

## УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ НАДЕЖНОСТИ И ЗАЩИЩЕННОСТИ ДОВЕРЕННЫХ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

### MANAGING THE PARAMETERS OF RELIABILITY AND SECURITY OF TRUSTED SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEXES

**A. Glukhov**  
**E. Belova**  
**A. Glukhov**  
**K. Turyanskaya**

*Summary.* The article presents the main provisions of a methodological approach to solving the problem of managing the actual performance of trusted software and hardware complexes to ensure that they perform their functional tasks under conditions of uncertainty in determining reliability and security parameters. The proposed approach is based on the methods of the sensitivity theory of complex systems and can be implemented with a balanced planning of measures to ensure functional, structural reliability and the development of information security management systems.

*Keywords:* trusted hardware and software complexes; functional tasks; actual performance; reliability; security; management of critical parameters.

**Глухов Александр Александрович**

директор программ, АО «Научно-производственное объединение «Критические информационные системы»  
alexander.glukhov@yandex.ru

**Белова Елена Ивановна**

аспирант, Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I  
elenabelovavm@yandex.ru

**Глухов Александр Петрович**

доктор технических наук, профессор,  
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
apgb06@yandex.ru

**Турьянская Кристина Александровна**

аспирант кафедры «Информатика и информационная безопасность»,  
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Kristina.turianskaia@gmail.com

*Аннотация.* В статье представлены основные положения методического подхода к решению задачи управления фактической производительностью доверенных программно-аппаратных комплексов с целью обеспечения выполнения ими своих функциональных задач в условиях неопределенности в определении параметров надежности и защищенности. Предлагаемый подход основан на методах теории чувствительности сложных систем и может быть реализован при сбалансированном планировании мер обеспечения функциональной, структурной надежности и развития систем управления информационной безопасности.

*Ключевые слова:* доверенные программно-аппаратные комплексы; функциональные задачи; фактическая производительность; надежность; защищенность; управление критическими параметрами.

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 14.11.2023 № 1912 «О порядке перехода субъектов критической информационной инфраструктуры РФ на преимущественное применение доверенных программно-аппаратных комплексов (ПАК) на принадлежащих им значимых объектах критической информационной инфраструктуры РФ» с 1 сентября 2024 г. на субъектах критической информационной инфраструктуры РФ должны использоваться доверенные программно-аппаратными комплексами (ДПАК).

Особенностью эффективного функционирования ДПАК как объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ), является необходимость обеспе-

чения работоспособности и безопасного выполнения своей функциональной задачи (ФЗ) [1,2].

Переход от оценивания показателей работоспособности ДПАК, к оцениванию уровня выполнения ДПАК своей функциональной задачи требует построения соответствующих моделей, существенно отличающихся степенью неопределенности, недостаточности исходных данных, в том числе наличием/отсутствием статистических данных о влиянии уровней показателей работоспособности на выполнение ФЗ.

Рассмотрим в качестве основного показателя работоспособности ДПАК такой показатель как фактическая производительность ДПАК.

Влияние производительности ПАК на выполнение ФЗ в ряде случаев достаточно исследовано, например, для систем продаж (оказания услуг) через Интернет, и существуют математические (аналитические либо имитационные) оценивания состояния степени выполнения ФЗ (например, количество обработанных заявок) в зависимости от производительности ПАК на основе имеющихся статистических данных (рисунок 1).

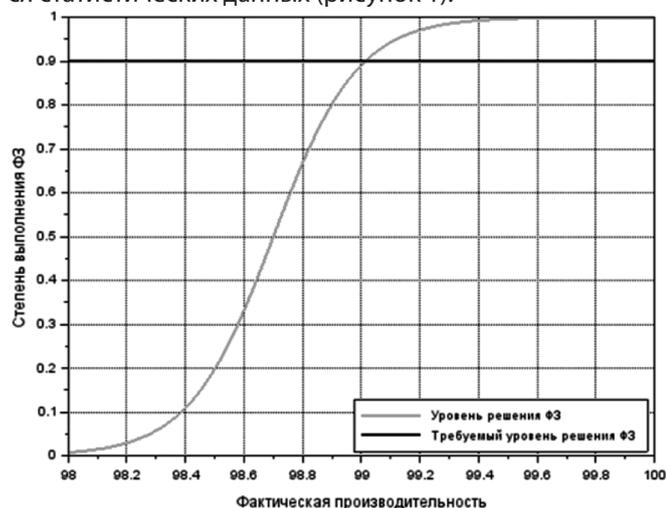


Рис. 1. Пример зависимости степени решения ФЗ от производительности ДПАК

Производительность ДПАК определим в виде:

$$Q = Q_n \cdot K_{ti} \cdot K_{gn}(t) \cdot K_{gka}(t); \quad (1)$$

где  $Q$  — фактическая производительность;

$Q_n$  — номинальная производительность;

$K_{ti}$  — коэффициент технического использования, зависящий от времени простоя ДПАК для проведения плановых ремонтов и технического обслуживания;

$K_{gn}(t)$  — коэффициент готовности, зависящий от факторов надежности вычисляемый по формуле (при экспоненциальном законе отказов и восстановлений) [3,4]:

$$K_{gn}(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu) \cdot t}; \quad (2)$$

$K_{gka}(t)$  — коэффициент готовности, зависящий от факторов защищенности ДПАК от компьютерных атак, вычисляемый по формуле

$$K_{gka}(t) = \frac{\mu_a}{\lambda_a + \mu_a} + \frac{\lambda_a}{\lambda_a + \mu_a} \cdot e^{-(\lambda_a + \mu_a) \cdot t}; \quad (3)$$

где  $\lambda$  и  $\lambda_a$  — интенсивности отказов ДПАК, определяемая интенсивностью потоков отказов комплектующих ДПАК (аппаратуры, системы связи, программного обе-

спечения и т. д.), связанными с факторами надежности ( $\lambda$ ) и — защищенности ДПАК ( $\lambda_a$ );

$\mu$  и  $\mu_a$  — интенсивности восстановления после отказов.

Характер траектории фактической производительности ДПАК представлен на рисунке 2.

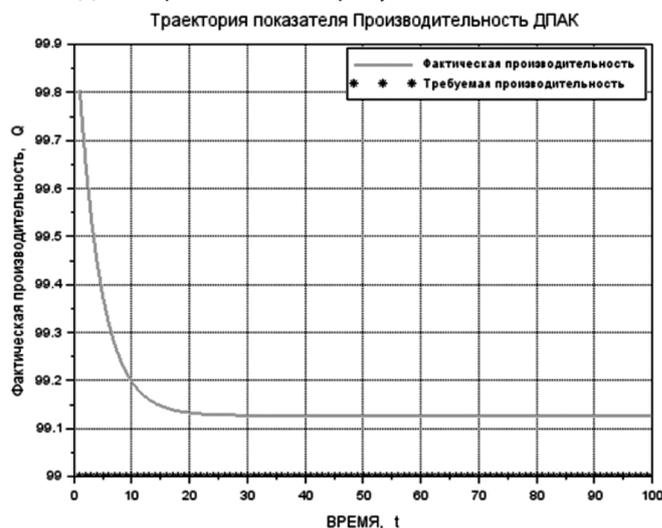


Рис. 2. Характер поведения фактической производительности ДПАК

(При проведении расчетов в данной работе приняты следующие исходные данные:

$$Q_n = 100; \quad K_{ti} = 1; \lambda = 0,0002; \lambda_a = 0,002; \mu = 0,25; \mu_a = 0,25.)$$

Требуемое (безопасное) значение производительности ДПАК может быть задано нормативно в документации, а также определяться, например, экспертным путем, на основе показателей критериев значимости по результатам категорирования ДПАК, как объекта КИИ.

При расчете траектории фактической производительности ДПАК в условиях деструктивных воздействий необходимо учитывать неопределенности значений параметров в выражениях (2) и (3) и чувствительности этого показателя к вариациям этих параметров [4,7].

Традиционным и эффективным методом оценки чувствительности при наличии статистических данных о влиянии деструктивных воздействий на системы (в т. ч. ДПАК) является построение вероятностных аналитических моделей с дальнейшим дифференцированием функции для анализа чувствительности [5,6]. Выражения для функций чувствительности к неопределенности каждого параметра модели производительности ДПАК (1) выглядят следующим образом:

$$FzQ_n = \frac{dQ}{dQ_n} = K_{ti} \cdot \frac{\mu}{\lambda + \mu} +$$

$$+ \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda+\mu)t} \cdot \frac{\mu_a}{\lambda_a + \mu_a} + \frac{\lambda_a}{\lambda_a + \mu_a} \cdot e^{-(\lambda_a+\mu_a)t}; \quad (4)$$

$$FzK_{ti} = \frac{dQ}{dK_{ti}} = Q_n \cdot \frac{\mu}{\lambda + \mu} +$$

$$+ \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda+\mu)t} \cdot \frac{\mu_a}{\lambda_a + \mu_a} + \frac{\lambda_a}{\lambda_a + \mu_a} \cdot e^{-(\lambda_a+\mu_a)t}; \quad (5)$$

$$FzT = \frac{dQ}{dt} =$$

$$= \frac{Q_n K_{ti}}{\lambda + \mu} te^{-(\lambda+\mu)t} \cdot \left( \frac{\mu_a}{\lambda_a + \mu_a} + \frac{\lambda_a}{\lambda_a + \mu_a} \cdot e^{-(\lambda_a+\mu_a)t} \right) +$$

$$+ \frac{Q_n K_{ti}}{\lambda_a + \mu_a} te^{-(\lambda_a+\mu_a)t} \cdot \left( \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda+\mu)t} \right); \quad (6)$$

$$Fz\lambda = \frac{dQ}{d\lambda} = - \frac{Q_n K_{ti} K_{gka}(0) \mu}{(\lambda + \mu)^2} +$$

$$+ \frac{Q_n K_{ti} K_{gka}(0) e^{-\mu t} \mu}{(\lambda + \mu)^2} e^{-\lambda t} - \frac{Q_n K_{ti} K_{gka}(0) e^{-\mu t}}{\lambda + \mu} te^{-\lambda t}; \quad (7)$$

$$Fz\mu = \frac{dQ}{d\mu} = \frac{Q_n K_{ti} K_{gka}(0) \lambda}{(\lambda + \mu)^2} -$$

$$- \frac{Q_n K_{ti} K_{gka}(0) e^{-\lambda t} \lambda}{(\lambda + \mu)^2} e^{-\mu t} - \frac{Q_n K_{ti} K_{gka}(0) e^{-\lambda t}}{(\lambda + \mu)} te^{-\mu t}; \quad (8)$$

$$Fz\lambda_a = \frac{dQ}{d\lambda_a} = - \frac{Q_n K_{ti} K_{gn}(0) \mu_a}{(\lambda_a + \mu_a)^2} +$$

$$+ \frac{Q_n K_{ti} K_{gn}(0) e^{-\mu_a t} \mu_a}{(\lambda_a + \mu_a)^2} e^{-\lambda_a t} - \frac{Q_n K_{ti} K_{gn}(0) e^{-\mu_a t}}{\lambda_a + \mu_a} te^{-\lambda_a t}; \quad (9)$$

$$Fz\mu_a = \frac{dQ}{d\mu_a} = - \frac{Q_n K_{ti} K_{gn}(0) \lambda_a}{(\lambda_a + \mu_a)^2} +$$

$$+ \frac{Q_n K_{ti} K_{gn}(0) e^{-\mu_a t} \lambda_a}{(\lambda_a + \mu_a)^2} e^{-\lambda_a t} - \frac{Q_n K_{ti} K_{gn}(0) e^{-\mu_a t}}{\lambda_a + \mu_a} te^{-\lambda_a t}; \quad (10)$$

Характер функций чувствительности представлен на рисунке 3.

Функции влияния изменения параметров надежности и защищенности (интенсивностей отказов и восстановлений) на производительность ДПАК определяются следующим образом:

$$Fw\lambda = \frac{dQ}{d\lambda} g_{\alpha} \sigma_{\lambda}; \quad (11)$$

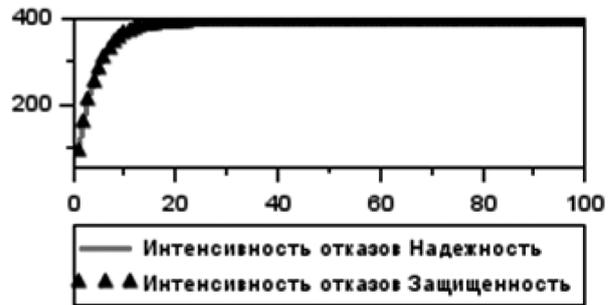
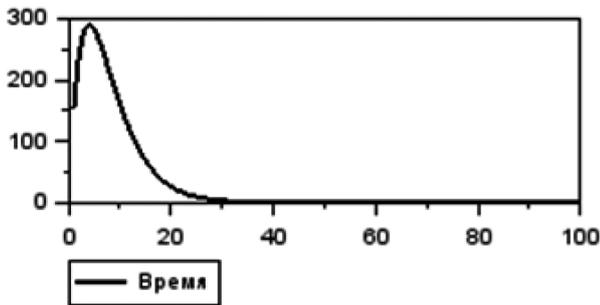
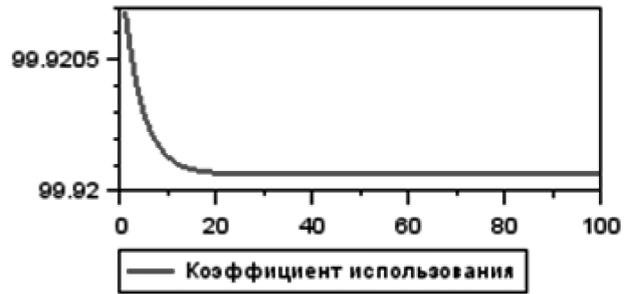


Рис. 3. Характер частных функций чувствительности фактической производительности ДПАК к параметрам модели

$$Fw\mu = \frac{dQ}{d\mu} g_{\alpha} \sigma_{\mu}; \quad (12)$$

$$Fw\lambda_a = \frac{dQ}{d\lambda_a} g_{\alpha} \sigma_{\lambda_a}; \quad (13)$$

$$Fw\mu_a = \frac{dQ}{d\mu} g_{\alpha} \sigma_{\mu_a}; \quad (14)$$

где  $g_{\alpha}$  – квантиль, соответствующая доверительной вероятности  $\alpha$ ;

$\sigma$  – среднеквадратические отклонения измерения параметров.

Частные функции влияния может быть представлена в виде геометрической суммы

ошибок определения параметров надежности

$$FWSumNg = \sqrt{Fw\lambda^2 + Fw\mu^2}; \quad (15)$$

ошибок определения параметров защищенности

$$FWSumKA_g = \sqrt{Fw\lambda_a^2 + Fw\mu_a^2}; \quad (16)$$

Совокупная функция влияния может определяться следующим образом и имеет вид (рисунок 4):

$$FWSumg = \sqrt{FWSumNg^2 + FWSumKA_g^2}; \quad (17)$$

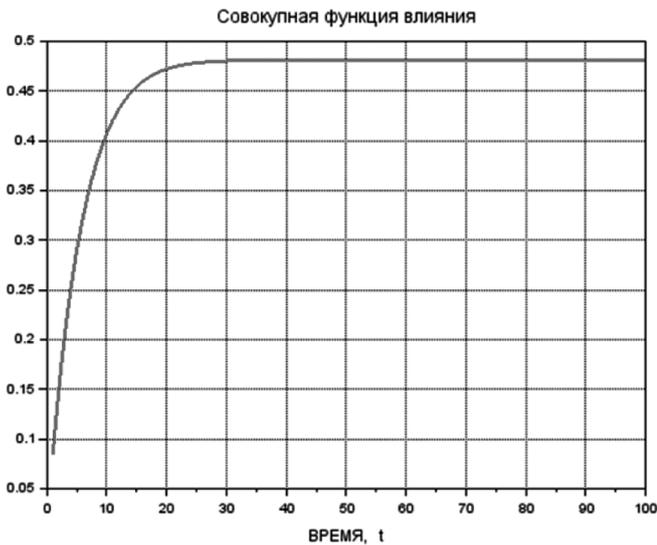


Рис. 4. Совокупная функция влияния неопределенности параметров надежности и защищенности на производительность ДПАК

$$\left( \begin{array}{l} g_{\alpha} = 0,95; \sigma_{\lambda} = 0,0001; \\ \sigma_{\mu} = 0,1; \sigma_{\lambda_a} = 0,001; \sigma_{\mu_a} = 0,1 \end{array} \right)$$

По результатам определения совокупной функции влияния может быть получена трубка траекторий поведения фактической производительности ДПАК с границами (рисунок 5):

$$\text{нижняя граница} — Q_{ng}(t) = Q(t) - FSumg(t); \quad (18)$$

$$\text{верхняя граница} — Q_{vg}(t) = Q(t) + FSumg(t); \quad (19)$$

Начиная с некоторого значения времени, нижняя граница трубки поведения фактической производительности, становится меньше уровня, требуемого для решения ДПАК своей функциональной задачи  $Q_{\text{треб}}$  (рисунок 6).

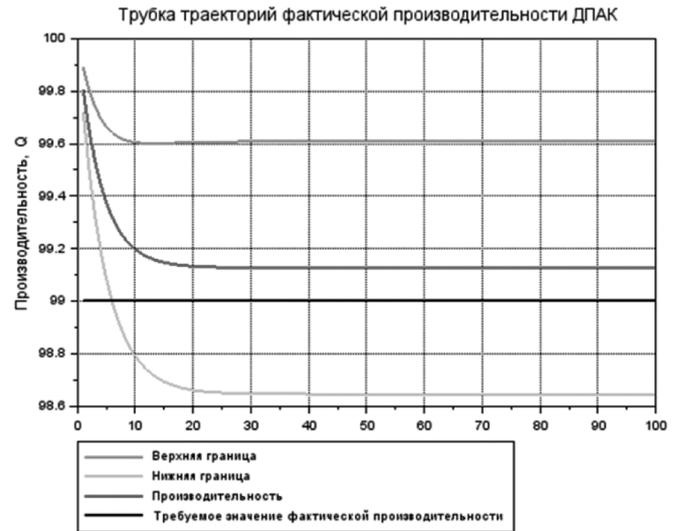


Рис. 5. Трубка траекторий поведения фактической производительности (требуемое значение фактической производительности равно 99)



Рис. 6. Скорректированная траектория нижней границы фактической производительности

В связи с этим поддержание нижней границы траектории фактической производительности на уровне не ниже требуемого является основной задачей управления функциональностью ДПАК.

Рассмотрим различные подходы к управлению производительностью как критического ресурса ДПАК КИИ.

Однопараметрическое управление фактической производительностью ДПАК

Нейтрализация совокупной функции влияния функций влияния достигается в результате нейтрализации частных функций влияния факторов надежности и защищенности. При этом однопараметрическое управление может быть сформировано из условий нейтрализации частных функций влияния факторов надежности (защищенности) за счет изменения одного из параметров надежности (защищенности).

В этом случае величина управляющего воздействия будет определяться выражениями [8]:

влияние на интенсивности отказов и восстановления (факторы надежности)

$$d\lambda(t) = \frac{FWSumN(t)}{Fz\lambda(t)}; \quad (20)$$

или

$$d\mu(t) = \frac{FWSumN(t)}{Fz\mu(t)}; \quad (21)$$

влияние на интенсивности компьютерных атак и восстановления после отказов (факторы защищенности)

$$d\lambda_a(t) = \frac{FWSumN(t)}{Fz\lambda_a(t)}; \quad (22)$$

или

$$d\mu_a(t) = \frac{FWSumKA(t)}{Fz\mu_a(t)}; \quad (23)$$

Изменение нижней границы производительности при каждом отдельном управлении будет определяться следующими зависимостями:

$$Y\lambda(t) = Q(t) = Q_n(t) + Fz\lambda(t)d\lambda(t); \quad (24)$$

$$Y\mu(t) = Q(t) = Q_n(t) + Fz\mu(t) \cdot d\mu(t); \quad (25)$$

$$Y\lambda_a(t) = Q(t) = Q_n(t) + Fz\lambda_a(t)d\lambda_a(t); \quad (26)$$

$$Y\mu_a(t) = Q(t) = Q_n(t) + Fz\mu_a(t) \cdot d\mu_a(t); \quad (27)$$

Соответственно поведение нижней границы фактической производительности в результате компенсации частных функций влияния приближается к траектории собственно фактической производительности (рисунок 6):

$$Y1(t) = Q(t) = Q_n(t) + Fz\lambda(t)d\lambda(t) + Fz\lambda_a(t)d\lambda_a(t); \quad (28)$$

$$Y2(t) = Q(t) = Q_n(t) + Fz\mu(t) \cdot d\mu(t) + Fz\mu_a(t) \cdot d\mu_a(t); \quad (29)$$

$$Y3(t) = Q(t) = Q_n(t) + Fz\lambda_a(t)d\lambda_a(t) + Fz\mu(t) \cdot d\mu(t); \quad (30)$$

$$Y4(t) = Q(t) = Q_n(t) + Fz\mu_a(t) \cdot d\mu_a(t) + Fz\lambda(t)d\lambda(t); \quad (31)$$

Управление фактической производительностью по равному вкладу параметров

Практическая реализация данного подхода к управлению фактической производительностью вытекает, например, из того, что геометрическая сумма компонент некоторого вектора (в нашем случае геометрическая сумма ошибок определения параметров отказов и восстановлений) имеет минимальное значение в том случае, когда отдельные компоненты в геометрической сумме равны между собой, а их арифметическая сумма ограничена [8,9].

В этом случае величина управляющего воздействия будет определяться выражениями:

влияние на интенсивности отказов и восстановления (факторы надежности)

$$d\lambda(t) = \frac{FWSumN(t) / 2}{Fz\lambda(t)}; \quad (32)$$

и

$$d\mu(t) = \frac{FWSumN(t) / 2}{Fz\mu(t)}; \quad (33)$$

влияние на интенсивности компьютерных атак и восстановления после отказов (факторы защищенности)

$$d\lambda_a(t) = \frac{FWSumN(t) / 2}{Fz\lambda_a(t)}; \quad (34)$$

и

$$d\mu_a(t) = \frac{FWSumKA(t) / 2}{Fz\mu_a(t)}; \quad (35)$$

Изменения нижней границы производительности будет определяться следующими зависимостями:

$$Y(t) = Q(t) = Q_n(t) + Fz\lambda(t)d\lambda(t) + Fz\mu(t) \cdot d\mu(t); \quad (36)$$

$$Y_a(t) = Q(t) = Q_n(t) + Fz\lambda_a(t)d\lambda_a(t) + Fz\mu_a(t) \cdot d\mu_a(t); \quad (37)$$

Соответственно поведение нижней границы фактической производительности в результате компенсации частных функций влияния приближается к траектории собственно фактической производительности (рисунок 6):

$$Y_1(t) = Q(t) = Q_n(t) + Fz\lambda(t)d\lambda(t) + Fz\lambda_a(t)d\lambda_a(t) + Fz\mu(t) \cdot d\mu(t) + Fz\mu_a(t) \cdot d\mu_a(t); \quad (38)$$

В случае, если изменение увеличение номинальной производительности не представляется возможным и требуемые значения нижней границы трубки траекторий фактической производительности достигаются управлением интенсивностями отказов и восстановлений (путем создания (развития) систем управления надежностью и защищенности) выражение для поведения производительности при управлении по двум компонентам (скорректированная нижняя граница при ограничении на управление по компонентам) имеет вид

$$Y(t) = Q(t) = Q_n(t) + Fz\lambda(t) \cdot d\lambda(t) \cdot k_1 + Fz\mu(t) \cdot d\mu(t) \cdot (1 - k_1) + Fz\lambda_a(t)d\lambda_a(t) \cdot k_2 + Fz\mu_a(t) \cdot d\mu_a(t) \cdot (1 - k_2); \quad (39)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  изменяются в диапазоне от 0 до 1.

В этом случае при  $k_1$  и  $k_2$  принимают значения 0 или 1, происходит управление по одной из компонент, при  $k_1$  и  $k_2 = 0,5$  управление по равному вкладу компонент.

В отдельных случаях компенсация совокупного влияния неопределенности параметров надежности и защищенности возможна и за счет изменения номинальной производительности как самостоятельно, так и совместно с изменением рассмотренных выше параметров отказов и восстановлений.

В этом случае возможное управление по номинальной производительности выглядит следующим образом:

$$dQ(t) = \frac{FWSumg(t)}{FzQ(t)}; \quad (40)$$

Соответственно скорректированная нижняя траектория фактической производительности:

$$YQ(t) = Q(t) = Q_n(t) + FzQ(t)dQ(t); \quad (41)$$

При управлении по равному вкладу трех компонент возможный вариант выглядит следующим образом:

$$YQ(t) = Q(t) = Q_n(t) + FzQ(t)dQ(t) / 3 + Fz\lambda(t)d\lambda(t) / 3 + Fz\lambda_a(t)d\lambda_a(t) / 3 + Fz\mu(t) \cdot d\mu(t) / 3 + Fz\mu_a(t) \cdot d\mu_a(t) / 3; \quad (42)$$

При всех предложенных вариантах управления параметрами нижняя граница фактической производительности в результате компенсации частных функций влияния параметров надежности и защищенности приближается к траектории фактической производительности, обеспечивающей решение функциональной задачи ДПАК (рисунок 6).

Главный недостаток всех рассмотренных подходов к управлению управления параметрами ДПАК состоит в том, что в них не учитывается экономическая составляющая управления. Учет этого фактора приведет к существенному удешевлению управления. На практике используются самые различные аппроксимации уровня затрат на повышение качества компонент сложных систем; рассмотрим наиболее подходящие для рассматриваемой задачи.

В теории синтеза допусков на факторы риска нередко используют для функции цены конструкции вида [10]  $\sum_{i=1}^n C_i \cdot \left(\frac{P_i}{D_i}\right)$  и при ограничениях  $\sum_{i=1}^n |Fz_i| \cdot D_i = eps$ , где  $C_i$  — коэффициенты затрат на управление;  $P_i$  — исходные значения компонент;  $D_i$  — управления;  $Fz_i$  — функции чувствительности.

С использованием принципа Лагранжа рассматриваемая задача сводится от задачи на условный экстремум к задаче на безусловный экстремум, к поиску оптимальных значений компонент. В качестве управляемых компонент выступают следующие, рассмотренные выше

Таблица 1.

Требуемые значения параметров ДПАК при различных вариантах управления (пример)

	Номинальная производительность	Интенсивность отказов (надежность)	Интенсивность восстановления (надежность)	Интенсивность отказов (защищенность)	Интенсивность восстановления (защищенность)
Начальные значения параметров	100	0,0002	0,25	0,002	0,25
Значения параметров при управлении по одной компоненте	-	0,00008	0,41	0,0008	0,41
Значения параметров при управлении по двум компонентам	-	0,00014	0,33	0,0014	0,33
Значения параметров при управлении по трем компонентам	100,16	0,00016	0,3	0,0016	0,3

компоненты, влияющие на фактическую производительность ДПАК:

$Q_n$  – номинальная производительность (D1);

$K_{ti}$  – коэффициент технического использования (D2);

$K_{gn}(t)$  – коэффициент готовности, зависящий от факторов надежности ДПАК (D3);

$K_{gka}(t)$  – коэффициент готовности, зависящий от факторов защищенности (D4).

Запишем функцию Лагранжа в виде:

$$FL(D_1, D_2, D_3, D_4, \lambda) = \sum_{i=1}^4 C_i \cdot \left(\frac{P_i}{D_i}\right) + \lambda \left(\sum_{i=1}^n |Fz_i| \cdot D_i - eps\right); \quad (43)$$

Аналитическое решение задачи найдено путем получения и приравнивания нулю производных по  $D_i$  и  $\lambda$  [10]:

$$D_i = \frac{eps \cdot \left(\frac{(C_i \cdot P_i)^2}{|Fz_i|}\right)}{\sum_{i=1}^4 \left(|Fz_i| \cdot \left(\frac{(C_i \cdot P_i)^2}{|Fz_i|}\right)\right)}; \quad (44)$$

Можно осуществить минимизацию неопределенности компонент при заданном уровне затрат. В этом случае ограничение и целевая функция меняются местами.

Задается целевой функционал вида (8) или (9)

$$FWsum1 = \sqrt{(FzQ_n \cdot D1)^2 + (FzK_{ti} \cdot D2)^2 + (FzK_{gn} \cdot D3)^2 + (FzK_{gka} \cdot D4)^2}$$

Или (45)

$$FWsum2 = FzQ_n \cdot D1 + FzK_{ti} \cdot D2 + FzK_{gn} \cdot D3 + FzK_{gka} \cdot D4, \quad \text{при ограничении}$$

$$\sum_{i=1}^4 C_i \cdot \left(\frac{P_i}{D_i}\right) = C_{зад}. \quad (46)$$

Рассмотренный выше функционал (42) является более подходящими для управления ресурсами в области линейных конструкций для факторов риска [11], и менее пригоден для управления по всей глубине вариаций компонент модели ресурса.

Действительно, функция цены (коэффициент затрат) должна зависеть не только от номера компоненты, но и от ее текущего значения. Такой характер функционала

соответствует логике управления — возрастают затраты по мере совершенствования компоненты, а сведение этого свойства до некоторого максимального (максимального) значения было бы невозможно ввиду неограниченности потребных для этого затрат. Вид функции цены для совершенствования отдельного компонента в пределе может быть выражен таким образом [11]:

$$C(x_k) = \int_{x_k} C(k) \frac{d\delta_k}{\delta(x_k)}; \quad (47)$$

где  $C(k)$  — коэффициент пропорциональности затрат для улучшения  $k$ -ой составляющей на малую величину.

Применительно к рассматриваемой задаче будем иметь

$$FL(D_1, D_2, D_3, D_4) = \int_{P1}^{D1} C1(D1) \cdot \frac{1}{Q_{max} - D1} dD1 + \int_{P2}^{D2} C2(D2) \cdot \frac{1}{1 - D2} dD2 + \int_{P2}^{D3} C2(D3) \cdot \frac{1}{1 - D3} dD3 + \int_{P4}^{D4} C4(D4) \cdot \frac{1}{1 - D4} dD4; \quad (48)$$

В качестве ограничения при минимизации данной функции задается требуемый уровень фактической производительности ДПАК:

$$Q_n \cdot K_{ti} \cdot K_{gn}(t) \cdot K_{gka}(t) = Q_{треб} + FWsum; \quad (49)$$

Пределы интегрирования для отдельных компонент выбраны из необходимости повышения их уровня, при этом диапазоны допустимого управления компонентами:

$$Q_{max} \geq D1 \geq Q_n; 1 \geq D2 \geq K_{ti}; 1 \geq D3 \geq K_{gn}; 1 \geq D4 \geq K_{gka}. \quad (50)$$

Рассмотренный функционал является вполне подходящим для управления ресурсами не только в области линейных конструкций для факторов риска, но и для управления по всей глубине вариаций компонент модели ресурса непрерывной системы.

При постоянных коэффициентах затрат функционал (48) имеет аналитическое разрешение, что еще больше облегчает поиск его экстремума при ограничениях (49) и (50).

$$FL(D_1, D_2, D_3, D_4) = C1 \cdot \ln \frac{Q_{max} - P1}{Q_{max} - D1} + C2 \cdot \ln \frac{1 - P2}{1 - D2} + C3 \cdot \ln \frac{1 - P3}{1 - D3} + C4 \cdot \ln \frac{1 - P4}{1 - D4};$$

Таким образом, если необходимо найти и обеспечить управления  $\delta_{x_k}$ , доставляющие минимум функционалу,

представляемому арифметической или геометрической суммами (определяется функциональными свойствами системы)

$$\sum_{k=i}^k \delta_{x_k} \left( \sqrt{\sum_{k=i}^k (\delta_{x_k})^2} \right); \quad (51)$$

при ограничении

$$C(x_k) = \sum_k \int C(x_k) \ln \frac{dx_k}{\delta_o(x_k)} dx_k = C_{зад}; \quad (52)$$

то целевая функция представляется как функция Лагранжа и записывается в следующем виде /6/:

$$\begin{aligned} & \phi(x_{k1}, \lambda) = \\ & = \sum_k \delta_{x_k} + \lambda \left( \sum_k \int C(x_k) \ln \frac{dx_k}{\delta_o(x_k)} dx_k - C_{зад} \right) \end{aligned} \quad (53)$$

## Вывод

Таким образом предложен подход и алгоритмы управления таким критическим показателем, как фактическая производительность, часто непосредственно влияющего на выполнение ДПАК функциональной задачи и являющегося интеграционным показателем качества функционирования ДПАК КИИ, учитывающим факторы надежности и защищенности.

Найдены рациональные решения по управлению факторами риска для различных подходов к управлению в условиях их неопределенности, вполне подходящие для управления ресурсами не только в области линейных конструкций для факторов риска, но и для управления по всей глубине вариаций компонент моделей ресурса.

Реализация предложенного подхода управления критическими параметрами ДПАК позволяет перейти к сбалансированному построению надежных ДПАК и систем управления информационной безопасности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глухов А.П., Корниенко А.А., Ададунов С.Е., Белова Е.И. Оценка информационной безопасности бизнес-процессов // Автоматика, связь, информатика. 2023. №7. С. 17–20.
2. Глухов А.П., Белова Е.И., Глухов А.А. Подход к оцениванию функциональности доверенных программно-аппаратных комплексов // Интеллектуальные технологии на транспорте, №2 (38), 2024, стр. 69–76.
3. Риск-модели информационной безопасности: учебное пособие / А.А. Корниенко, С.В. Корниенко, А.П. Глухов, М.Л. Глухарев. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2021. — 77с.
4. Зиновьев П.А. Инженерные методы расчета функциональной надежности и живучести корпоративных информационных систем / П.А. Зиновьев, А.В. Мейко, В.С. Моисеев // Монография. Казань: Отечество. 2009. 256 с.
5. Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем управления. М.: Наука. — 1981. — 464 с.
6. Глухов А.П., Корниенко А.А., Ададунов С.Е., Чичков С.Н. / Чувствительность бизнес-процессов к компьютерным атакам // Автоматика, связь, информатика. 2023. №11. С. 18–21.
7. Глухов А.П., Котяшев Н.Н., Купцов А.В. Оценка чувствительности ресурсов и рисков применения систем критических приложений к влияющим факторам // Стратегическая стабильность, №1, 2007. — с. 20–24.
8. Глухов А.П., Котяшев Н.Н., Лукин В.Л. Управление ресурсами проектируемых систем и комплексов критических приложений с заранее поставленными для них целями управления в условиях воздействий // Двойные технологии, №1, 2008 г., стр. 46–55.
9. Глухов А.П. Параметрические модели поведения ресурсов и алгоритмы обеспечения реализуемости функциональных задач автоматизированными системами управления критического применения // Естественные и технические науки, 2015г., № 7(85), стр. 88–100.
10. Василенко В.В., Котяшев Н.Н., Корнеев В.В. Аналитические представления процессов риска в комплексах и системах критических приложений // Двойные технологии, №1, 2002г. — с. 20–24.
11. Гехер К. Теория чувствительности и допусков электронных цепей. Пер. с английского. М.: Советское радио. 1973. — 200 с.
12. Кочубиевский И.Д. Динамическое моделирование и испытания технических систем. М: Энергия. 1978. — 303 с.