

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 519.72

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-98-108

Оригинальная статья /Original Paper

Анализ показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности

В.В. Конобеевских, А.О. Ефимов

Воронежский институт МВД России,
394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является проведение анализа показателей эффективности программного обеспечения, направленное на повышение уровня безопасности на объектах особой важности. На сегодняшний день является достаточно актуальным вопрос совершенствования аппаратной и программной компоненты системы безопасности на особо важном объекте с учетом его специфики и необходимости обеспечения антитеррористических мер. Возникает актуальная задача оценки программного обеспечения системы физической защиты (СФЗ) объекта особой важности, при этом одним из основных является вопрос, заключающийся в том, какие показатели качества учитывать и какие методы использовать при получении объективных данных с учетом специфики объекта исследования и необходимости повышения антитеррористических мер. В данной статье предлагается провести анализ показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности. **Метод.** Для достижения поставленной цели применены такие методы как системный, расчетный и экспертно-статистический анализ. **Результат.** В работе представлен альтернативный подход к анализу параметров эффективности программного обеспечения применительно к компонентам интегрированного комплекса (ИК) СФЗ, который заключается в переходе от количественных оценок к качественным, использовании знаний экспертов и статистической обработке информации, полученной от них. Предлагаемый подход позволяет использовать единую шкалу измерений, а также упростить процедуру измерения значений единичных показателей эффективности программного обеспечения подсистем ИК СФЗ в процессе эксплуатации на объекте особой важности. **Вывод.** Полученные результаты могут быть использованы для комплексной оценки эксплуатации программного обеспечения на объектах особой важности, а также повышения его уровня безопасности.

Ключевые слова: эффективность, программное обеспечение вычислительных систем, экспертно-статистический метод, метрика качества, комплексный показатель качества

Для цитирования: В.В. Конобеевских, А.О. Ефимов. Анализ показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):98-108. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-98-108

Analysis of performance indicators of computer systems software on objects of special importance

V.V. Konobeevskikh, A.O. Efimov

Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
53 Patriotov St., Voronezh 394065, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the article is to study the performance indicators of software aimed at improving the level of security at objects of particular importance. To date, the issue of improving the hardware and software components of the security system at a particularly important facility, taking into account its specifics and ensuring anti-terrorist measures, is quite urgent. There is an urgent task of evaluating the software of the physical

protection system (SFZ) of an object of particular importance, while one of the main questions is which quality indicators to take into account and which methods to use when obtaining objective data, taking into account the specifics of the object of research and the need to increase anti-terrorist measures. In this article, it is proposed to analyze the performance indicators of computer systems software on objects of special importance. **Method.** To achieve this goal, such methods as system analysis, computational and expert statistical are used. **Result.** The paper presents an alternative approach to the analysis of the parameters of the effectiveness of software in relation to the components of the integrated complex (IC) SFZ, which consists in the transition from quantitative to qualitative assessments, the use of expert knowledge and statistical processing of information received from them. The proposed approach makes it possible to use a single measurement scale, as well as simplify the procedure for measuring the values of individual performance indicators of the software of the subsystems of the IC SFZ during operation at an object of particular importance. **Conclusion.** The results obtained can be used for a comprehensive assessment of the operation of software at facilities of particular importance, as well as to increase its security level.

Keywords: effectiveness, software of computing complexes, expert-statistical method, quality metric, complex quality indicator

For citation: V.V. Konobeevskikh, A.O. Efimov. Analysis of performance indicators of computer systems software on objects of special importance. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):98-108. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-98-108

Введение. Развитие современного общества сталкивается с все более возрастающими проявлениями террористической деятельности как в отдельных странах, так и в мире в целом. Особенно отчетливо данная тенденция обозначилась с началом проведения специальной военной операции (СВО).

В последнее время террористическая деятельность в нашей стране растет в геометрической прогрессии и проявляется в разных областях, начиная от телефонного терроризма и заканчивая попытками проникновения на объекты особой важности. Кроме того, на фоне активизации террористической деятельности отмечается рост организованной преступности, усиление их технической оснащённости. Поэтому естественным ответом государства на указанные выше тенденции является увеличение количества и повышение качества анти-террористических мер, при этом последние могут носить упреждающий характер.

Превентивные меры, проводимые государством, в первую очередь направлены на обеспечение безопасности объектов особой важности и критической инфраструктуры. Безопасность данных объектов обеспечивается системами физической защиты, функционирующих на основе интегрированных комплексов.

Однако проведение СВО показало необходимость внесения корректив, изменения некоторых подходов и необходимости совершенствования системы безопасности объектов особой важности.

Изучение научных вопросов, проблем, связанных с созданием и эксплуатацией интегрированных комплексов СФЗ на особо важных объектах, базируется на кропотливых исследованиях огромного массива аналитического материала, открытых и закрытых публикаций.

Анализ представленных источников и активизация террористической деятельности, позволяет сделать некоторые выводы о необходимости совершенствования как отдельных компонентов, так и всей системы физической защиты особо важных объектов.

Обеспечение необходимого уровня безопасности рассматриваемых объектов предполагает не только оценку эффективности системы физической безопасности по ее способности выполнить свою основную целевую функцию, но и анализ показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности.

Совершенствование системы безопасности особо важных объектов предполагает:

- применение современных компонентов в структуре ИК СФЗ;

- построение системы безопасности рассматриваемых объектов на основе современных технологий;
- использование программного обеспечения вычислительных систем ИК СФЗ на основе единой цифровой платформы;
- постоянная оптимизация структуры и функциональных характеристик компонентов ИК СФЗ.

Следует заметить, что на объектах особой важности целесообразно соблюдать соответствующие требования относительно системы безопасности. Последние должны учитывать ведомственные нормативные акты, перечень угроз, результаты анализа уязвимости и оценки эффективности системы физической защиты.

Для успешного противодействия современным террористическим действиям необходимо на объектах особой важности применять открытую интеграционную программно-аппаратную платформу, позволяющую на единой основе создавать сложные комплексные системы безопасности.

Особенно необходимо отметить возрастающую роль в таких системах программного обеспечения, базирующегося на распределённой интеграционной программной среде, используемой для построения единого верхнего уровня различных технологических систем. При этом важно чтобы программная платформа сочетала в себе гибкость и открытость для интеграции с внешними системами, а также была обеспечена высокая надёжностью и защищённостью программного ядра системы.

Достаточно важным аспектом в системах безопасности особо важных объектов является сочетание и развитие принципов «вертикальной» и «горизонтальной» интеграции.

Первым принципом является создание программно-аппаратной платформы, которая объединяет различные компоненты системы безопасности, такие как охранная сигнализация, пожарная сигнализация, контроль доступа, видеонаблюдение и т.п.

Второй принцип позволяет реализовать интеграцию на программной платформе оборудования разных производителей в рамках одной подсистемы.

Реализация представленных выше принципов позволит совершенствовать систему безопасности особо важных объектов с учетом их специфики (потенциально опасных, промышленных объектов, технологических сооружений с жесткими климатическими и эксплуатационными условиями).

Таким образом, внедрение новейших технологий создания программных продуктов для системы безопасности объектов особой важности позволит на базе построенной программной модели системы подключать любое оборудование любых производителей, а также реализовывать любые типы пользовательских интерфейсов и прикладных автоматизированных рабочих мест (АРМ). При этом в процессе эксплуатации системы безопасности у администраторов системы с учетом режима функционирования и изменяющихся условий появится возможность формировать правила бизнес-логики системы за счет механизма встроенных скриптов и динамического построения алгоритмов работы.

На сегодняшний день является достаточно актуальным вопрос совершенствования аппаратной и программной компоненты системы безопасности на особо важном объекте с учетом его специфики и обеспечением антитеррористических мер. Если с аппаратной частью СФЗ достаточно все исследовано, то с программной компонентой системы безопасности рассматриваемого типа объекта не все так однозначно, в части оценки качества программного средства (цифровой платформы) в процессе эксплуатации.

Под качеством программного средства (ПС) понимается совокупность его свойств, которые обуславливают его пригодность удовлетворять заданные или подразумеваемые потребности в соответствии с его назначением. При оценке качества реализуются мероприятия, включающие выбор показателей, определение их значений и сравнение их с эталонными или между сравниваемыми ПС. Оценку качества проводят разные специалисты на разных этапах. В данной статье будут представлять интерес специалисты, осуществляющие внедрение, сопровождение и эксплуатацию ПС на особо важных объектах.

При определении показателей качества программного обеспечения могут использоваться такие методы как измерительные, регистрационные, органолептические, так и расчетные, экспертные. Согласно нормативным и правовым актам качество программного средства определяется некоторыми показателями: функциональные возможности, надежность, практичность, эффективность, сопровождаемость и мобильность.

Необходимо отметить, что при исследовании показателей качества программного обеспечения целесообразно использовать иерархическую многоуровневую систему, в которой показатели вышестоящих уровней определяются через показатели нижестоящих уровней. Так, например, при необходимости получения интегральной оценки по группам показателей качества используют факторы качества (первый уровень).

На втором уровне осуществляется работа с комплексными показателями качества, характеризующих некий набор критериев качества (удобство эксплуатации, уровень автоматизации, временная эффективность, гибкость и т.д.). Каждый критерий характеризуется одной или несколькими метриками (третий уровень). В свою очередь метрика качества программного обеспечения определяется единичными показателями, количество которых в метрике не ограничено.

Постановка задачи. При оценке программного обеспечения СФЗ объекта особой важности возникает актуальный вопрос, заключающийся в том какие показатели качества учитывать и какие методы использовать при получении объективных данных с учетом специфики объекта исследования и необходимости повышения антитеррористических мер. В статье предлагается провести анализ показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности. Данный анализ может быть применен для следующих ситуаций:

- оценка качества программного обеспечения на объекте особой важности по критерию «эффективность» и его метрикам;
- при сравнении программных продуктов по критерию «эффективность» и его метрикам с целью выбора наиболее оптимального варианта для конкретного объекта с учетом его специфики функционирования.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ критериев метрик эффективности программного обеспечения;
- осуществить выбор метода оценки эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности;
- провести эмпирические исследования показателей эффективности с учетом выбранного метода.

Методы исследования. Представляется целесообразным рассмотреть первую задачу. Детальный анализ научной литературы и других источников, исследующих эффективность программного обеспечения, рассматривают понятие эффективность как некоторое соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами.

Если рассматривать внедрение программного обеспечения, то под затратами подразумеваются затраты на приобретение, установку и настройку, сопровождение и поддержку ПО. При этом в качестве эффекта воспринимается результат внедрения ПО. Эффективность программного обеспечения описывается показателями, которые характеризуют степень удовлетворения потребности пользователя в обработке данных с учетом экономических, вычислительных и человеческих ресурсов. При этом выделяют следующие показатели эффективности: уровень автоматизации; временная эффективность; ресурсоемкость. Взаимосвязь критериев, метрик и единичных показателей эффективности программного обеспечения представлена в табл.1. Первый критерий эффективности в табл. 1 характеризует степень автоматизации функций процесса обработки данных, учитывая, рациональность функциональной структуры программы, применительно к взаимодействию с ней пользователя и использованию вычислительных ресурсов.

Таблица 1. Взаимосвязь показателей, метрик и единичных показателей эффективности программного обеспечения
Table 1. The relationship of indicators, metrics and individual performance indicators of software

Критерии эффективности Performance criteria	Метрика Metric	Единичные показатели Single indicators
Уровень автоматизации Level of automation	Функциональная автоматизация Functional Automation	Проблемно-ориентированные функции/ Domain Specific Functions Машинно-ориентированные функции/ Machine-Oriented Functions
	Автоматизация интерфейсов Interface Automation	Функции ведения и управления/ Leading and Control Functions Функции ввода/вывода I/O functions
	Автоматизация контроля Control Automation	Функции защиты и проверки данных/ Data security and verification features Функции контроля доступа/ Access control features Функции контроля внесения изменений/ Access control features Наличие соответствующих границ/ Change Control Features функциональных областей/ The presence of appropriate boundaries of functional areas Число знаков после запятой в результатах вычислений/ Number of decimal places in calculation results
Временная эффективность Time Efficiency	Эффективность выполнения Execution efficiency	Время выполнения программ/ Program execution time Время реакции и ответов/ Reaction and response time
	Эффективность подготовки Training efficiency	Время подготовки/ Preparation time Затраты времени на защиту данных / Time spent on data protection Время компиляции/ Compile time
Ресурсоемкость Resource intensity	Стационарная ресурсоемкость Stationary resource intensity	Требуемый объем внутренней памяти/ Required amount of internal memory Требуемый объем внешней памяти/ Required amount of external memory
	Динамическая ресурсоемкость Dynamic resource intensity	Требуемые периферийные устройства/ Required Peripherals Требуемое базовое программное обеспечение/ Required basic software

Достаточно важно заметить, что уровни автоматизации на особо важном объекте должны зависеть от уровня управления на нем. В частности, как правило, выделяют три уровня – оперативный, тактический и стратегический. На первом уровне исполнителей реализуется автоматизация регулярных процессов, что позволяет выполнять оперативные задачи, поддерживать соответствующие режимы работы. На тактическом уровне автоматизация позволяет распределять задачи между подсистемами ИК СФЗ. Последний уровень автоматизирует управление объектом особой важности и направлен на решение аналитических и прогностических задач.

Второй критерий связан со способностью программного обеспечения выполнять заданные действия в интервал времени, отвечающий указанным требованиям, что является особенно актуальным для систем реального времени и ПО, применяемого для управления особо важными объектами и объектами критической инфраструктуры. Время отклика, обработки заданий и производительность решения задач с учетом количества используемых вычислительных ресурсов в установленных условиях характеризуют временную эффектив-

ность программного обеспечения. К таким ресурсам можно отнести программные продукты разных подсистем ИК СФЗ, средства телекоммуникации, аппаратные средства и т.д. Данный параметр характеризуется скоростью обработки данных и пропускной способностью – производительности, которые связаны со временем реакции (отклика) на запросы при решении основных функциональных задач.

При рассмотрении последнего критерия учитываются необходимые и достаточные вычислительные ресурсы, и число обслуживающего персонала для эксплуатации данного ПО. Оценка данного критерия возможна в процессе пробного периода или реальной эксплуатации. Кроме того, критерием ресурсоемкости может рассматриваться величина абсолютной занятости ресурсов различных видов или относительная величина использования ресурсов каждого вида при нормальном функционировании программного обеспечения ИК СФЗ.

Важным обстоятельством является то, что оценку эффективности целесообразно рассматривать в конкретный момент времени, а ее адекватность во многом зависит от выбора соответствующего метода оценки. В свою очередь методы оценки эффективности подразделяют на качественные методы и количественные, которые основываются на обработке числовых показателей. Следует заметить, что общих рекомендаций для выбора метода не существует. Поэтому выбор метода оценки эффективности программного обеспечения основывается на анализе его преимуществ и недостатков.

Необходимо заметить, что представленные выше критерии обладают рядом недостатков, которые особенно важно учитывать при анализе показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности.

В частности, в нормативно-правовых и специализированных источниках для оценки эффективности приводится незначительное количество критериев (табл.1) относительно других показателей качества программного обеспечения. Представленные выше в табл.1 критерии и метрики эффективности измеряются в разных единицах (секундах, байтах, битах в секунду и т.д.), что затрудняет их совместное использование при анализе качества ПО, так они имеют разный физический смысл. Кроме того, сложно осуществить интегральную оценку ПО, используя данные метрики эффективности, так как они хоть и представлены в относительных единицах имеют разный диапазон шкал.

В качестве еще одного недостатка можно отметить то обстоятельство, что с уменьшением метрики возрастает значение эффективности т.е. при исследовании одних метрик наблюдается обратная зависимость, а других – прямая.

Следовательно, такие метрики не целесообразно использовать в одной совокупности и использовать для комплексной оценки ПО. Исследование эффективности программного обеспечения, как правило, предполагает анализ скоростных или ресурсных свойств. При этом не рассматривается соотношение скоростных и ресурсных свойств, а также их взаимное влияние друг на друга, с учетом интересов пользователя программного обеспечения. Учитывая рассмотренные выше недостатки, возникают ряд сложностей с анализом параметров эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности. Поэтому в данной статье предлагается альтернативный подход к анализу параметров эффективности программного обеспечения применительно к компонентам ИК СФЗ, который заключается в переходе от количественных оценок к качественным, использовании знаний экспертов и статистической обработке информации, полученной от них. Предлагаемый подход позволяет: использовать единую шкалу измерений; упростить процедуру измерения значений единичных показателей эффективности программного обеспечения подсистем ИК СФЗ в процессе эксплуатации.

Достаточно важно заметить, что анализ показателей эффективности ПО ИК СФЗ однозначно должен учитывать специфику объекта особой важности. В частности, в данной статье для анализа показателей эффективности программного обеспечения предлагается использовать 10-ти бальную шкалу измерения, например, с критериями: полностью согласен, частично согласен, и согласен и не согласен, частично не согласен, совершенно не согласен. Каждому критерию

соответствует некоторый диапазон значений (табл. 2). Предлагаемый набор критериев и диапазон шкалы представляется наиболее удобным для работы группы экспертов.

Таблица 2. Оценка показателей эффективности программного обеспечения экспертом
Table 2. Evaluation of software performance indicators by an expert

№ п/п	Показатель эффективности ПО Software Performance indicator	полностью согласен/ fully agree	частично согласен/ partially agree	и согласен, и не согласен/ both agree and disagree	частично не согласен/ partially disagree	совершенно не согласен/ totally disagree
		10-8	8-6	6-4	4-2	2-0
1.	Показатель 1	+				
2.	Показатель 2				+	
3.	Показатель 3			+		
4.	...					
5.	Показатель N		+			

Обсуждение результатов. Учитывая критерии оценки эффективности ПО, предлагаемые эксперту, целесообразно выбрать такие, которые отражают специфику объекта особой важности. Применительно к подсистемам ИК СФЗ их можно, например, сформулировать следующим образом:

- автоматизация процессов на объекте особой важности реализована на нескольких уровнях, что позволяет решать оперативные, аналитические и прогностические задачи, а также распределять задачи между подсистемами ИК СФЗ (показатель 1);
- программное обеспечение подсистем ИК СФЗ на объекте интегрировано в единую цифровую платформу на объекте (показатель 2);
- время выполнения программ каждой подсистемы ИК СФЗ позволяет успешно выполнять стоящие перед ней задачи (показатель 3);
- время реакции и ответов обеспечивает удобство эксплуатации и взаимодействия программного обеспечения ИК СФЗ (показатель 4);
- интегрированный комплекс содержит необходимые периферийные устройства, а программное обеспечение подсистем обладает достаточными для успешного решения задач объемами внешней и внутренней памяти (показатель 5);
- для эксплуатации программного обеспечения на объекте особой важности используется оптимальное количество человеческих ресурсов (показатель 6).

Следует заметить, что представленные выше показатели не являются уникальными или универсальными, поэтому для каждого объекта особой важности (или типовых объектов) может быть сформулирован свой список показателей в зависимости от его особенностей и стоящих задач исследования. В данной работе для решения второй задачи предлагается использовать экспертно-статистический метод [5]. Такое обстоятельство, прежде всего, обусловлено тем, что метод не требует наличие большой выборки исследования, а также позволит использовать для оценки эффективности программного обеспечения математические модели. Для анализа показателей эффективности программного обеспечения на объекте особой важности целесообразно использовать прямые процедуры опроса группы экспертов.

После выбора соответствующих показателей эффективности программного обеспечения, для конкретного объекта (типа объекта) особой важности, проводится анкетирование экспертов на основе табл. 2.

Если при исследовании ставится упрощенная задача и необходимо вычислить значения комплексных показателей эффективности программного обеспечения, то можно использовать выражение

$$A_{ij} = \frac{1}{D} \sum_{j=1}^D A_{ij} \quad (1)$$

где A_{ij} — оценка комплексного показателя качества j -м экспертом показателей эффективности программного обеспечения, D – количество экспертов, $i = 1 - k$.

В том случае, если специфика объекта особой важности предполагает исследование значительного количества показателей, то на данном этапе целесообразно выделить лишь те параметры, которые являются наиболее значимыми, используя, в том числе, и метод ранжирования с экспертной оценкой коэффициентов весомости показателей эффективности программного обеспечения. После того как будет сформирован список показателей, учитывающий в полной мере специфику функционирования объекта особой важности, то следует перейти к вопросу воспроизводимости полученных экспертных данных. При этом можно воспользоваться классическим случаем и рассчитать коэффициент конкордации Кендалла [14]. А также можно использовать другие исследования, связанные с расчетом метрического коэффициента [7,9].

На следующем шаге анализа полученных экспертных данных предполагается использование статистических процедур, направленных на определение максимальных погрешностей экспертов $\delta_{j\max}^j$, среднеквадратической погрешности оценки коэффициентов весомости $\sigma[k_i]$ показателей эффективности программного обеспечения, а также определении половины длины доверительных интервалов δ_α^i . Указанные параметры можно рассчитать по следующим выражениям 2-4

$$\delta_{j\max}^j = \max \left\{ \left| \Delta k_j^j + t_\alpha \sigma[\Delta k_j^j] \right|, \left| \Delta k_j^j - t_\alpha \sigma[\Delta k_j^j] \right| \right\}, \quad \delta_\alpha^i = t_\alpha \sigma[k_i] \quad (2)$$

$$\sigma[k_i] = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^D (k_{ij} - k_i)^2}{(D-1)D}} \quad (3)$$

$$\sigma[\Delta k_j^j] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_{ij} - \frac{1}{D} \sum_{j=1}^D k_{ij})^2}{n-1}} \quad (4)$$

Более подробное описание статистической обработки экспертных данных представлено в работах [8,9].

Основным результатом данного шага будет сравнение полученных по данным формулам значений $\delta_{j\max}^j$ и $\delta_{j\max}^i$ с коэффициентами весомости k_{ij} , полученными от экспертов. В том случае, если расчетные значения существенно меньше коэффициентов весомости показателей эффективности программного обеспечения, то можно приступить к выбору математической модели и расчету ее значений. В противном случае, экспертные данные можно признать не состоятельными и дальнейшее их использование - не целесообразным.

Для анализа показателей эффективности вычислительных систем на объектах особой важности предлагается рассмотреть следующие виды математических моделей

$$E = \sum_{i=1}^n a_i k_i, \quad E = \prod_{i=1}^n a_i^{k_i} \quad (5)$$

Комплексное значение показателя эффективности представляет собой функцию оценок единичных показателей a_1, a_2, \dots, a_n и коэффициентов весомости k_1, k_2, \dots, k_n и характеризующееся арифметическими и геометрическими зависимостями. А также можно использовать усредненное значение полученных зависимостей. Однако возникает объективный вопрос: какую же математическую модель выбрать для оценки эффективности ПО? Ответ на данный вопрос будет получен после проведения соответствующих расчетов, по результатам которых необходимо выбрать ту модель, которая будет иметь минимальное значение оценок среднеквадратических отклонений $\sigma[\Delta A]$.

Для объекта особой важности был проведен эксперимент по оценке показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем, используемого на объекте особой важности. Шесть показателей эффективности, представленных ранее (показатель 1, ... показатель 6) были оценены 10 экспертами. Кроме того, для каждого показателя были определены весовые коэффициенты. Обработка экспертных данных показала, что погрешности оценок специалистов можно считать незначительными, полученный коэффициент согласованности 0,87 позволяет использовать оценки экспертов для построения математической модели. Проверка показателей эффективности ПО показала их значимость в экспертных оценках.

Для показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем, используемых на объекте особой важности, были проведены расчеты параметров двух математических моделей определенных выражением 5 и оценок среднеквадратических отклонений. Данные расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчета параметров эффективности программного обеспечения
 Table 3. Evaluation of software performance indicators by an expert

Вид математической модели комплексного показателя эффективности ПО Type of mathematical model of a complex indicator of software efficiency	Среднеквадратическое отклонение/ Standard deviation	
	$\sigma [k_i]$	$\sigma [\Delta A]$
$E = 11,45A_1 + 17,89A_2 + 25,32A_3 + 20,11A_4 + 9,12A_5 + 4,07A_6$	$\sigma [k_1] = 3,06$ $\sigma [k_2] = 5,78$ $\sigma [k_3] = 6,25$ $\sigma [k_4] = 4,12$ $\sigma [k_5] = 2,87$ $\sigma [k_6] = 1,43$	5,575
$E = 3,02A_1^{0,157} A_2^{0,224} A_3^{0,313} A_4^{0,121} A_5^{0,093} A_6^{0,075}$	$\sigma [k_1] = 0,78$ $\sigma [k_2] = 0,12$ $\sigma [k_3] = 0,15$ $\sigma [k_4] = 0,06$ $\sigma [k_5] = 0,04$ $\sigma [k_6] = 0,03$	8,484

Анализ табл.3 показывает, что для оценки эффективности программного обеспечения на объекте особой важности, с учетом оценок выбранных показателей эффективности (A_1, \dots, A_6) и экспертных данных, целесообразнее использовать первую математическую модель. Проводя расчеты с выбранной математической моделью, получаем количественную оценку эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объекте особой важности.

Полученное значение можно использовать в следующих случаях: как базовую характеристику для дальнейшего совершенствования параметров эффективности программного обеспечения; для сравнения программного обеспечения на нескольких объектах по критерию эффективность.

Вывод. В работе представлен альтернативный подход к анализу параметров эффективности программного обеспечения применительно к компонентам ИК СФЗ, который заключается в переходе от количественных оценок к качественным, использовании знаний экспертов и статистической обработке информации, полученной от них.

Предлагаемый подход позволяет использовать единую шкалу измерений, а также упростить процедуру измерения значений единичных показателей эффективности программного обеспечения подсистем ИК СФЗ в процессе эксплуатации на объекте особой важности. Дальнейшим развитием идей, изложенных в указанной статье, будет являться разработка программного обеспечения для оценки его качества на объекте особой важности по критерию «эффективность» и его метрикам, а также для сравнения программных продуктов по указанному критерию с целью выбора наиболее оптимального варианта для конкретного объекта особой важности с учетом его специфики функционирования.

Библиографический список:

1. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – Москва: Финансы и статистика, 1983. – 129 с.
2. Анализ качественных метрик в использовании автоматизированных систем органов внутренних дел / В.В. Конобеевских // Международная НПК «Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии»: Сб. материалов. Ч1. Воронеж: ВИ МВД России, 2017. - № 3-2. – С.222 – 226.
3. Арипджанов М.К, Т. Бекмуратов, Г. Хаджиматова. Экспертные системы. Ташкент: Фан, 1991. 59 с.
4. Атанов Г.А. Диагностика знаний умений с помощью экспертных систем: Учеб. пособие для студентов физического факультета./ Г.А. Атанов, И.Н. Пустынникова; ДонГУ. – Донецк, 1997. – 64 с.
5. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – Москва: Статистика, 1980. – 240 с.
6. Бухарин С.В. Комбинированный метод выявления знаний экспертов / С.В Бухарин, В.В. Конобеевских // Вестник Воронежского института МВД России. – 2005. – №2. – С. 22 – 25.
7. Бухарин С.В. Методика исследования взаимозависимости мнений экспертов в технических и экономических приложениях / С.В Бухарин, В.В. Конобеевских // Всероссийская НПК «Современные проблемы борьбы с преступностью»: Сб материалов. Воронеж: ВИ МВД России, 2005. – С. 12 – 14.
8. Бухарин С.В. Статистические методы оценки качества радиотехнических систем / С.В. Бухарин, В.В. Конобеевских // Всероссийская НПК «Охрана, безопасность и связь - 2005»: Сб. материалов. Ч1. – Воронеж: ВИ МВД России, 2005. – С. 37 – 39.
9. Бухарин, С. В. Экспертные системы оценки качества и цены товаров (работ, услуг): Монография / С. В. Бухарин, Е. С. Забияко, В. В. Конобеевских; Под ред. проф. С. В. Бухарина. – Воронеж: АОНО «ИММиФ», 2006. – 160 с.
10. ГОСТ 28195-89. Оценка качества программных средств. Общие положения [Электронный ресурс]. — URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200009135> (дата обращения: 11.05.2023).
11. ГОСТ 28806-89. Качество программных средств. Термины и определения [Электронный ресурс]. — URL : http://www.kimmeria.nw.ru/standart/glosys/gost_28806_90.pdf (дата обращения: 11.05.2023).
12. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25051-2017. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения [Электронный ресурс]. — URL: https://standartgost.ru/g/ГОСТ_Р_ИСО/МЭК_25051-2017 (дата обращения: 11.05.2023).
13. Исследование практичности программного обеспечения вычислительных комплексов экспертно-статистическим методом/ В. В. Конобеевских, Питолин М. В. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – №4.
14. Кендэлл М.Дж. Ранговые корреляции / М.Дж. Кендэлл. – Москва: Статистика, 1975. – 230 с.
15. Конобеевских В. В. Алгоритм оценки эффективности комплексной безопасности организационной системы / В. В. Конобеевских, А.В. Калач и др. // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2022. – №4. – С. 90 – 98.
16. Конобеевских В.В. Оценка качества программного обеспечения вычислительных комплексов на основе экспертных данных/ В. В. Конобеевских, Питолин М. В. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – №4.
17. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. Москва: Радио и связь, 1982. – 184 с.
18. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении: Учеб. пособие.-2-е изд., испр. и доп. – Москва: Дело, 2004. – 400 с.
19. Методика управления качеством однородных систем безопасности на основе экспертной информации, полученной в коалиции экспертов / А.В Мельников, В.В. Конобеевских // Вестник Воронежского института МВД России. – 2021. – №4. – С. 58 – 67.
20. Попов Э. В. Статические и динамические экспертные системы: Учеб. пособие/ Э. В. Попов. – Москва: Финансы и статистика, 1997. – 320 с.
21. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам/ Д. Уотермен. – Москва: Мир, 1989. – 388 с.

References:

1. Ayvazyan S.A. Applied statistics. Fundamentals of modeling and primary data processing/ S.A. Ayvazyan, I.S. Enyukov, L.D. Meshalkin. – Moscow: Finance and Statistics, 1983; 129. (In Russ)
2. Analysis of qualitative metrics in the use of automated systems of internal affairs bodies / V.V. Konobeevskikh. International NPK “Public safety, legality and law and order in the III millennium”: Collection of materials. Ch1. Voronezh: VI of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2017; 3-2.:222-226. (In Russ)
3. Aripdzhanov M. K. Expert systems / M. Aripdzhanov, T. Bekmuratov, G. Khadzhimatova. Tashkent: Fan, 1991; 59. (In Russ)
4. Atanov G.A. Diagnostics of knowledge skills using expert systems: Textbook for students of the Faculty of Physics. / G.A. Atanov, I.N. Pustynnikova; DonGU. Donetsk, 1997; 64 . (In Russ)
5. Beshelev S.D. Mathematical and statistical methods of expert assessments / S.D. Beshelev, F. G. Gurvich. – Moscow: Statistics, 1980; 240. (In Russ)
6. Bukharin S.V., V.V. Konobeevskikh. The combined method of identifying expert knowledge. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2005; 2: 22-25. (In Russ)
7. S.V. Bukharin, V.V. Konobeevskikh. Methodology for the study of the interdependence of expert opinions in technical and economic applications. All-Russian NPK “Modern problems of combating crime”: Collection of materials. Voronezh: VI of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2005; 12-14. (In Russ)
8. Bukharin S.V. Statistical methods for assessing the quality of radio engineering systems / S.V. Bukharin, V.V. Konobeevskikh All-Russian NPK “Protection, Security and Communications - 2005”: Collection of materials. Ch1. – Voronezh: VI of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2005; 37-39. (In Russ)
9. Bukharin, S. V. Expert systems for assessing the quality and price of goods (works, services): Monograph / S. V. Bukharin, E. S. Zabayako, V. V. Konobeevskikh; Edited by Prof. S. V. Bukharin. – Voronezh: AONO “IMMiF”, 2006;160 (In Russ)
10. GOST 28195-89. Evaluation of the quality of software tools. General provisions. — URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200009135> (accessed: 05/11/2023). (In Russ)
11. GOST 28806-89. The quality of software tools. Terms and definitions. URL : http://www.kimmeria.nw.ru/standart/glosys/gost_28806_90.pdf (accessed: 05/11/2023). (In Russ)
12. GOST R ISO/IEC 25051-2017. Information technology. System and software engineering. Requirements and quality assessment of systems and software. URL: https://standartgost.ru/g/ГОСТ_P_ИСО/MEK_25051-2017 (accessed: 05/11/2023). (In Russ)
13. The study of the practicality of the software of computing complexes by the expert statistical method/ V. V. Konobeevskikh, Pitolin M. V. *Modeling, optimization and information technologies*. 2020; 4. (In Russ)
14. Kendall M.J. Rank correlations. Moscow: Statistics, 1975; 230. (In Russ)
15. Konobeevskikh V.V., A.V. Kalach, etc. Algorithm for evaluating the effectiveness of the integrated security of the organizational system. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia*. 2022; 4: 90-98. (In Russ)
16. Konobeevskikh V. V. Evaluation of software quality of computing complexes based on expert data/ V. V. Konobeevskikh, Pitolin M. V. *Modeling, optimization and information technologies*. 2020; 4. (In Russ)
17. Litvak B.G. Expert information. Methods of obtaining and analysis. Moscow: Radio and Communications, 1982; 184 . (In Russ)
18. Litvak B.G. Expert technologies in management: Textbook.-2nd ed., ispr. and add. Moscow: Delo, 2004; 400 (In Russ)
19. Methodology of quality management of homogeneous security systems based on expert information obtained in the coalition of experts / A.V. Melnikov, V.V. Konobeevskikh. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2021; 4:58-67. (In Russ)
20. Popov E. V. Static and dynamic expert systems: Textbook/ E. V. Popov. Moscow: Finance and Statistics, 1997;320. (In Russ)
21. Waterman D. Guide to expert systems Moscow: Mir, 1989; 388. (In Russ)

Сведения об авторах:

Конобеевских Владимир Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел; vkonobeevskikh@mail.ru

Ефимов Алексей Олегович, адъюнкт очной формы обучения; ea.aleksei@yandex.ru

Information about authors:

Vladimir V. Konobeevskikh, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof. of the Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies; vkonobeevskikh@mail.ru

Aleksey O. Efimov, Full-time Adjunct; ea.aleksei@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию/Received 05.04.2023.

Одобрена после рецензирования/ Reved 26.04.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 26.04.2023.