

DOI 10.37882/2223-2966.2025.01.12

## ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПАРАМЕТРАМИ НАДЕЖНОСТИ И ЗАЩИЩЕННОСТИ ДОВЕРЕННЫХ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ НЕЧЕТКИХ ДАННЫХ

AN APPROACH TO MANAGING THE RELIABILITY AND SECURITY PARAMETERS OF TRUSTED HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEXES WITH FUZZY DATA

A. Glukhov  
Yu. Stepannikov  
A. Glukhov

**Summary.** The article considers the main provisions of the methodological approach to solving the problem of managing the reliability and security parameters of trusted hardware and software complexes in the interests of their guaranteed performance of their functional tasks. The proposed approach can be used in the creation and improvement of systems for monitoring and managing the reliability and information security of trusted software and hardware systems.

**Keywords:** trusted software and hardware systems, reliability, protection from computer attacks. functional tasks, performance indicators.

**Т**ехнологическая независимость и безопасность критической информационной инфраструктуры (КИИ) подразумевает использование доверенных программно-аппаратных комплексов (ДПАК). При этом под программно-аппаратным комплексом (ПАК) понимают комплекс совместно работающих технических и программных средств, предназначенных для выполнения одной или нескольких специальных задач.

Надежность ДПАК можно охарактеризовать как свойство комплекса выполнять свои функции при работе в заданных режимах, условиях применения, стратегиях технического обслуживания, хранения и транспортирования. Она может включать в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость в отдельности или определенное сочетание этих свойств как для объекта, так и для его частей. Требования к ДПАК по надежности выражаются в соответствующих количественных показателях.

**Глухов Александр Александрович**  
директор программ по информационно-телекоммуникационным системам,  
АО «Научно-производственное объединение  
«Критические информационные системы»  
alexander.glukhov@yandex.ru

**Степанников Юрий Михайлович**  
главный специалист, Центр компетенций  
по информационной безопасности —  
структурное подразделение ОАО «РЖД»  
yury.stepannikov@yandex.ru

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

**Аннотация.** Рассмотрены основные положения методического подхода к решению задачи управления параметрами надежности и защищенности доверенных программно-аппаратных комплексов в интересах гарантированного выполнения ими своих функциональных задач. Предлагаемый подход может применяться при создании и совершенствовании систем мониторинга и управления надежностью и информационной безопасностью доверенных программно-аппаратных комплексов.

**Ключевые слова:** доверенные программно-аппаратные комплексы, надежность, защищенность от компьютерных атак. функциональные задачи, показатели качества функционирования.

Защищенность ДПАК характеризуется количественными или качественными показателями безопасности информации, определяющими уровень требований, предъявляемых к конфиденциальности, целостности и доступности этой информации и реализуемых при ее обработке в условиях внешних угроз, в том числе компьютерных атак.

В соответствии с определением доверенного программно-аппаратного комплекса (ДПАК) (ГОСТ ПНСТ 905-2023) основным признаком ДПАК является решение ими заявленных функций (функциональных задач — ФЗ), что определяет необходимость перехода от технических характеристик надежности и защищенности к качественным и/или количественным показателям выполнения (невыполнения) (показателям качества функционирования — ПКФ) ДПАК своих ФЗ [1].

С учетом сложности и комплексного характера проблемы анализа функциональности ДПАК уровне

управления бизнес-процессов и решаемых ДПАК функциональных задач, произвести оценивание функциональности только на основе одного какого-либо показателя не всегда возможно. Целесообразно рассматривать совокупность показателей (в том числе и показатели надежности и защищенности, непосредственно влияющие на интегральные показатели функциональности), включающую как количественные, так и качественные характеристики.

Функциональной задачей ДПАК могут быть обработка требуемого количества заявок внешних и/или внутренних пользователей, своевременное выполнение технологических операций, проведение достоверных расчетов, формирование планов, отчетов и т.п.

В качестве основных показателей качества функционирования ДПАК (ПКФ ДПАК) могут служить интегральные показатели надежности и защищенности от компьютерных атак, например:

- фактическая производительность по количеству обрабатываемых запросов и время реакции на запрос;
- вероятность безотказной работы, характеризующая выполнение технологических операций в течение заданного периода функционирования;

- коэффициент готовности;
- такие показатели, в том числе качественные, как своевременность, полнота, достоверность, актуальность и др. данных формирования планов, проведения расчетов и т.п., определенные для решения ФЗ конкретными ДПАК.

В свою очередь ПКФ ДПАК зависят от таких параметров деструктивных воздействий как

- интенсивности отказов ДПАК, определяемая интенсивностью потоков отказов комплектующих ДПАК (аппаратуры, системы связи, программного обеспечения и т.д.), связанными с факторами надежности и защищенности от компьютерных атак (КА) ДПАК;
- интенсивности восстановления после отказов ДПАК и их элементов вследствие влияния факторов надежности и защищенности от КА.

При наличии нечетких данных о параметрах ДПАК и деструктивных воздействиях на них необходима разработка соответствующих моделей и алгоритмов оценивания и управления надежностью и защищенностью ДПАК с целью обеспечения выполнения ФЗ.

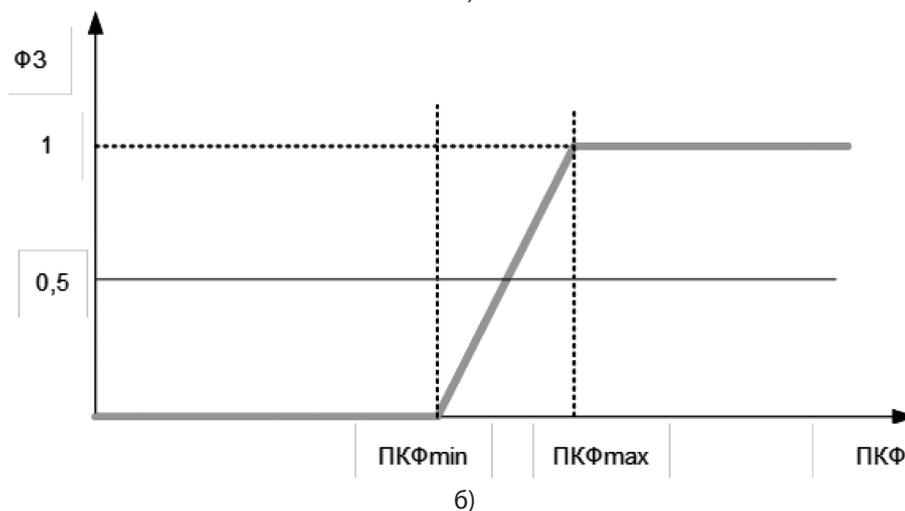
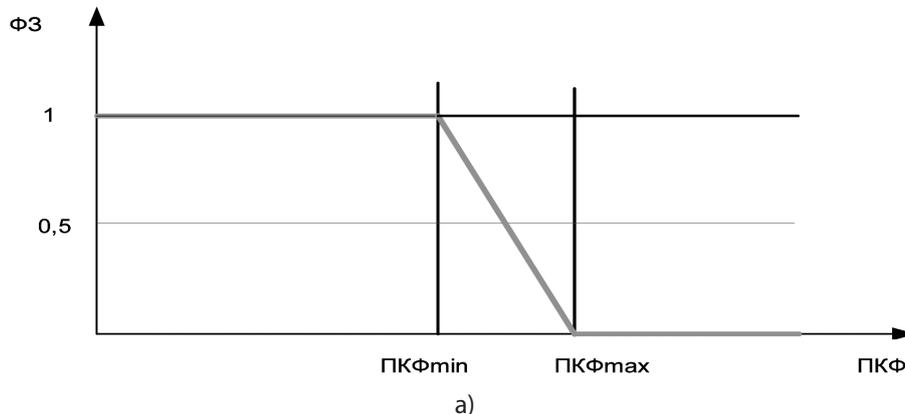


Рис. 1. Зависимость качества выполнения ФЗ от состояния ПКФ ДПАК

Несмотря на некоторую аналогию нечетких моделей с вероятностными моделями, существенное их отличие состоит в том, что неопределенность связана не со случайностью, а с имеющимися неточностями и неопределенностями параметров модели ввиду отсутствия статистических данных и необходимостью использования мнений и оценок экспертов.

Зависимость качества выполнения ДПАК своей ФЗ от состояния критического ПКФ может быть в виде, представленном на рисунке 1.

Поведение показателей в соответствии с графиком на рисунке 1а характерно, например, для случая, когда в качестве ПКФ выступают временные показатели выполнения ФЗ.

В случае, представленном на рисунке 1б, если ПКФ ДПАК (например, фактическая производительность ДПАК) меньше или равен минимально допустимого (безопасного) значения  $ПКФ_{min}$ , то качество выполнения ФЗ недопустимо низкое (равно 0). Если ПКФ ДПАК находится в интервале от  $ПКФ_{min}$  до  $ПКФ_{max}$ , то качество выполнения плавно меняется от критического (0) до безопасного (1). При ПКФ ДПАК больше  $ПКФ_{max}$  имеется полная уверенность в высоком выполнении ДПАК своей функциональной задачи.

Оценку выполнения ДПАК ФЗ в условиях деструктивных воздействий и вызванных ими отказов можно провести на основе количественных и качественных показателей, используя лингвистический подход с терминами «критическое» состояние, «допустимое» и «безопасное» (при трехуровневом нечетком классификаторе) или, например, с терминами «критическое», «близкое к критическому», «допустимое или среднее», «близкое к безопасному», «безопасное» (при пятиуровневом нечетком классификаторе).

При трехуровневом нечетком классификаторе «критическое» состояние ПКФ ДПАК (К), «допустимое или среднее» (Д), и «безопасное» (Б) имеется три соответствующие функции принадлежности (пример на рисунке 2).

При использовании методов теории нечетких множеств наибольшую сложность представляет описание функций принадлежности (ФП), определяющим степень принадлежности произвольного элемента универсального множества (альтернативы) нечеткому множеству. Как правило, функции принадлежности строятся либо на основе статистической информации, либо при участии эксперта (группы экспертов) [2].

Базовой проблемой математической формализации неопределенных параметров сложных систем и частных критериев является представление различных неопределенных характеристик в единой универсальной форме [3]. На практике при формальном описании реальных неопределенностей наиболее часто используются три основных способа представления. Неопределенные характеристики могут быть заданы нечеткими интервалами, четкими интервалами или распределениями вероятностей.

Одним из основных способов представления неопределенностей принят нечетко-интервальный подход. Функции распределения вероятностей  $f(x)$  могут трансформироваться в трапецеидальные нечетко-интервальные функции принадлежности  $\mu(x)$  путем кусочно-линейной аппроксимации  $f(x)$ .

На рис. 3 графически проиллюстрирована процедура трансформации  $f(x)$  в  $\mu(x)$ , сохраняющая качественную и количественную информацию о размерах и расположениях доверительных интервалов распределения вероятности на  $\alpha$ -уровнях нечетко-интервальных чисел. Очевидно, что чем гуще сетка  $\alpha$ -уровней, тем точнее результат трансформации [3].

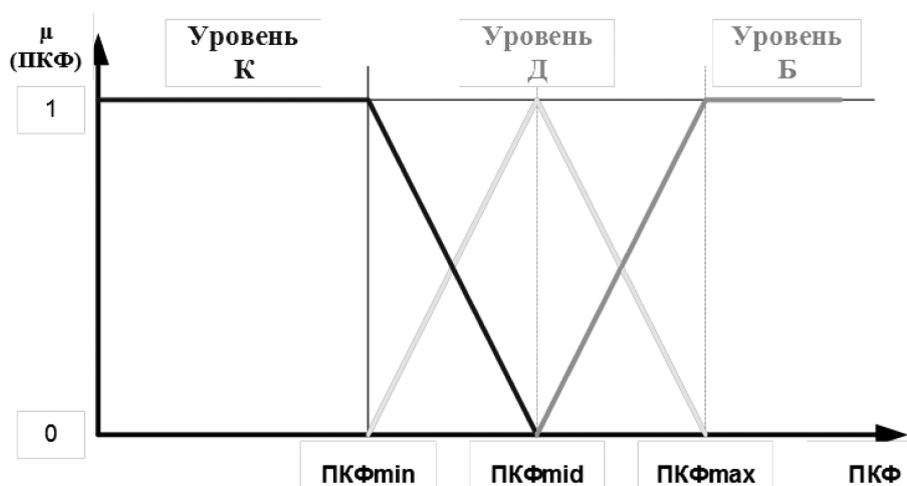


Рис. 2. Функции принадлежности ПКФ ДПАК при трехуровневом нечетком классификаторе

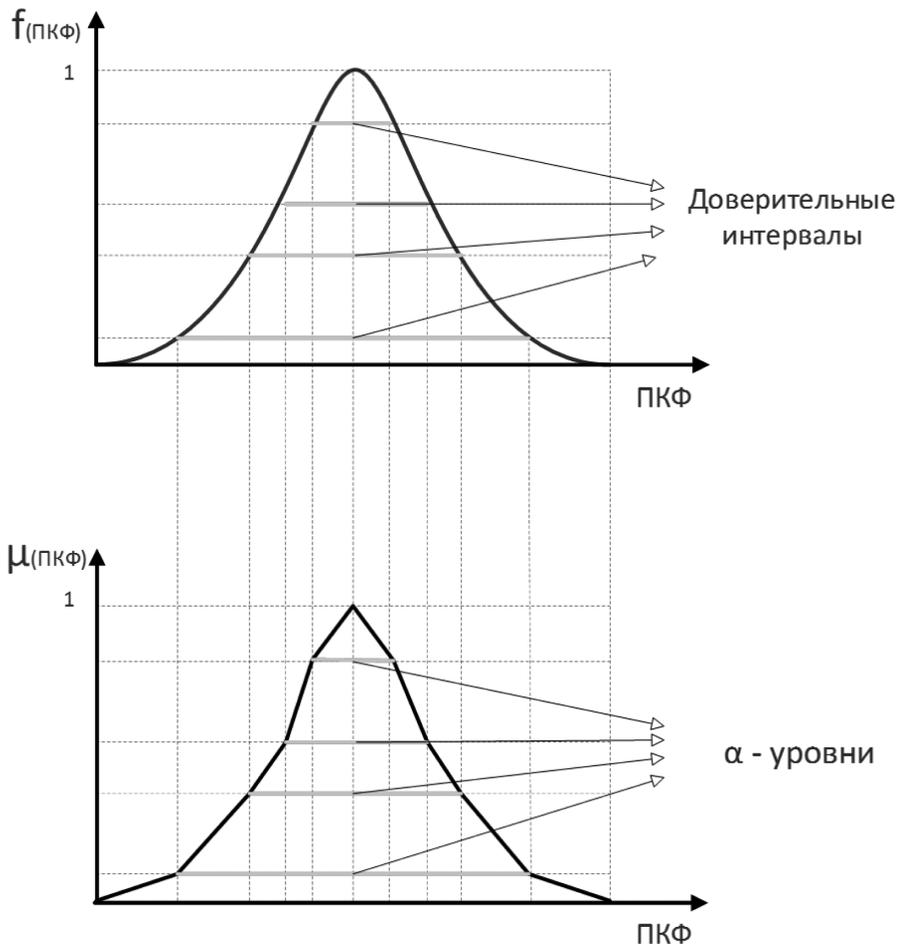


Рис. 3. Схема трансформации вероятностной функции в функцию принадлежности

Таким образом, функция принадлежности текущего состояния ( $T_c$ ) ПКФ ДПАК в условиях деструктивных может быть определена на основе имеющихся статистических данных о влиянии факторов надежности и защищенности на выполнение ДПАК своих функциональных задач либо, при их отсутствии, на основе мнений экспертов.

Для оценивания текущего состояния, например, при треугольных функциях принадлежности, являющихся частным случаем трапециевидальных ФП, выполнения ДПАК своей ФЗ и отнесение его к одному из уровней безопасности (например, К, Д, Б) рассчитываются абсолютные и относительные расстояния Хемминга, а также квадратичные расстояния Евклида для определения минимума текущего значения ФП и каждым из нечетких множеств ПКФ ДПАК, соответствующих ФП ПКФ ДПАК (К, Д, Б).

Например, текущее состояние ПКФ ДПАК ( $T_{тек}$ ), представленное на рисунке 4, отнесено к «безопасному».

Вместе с тем, возможны варианты, когда проведенные экспертное нечеткое прогнозирование изменения требований к ПКФ ДПАК для решения перспективных

ФЗ, состояния ДПАК в результате возможного увеличения отказов ДПАК при изменении параметров надежности и защищенности от КА, покажет несоответствие в будущем текущего состояния ПКФ новому требуемому значению (рисунок 5)

Отметим, что нечеткое прогнозирование ИБ основано на построении функции принадлежности нечеткого числа.

Групповая экспертная оценка задает исходный интервал возможных значений прогнозного показателя, где определяется минимальное и максимальное значения левой и правой границы интервала прогноза.

Итерационная процедура сужения интервала прогноза до нечеткого числа заключается в следующем [4]. Интервал прогноза текущей итерации разбивается на три перекрывающихся подинтервала равной длины, и проводится определение их приоритетов на основе метода анализа иерархий Саати [5]. С учетом приоритетов производится сужение интервала прогноза и его сравнение с интервалом достоверности нечеткого числа, в качестве средне ожидаемого которого принима-

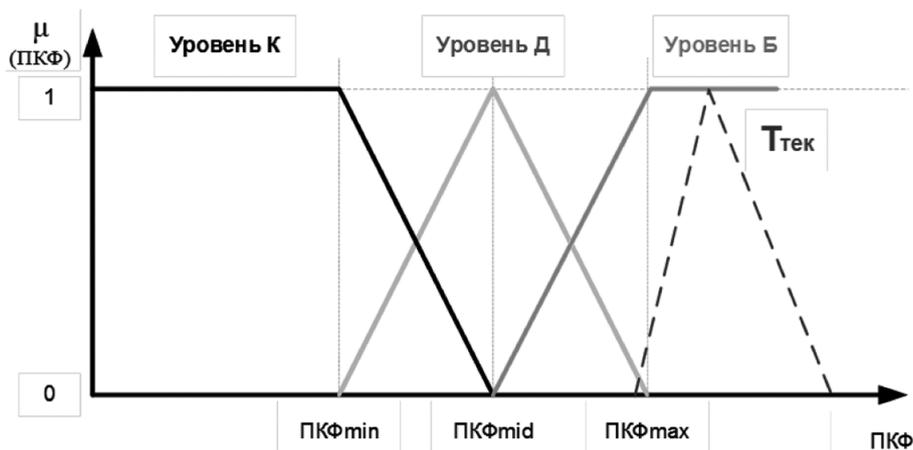


Рис. 4. Функции принадлежности для текущего и требуемого ПКФ для гарантированного выполнения ДПАК своей ФЗ

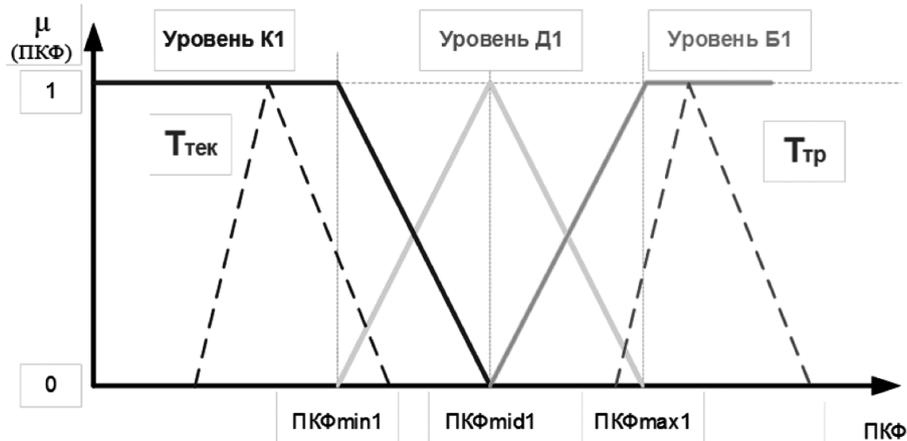


Рис. 5. Функции принадлежности для текущего и требуемого (прогнозного) состояния ПКФ для гарантированного выполнения ДПАК своей ФЗ

ется среднее значение интервала прогноза. В случае включения интервала прогноза в интервал достоверности нечеткого числа итерации прекращаются, в противном случае — проводится новая итерация по сужению интервала прогноза. Прогнозное значение показателя определяется в виде нечеткого числа, полученного на последней итерации.

При этом управление параметрами надежности и защищенности будет направлено на компенсацию возникающей разницы между текущим и требуемым значениями ПКФ (FS) и перевод ДПАК из текущего критического состояния ( $T_{тек}$ ) в допустимое либо для гарантированного выполнения ФЗ в безопасное состояние  $T_{гр}$  (рисунок 6). В данном примере величина необходимого управления ПКФ ДПАК (FS) определяется по разнице значений ПКФ по левой границе ФП ПКФ на  $\alpha$ -уровне, определяемым лицом, принимающим решение, исходя критичности (важности) решаемых ФЗ.

В связи с этим поддержание левой границы ФП ПКФ ДПАК на уровне не ниже требуемого является основной задачей управления параметрами надежности и защищенности ДПАК.

При этом использование нечетких оценок при управлении параметрами для перевода и поддержания ПКФ в безопасных пределах зачастую проще и эффективнее обычно применяемых традиционных методов. В рассматриваемом случае отклонения ПКФ от требуемых значений связаны, в первую очередь, с факторами надежности и защищенности ДПАК от компьютерных атак, и характеризуются соответствующими интенсивностями отказов и восстановлений. Степень влияния этих факторов на ПКФ ДПАК (входные параметры), реакция на них ПКФ (выходные параметры) будут характеризоваться соответствующими векторными функциями принадлежности.

Применение методов теории нечетких множеств позволяет получить информацию о чувствительности ДПАК к одновременным отклонениям нескольких параметров и оценивать выходные параметры в интегральном виде [6,7,8].

Такой метод пофакторной корректировки основан на последовательно-единичном изменении всех входных переменных модели: на каждом шаге только одна из переменных меняет свое значение на прогнозное

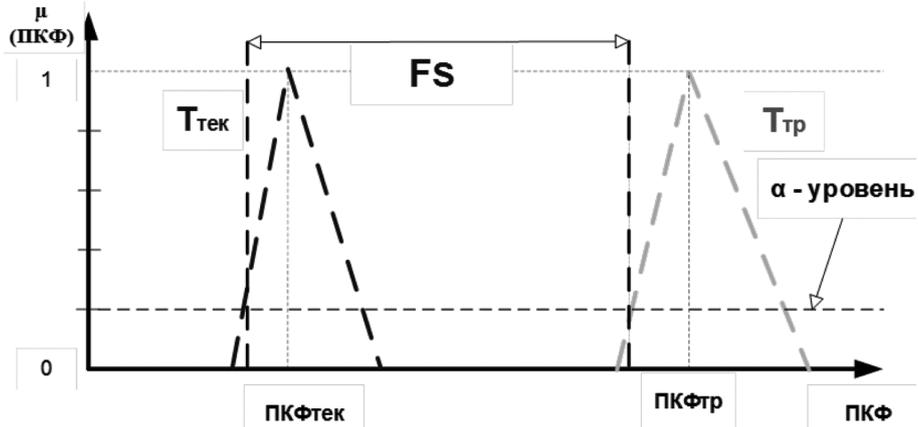


Рис. 6. Определение величины необходимого компенсирующего управления параметрами ДПАК (FS)

число процентов, что приводит к пересчету значения исследуемого выходного параметра. После перебора переменных и возможных их значений получаем матрицу значений, позволяющую сравнивать уровни чувствительности ПКФ ДПАК к изменению входных параметров надежности и защищенности от КА.

Получение количественных оценок чувствительности активов ПКФ к влияющим факторам является актуальной задачей, решение которой даст возможность, в частности:

- прогнозировать поведение ПКФ в условиях деструктивных воздействий;
- выделять наиболее критические ПКФ и возможные допуски на их значения;
- оценивать влияние случайных внутренних и внешних факторов;
- оптимизировать параметры ПКФ ДПАК;
- определять границы областей безопасности.

Оценивание текущего состояния критических ПКФ ДПАК и определение уровней их чувствительности к деструктивным воздействиям позволяет перейти к рациональному управлению ресурсами и рисками, направленному на поддержание степени включения текущего состояния в безопасное состояние на уровне не ниже порогового. Это позволит обеспечить выполнение ДПАК своих задач в нечетких условиях с определенной степенью уверенности.

Методы нечеткой оптимизации объединяют теорию нечетких множеств с традиционными методами оптимизации (таблица 1). Нечеткая логика используется для моделирования неопределенных параметров, целей и ограничений в контексте оптимизации. Благодаря такой гибкости лица, принимающие решения, могут включать субъективные предпочтения и экспертные знания в процесс оптимизации, что приводит к более реалистичным и специфичным для конкретной ситуации решениям.

Таблица 1.

Методы решения задач нечеткой оптимизации и их особенности

Метод решения задач нечеткой оптимизации	Особенности решения задач нечеткой оптимизации
Нечеткое линейное программирование (FLP)	Нечеткие коэффициенты добавляются к целевой функции и ограничениям в FLP, расширяя возможности линейного программирования. Этот метод особенно полезен, когда данные неточны или необходимо учитывать лингвистические характеристики (такие как «высокая стоимость» и «низкий спрос»). Целью является поиск решения, которое уменьшает или максимизирует нечеткую целевую функцию, частично удовлетворяя нечетким ограничениям.
Нечеткая многоцелевая оптимизация (FMO)	Нечеткая логика используется в подходах FMO для балансировки этих целей, позволяя учитывать компромиссы и достигать оптимальных по Парето решений. В этом контексте часто применяются такие подходы, как программирование нечетких целей и процедуры нечеткой взвешенной суммы.
Нечеткая стохастическая оптимизация	Эта концепция устраняет неопределенность, возникающую из-за случайности и нечеткости, путем сочетания нечеткой логики и стохастической оптимизации. Это особенно полезно в ситуациях, когда вероятностные данные доступны, но при этом также необходимо учитывать неточную и туманную информацию.
Нечеткая динамическая оптимизация	Динамическая оптимизация решает проблемы, требующие постепенного принятия решений. Нечеткая динамическая оптимизация подходит для таких приложений, как управление запасами, финансовое планирование и распределение ресурсов, поскольку она использует нечеткую логику для устранения неопределенностей, которые изменяются со временем.

Под задачей нечеткого математического программирования (ЗНМП) понимается задача максимизации (минимизации) целевой функции на заданном множестве допустимых альтернатив, в которой параметры целевой функции и ограничений являются нечеткими величинами или комбинацией [8,9]:

- нечеткая целевая функция — четкие ограничения;
- четкая целевая функция — нечеткие ограничения;
- четкая целевая функция — четкие ограничения;

в зависимости от особенностей рассматриваемого ПКФ ДПАК и решаемых ФЗ, а также выбранного метода нечеткой оптимизации.

Реализация предложенного подхода к управлению критическими параметрами ДПАК позволяет перейти к сбалансированному построению надежных ДПАК и систем мониторинга и управления надежностью и информационной безопасностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глухов А.П., Корниенко А.А., Ададулов С.Е., Белова Е.И. Оценивание информационной безопасности бизнес-процессов // Автоматика, связь, информатика. — 2023. — №7. — С. 17–20.
2. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. — М.: Радио и Связь, 1982. — 431 с.
3. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология М.: «Издательство Машиностроение – 1», 2004. 397 с.
4. Исмагилов И.И. Нечеткое прогнозирование количественных показателей сложных систем / И.И. Исмагилов, В.А. Зинкин // Исследования по информатике. — 2007. — № 11. — С. 49–56.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М: Радио и связь, 1993. — 312 с.
6. Глухов А.П., Корниенко А.А., Ададулов С.Е., Чичков С.Н. Чувствительность бизнес-процессов к компьютерным атакам // Автоматика, связь, информатика. 2023. №11. С. 18–21.
7. Бойченко О.В., Черногорова К.А. Расширение традиционных методов исследования чувствительности моделей организационно-технических систем к изменению независимых факторов // Информация и космос. — 2019.-№3. — С. 85–88.
8. Ротштейн А.П., Штовба С.Д., Козачко А.Н. Моделирование и оптимизация надежности многомерных алгоритмических процессов // Винница: «УНІВЕРСУМ-Вінниця». 2007. 215 с.
9. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. Кн.1.: пер. с англ. — М.: Мир, 1986. 320 с.

© Глухов Александр Александрович (alexander.glukh0v@yandex.ru); Степанников Юрий Михайлович (yury.stepannikov@yandex.ru);

Глухов Александр Петрович (arg606@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»