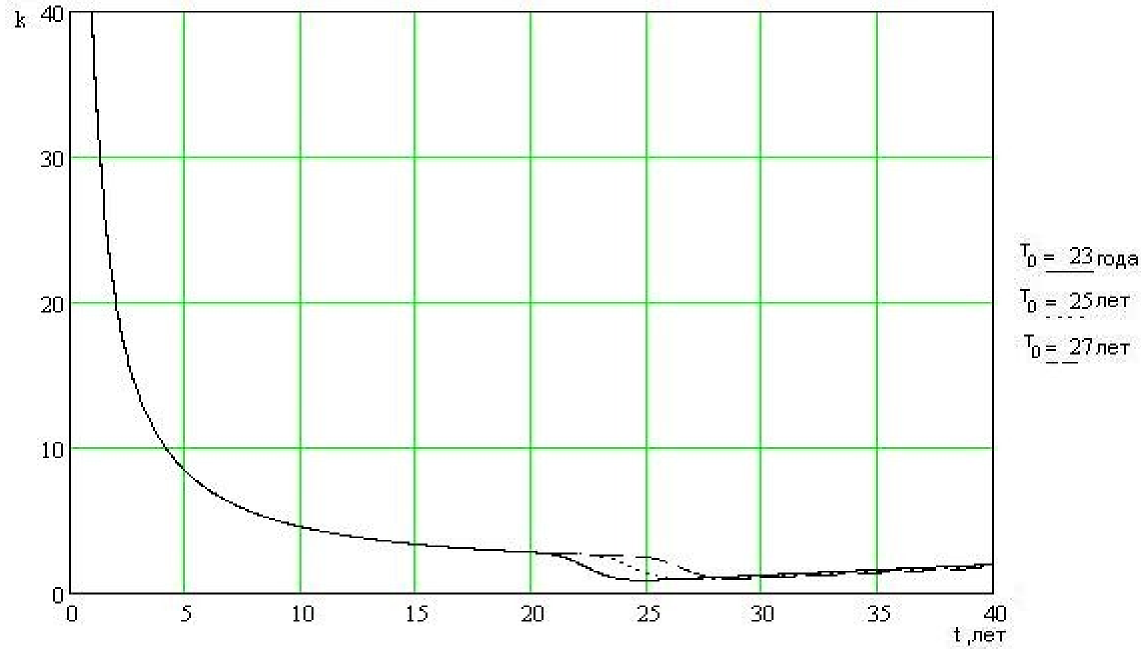

Рисунок 10 - Зависимость коэффициента неисправного состояния от срока эксплуатации устройства при *σ=1 год λ=0.05 1/год,* T_0*=23, 25, 27 лет*

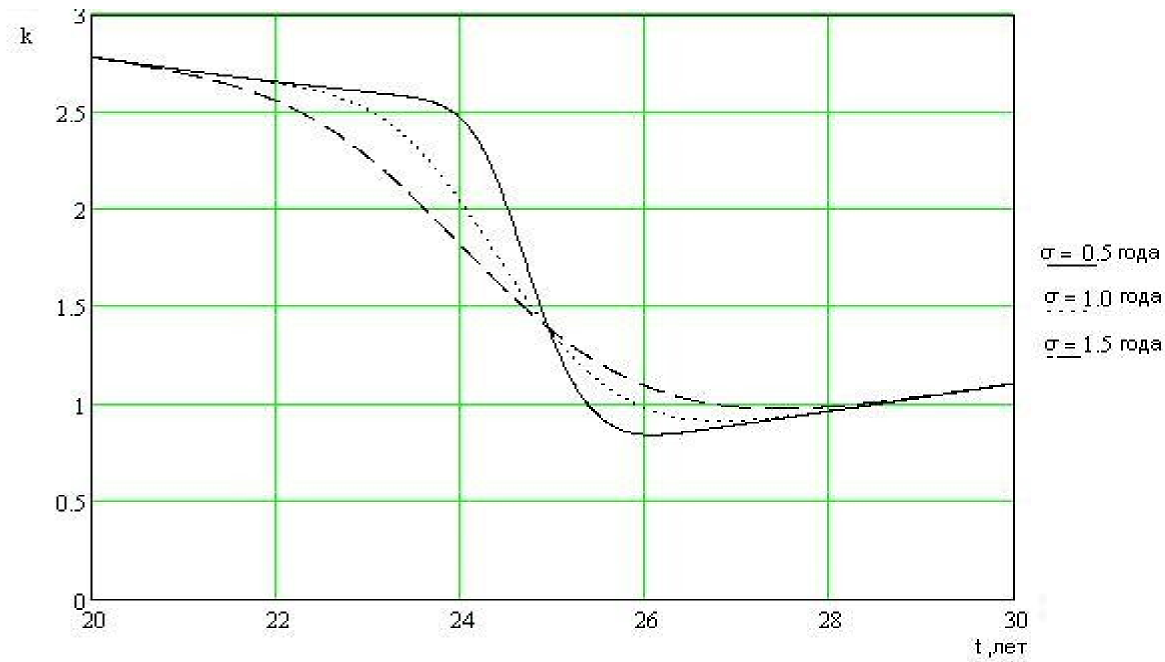

Рисунок 11 - Зависимость коэффициента неисправного состояния от срока эксплуатации устройства при *λ=0.05 1/год,* T_0*=25 лет, σ=0.5, 1.0, 1.5 года*

Производная коэффициента неисправного состояния в данном исследовании определена численно. Графики производной коэффициента неисправного состояния в зависимости от срока эксплуатации представлены на рисунках 12-14.

Из рисунков 12-14 видно, что предельный срок эксплуатации устройства при *λ=0.05 1/год, T0=25 лет, σ=1 год* составляет *27 лет*. При эксплуатации технического устройства свыше *27 лет* коэффициент неисправного состояния будет увеличиваться.

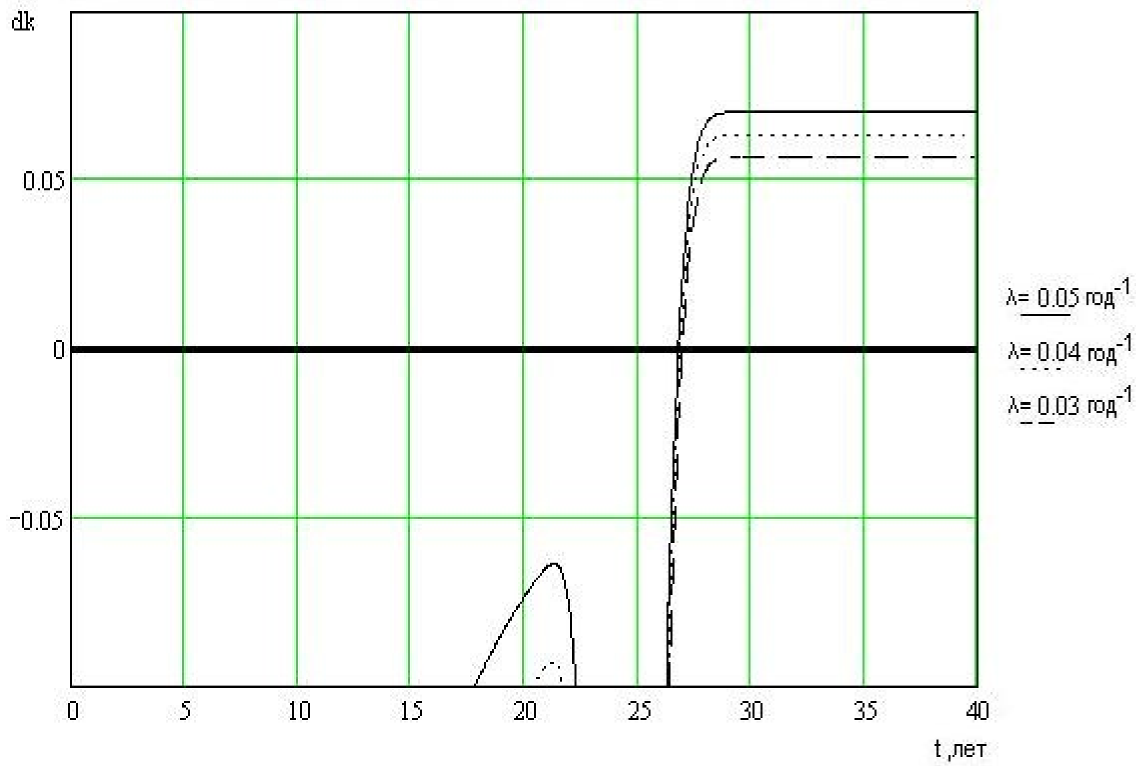

Рисунок 12 — Зависимость производной коэффициента неисправного состояния от срока эксплуатации устройства при T0=25 лет, σ=1 год λ=0.05, 0.04, 0.03 1/год

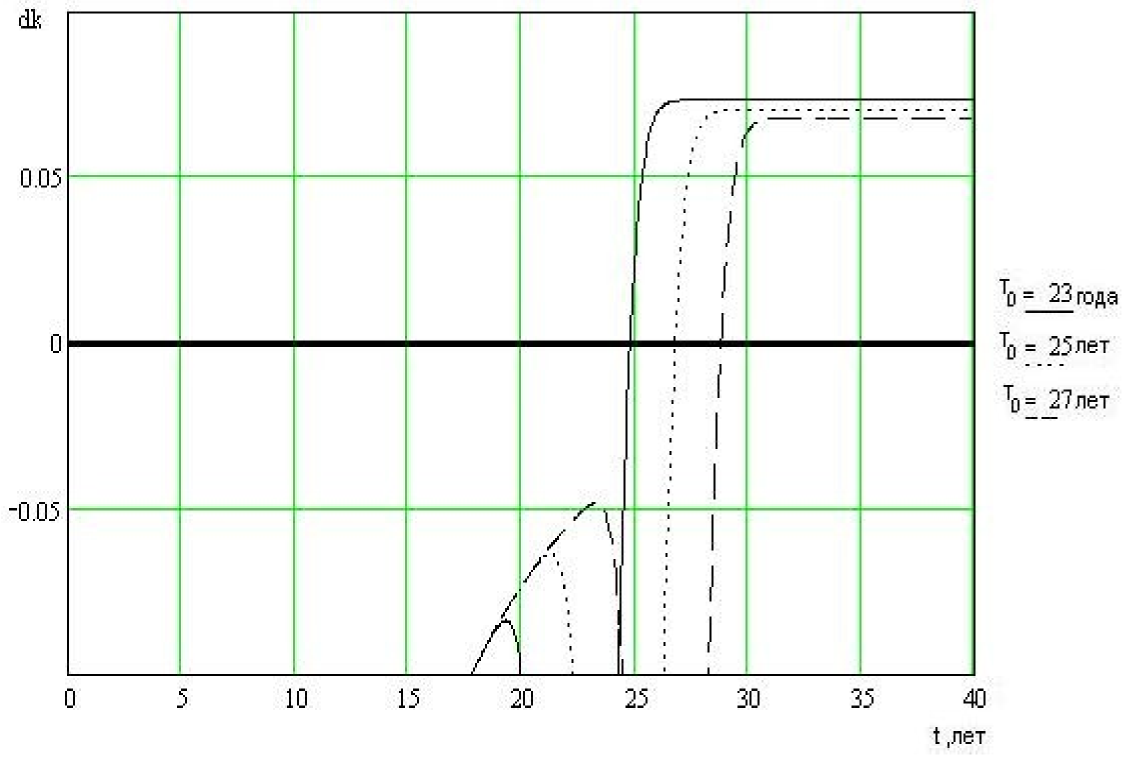

Рисунок 13 - Зависимость производной коэффициента неисправного состояния от срока эксплуатации устройства при *σ=1 год λ=0.05 1/год,* *T_0=23, 25, 27 лет*

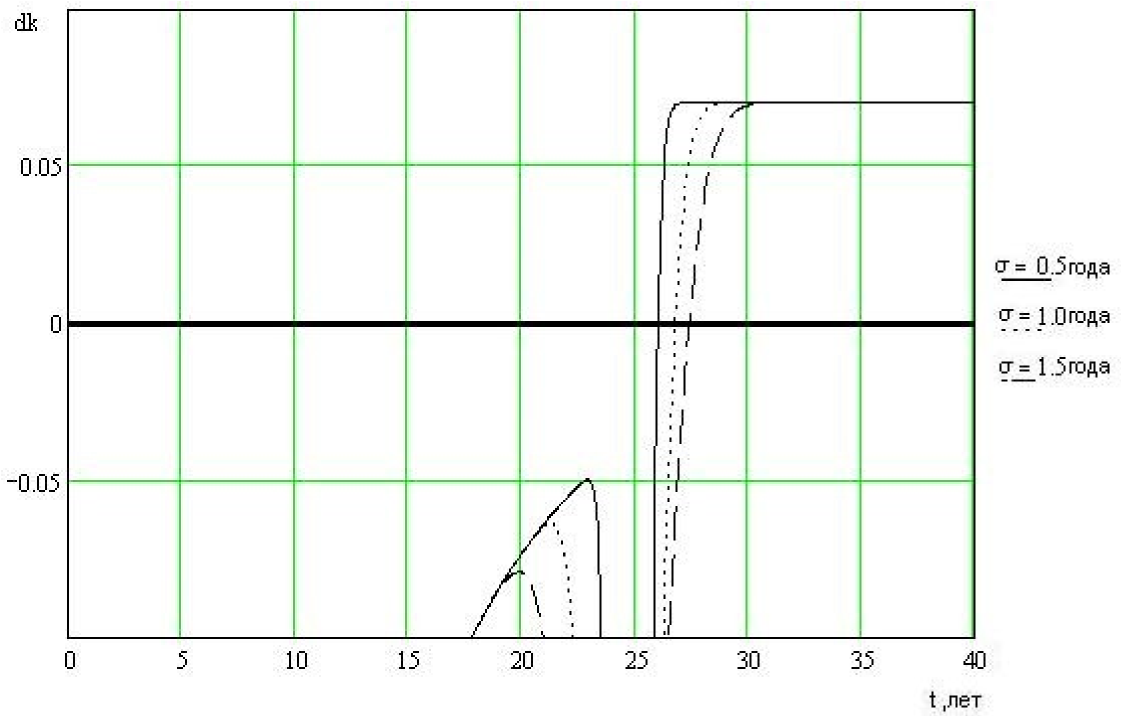

Рисунок 14 - Зависимость производной коэффициента неисправного состояния от срока эксплуатации устройства при *λ=0.05 1/год, T_0=25 лет, σ=0.5, 1.0, 1.5 года*

Таким образом, известные статистические данные об отказах невосстанавливаемых технических устройств при хранении позволяют рассчитывать предельный срок службы этих устройств по признаку безотказности. Полученная величина характеризует состояние объекта эксплуатации, при котором его безотказность еще удовлетворяет эксплуатанта. Рассчитанный срок службы может быть одним из критериев для продления назначенных сроков службы невосстанавливаемых технических устройств. Следует отметить, что получаемые оценки сроков службы учитывают только безотказность этого устройства, и не учитывают такие важные показатели, как безопасность эксплуатации и экономические расходы в пределах срока службы.

Список использованных источников

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
2. ОСТ 1 02776-2001. Эксплуатация техническая авиационной техники по состоянию. Основные положения.
3. Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др. Надежность технических систем: Справочник. Под ред. И. А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985г.
4. Степанов С.В. Профилактические работы и сроки их проведения. М. Изд-во «Советское радио», 1972, стр.136, т. 12200 экз.
5. Кузьмин Ф.И. Задачи и методы оптимизации показателей надежности. М., Изд-во «Советское радио», 1972, 224с.