



УДК 351.814.334.3
ГРНТИ 78.25.13

ОБЩИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОДОВ АВИАЦИИ

*А.П. ЛИННИК, кандидат технических наук
КВВАУЛ имени Героя Советского Союза А.К. Серова (г. Краснодар)*
*А.В. ШАМАРИН, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*
*Д.А. ЧИСТИЛИН, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*
*А.Н. БАБКОВ, кандидат военных наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В данной статье рассматривается один из подходов к оценке эффективности эрго-технических систем. Представлен общий порядок оценки эффективности автоматизированных систем управления. Предъявлен ряд требований к показателям и критериям эффективности АСУ.

Ключевые слова: автоматизированная система управления; критерий эффективности; показатели эффективности.

COMMON APPROACH TO THE EFFICIENCY EVALUATION OF FUNCTIONING OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF KINDS OF AIRCRAFT

*A.P. LINNIK, Candidate of Technical Sciences
KHMAS named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov (Krasnodar)*
*A.V. SHAMARIN, Candidate of Technical Sciences
MESCAF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*
*D.A. CHISTILIN, Candidate of Technical Sciences
MESCAF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*
*A.N. BABKOV, Candidate of Military Sciences
MESCAF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

In this article one of the approaches to effectiveness assessment the efficiency evaluation of the ergotechnical systems is considered. The common order of assessment of effectiveness of automated control systems is presented. A number of requirements to indicators and criteria of ACS efficiency is shown.

Keywords: automated control system; criterion of efficiency; efficiency factors.

В настоящее время, несмотря на огромное количество выполненных как фундаментальных, так и прикладных исследований в области системотехники проблема оценки эффективности сложных систем в общем виде и автоматизированных систем управления (АСУ) в частности еще далека от своего удовлетворительного решения.

В общем виде эффективность – это наиболее общая характеристика любых целенаправленных процессов (операций), которая раскрывается через понятие «цель операции» и объективно выражается степенью достижения этой цели с учетом затрат ресур-



сов и времени [1]. Поэтому эффективность системы Э является мерой её целесообразности, связанной с её назначением, показателем способности плодотворно работать. Эффективность всегда связана с получением некоторого полезного результата, который обычно называют выигрышем G . Выигрыш приобретается ценой различных затрат C , которые могут быть как материальными (финансовыми), так и энергетическими, информационными и др. Затраты расходуются во внешней среде, с которой взаимодействует система, а источником ресурса, обеспечивающего компенсацию затрат и должен служить выигрыш [2,3].

В зависимости от того, в каких единицах измерения выражены выигрыш и затраты на его получение, изменяется и целевая функция, определяющая эффективность самой системы.

Оценка эффективности АСУ видов и родов авиации, комплексов средств автоматизации (КСА) и связи должна количественными методами позволить осуществить:

- обоснование оперативных требований, предъявляемых к самой системе с учетом реальных условий её применения, практической реализуемости и заявленных тенденций научно-технического прогресса;
- проверку степени выполнения предъявленных оперативных требований на этапах разработки, создания и внедрения системы;
- сравнительный анализ альтернативных вариантов построения системы на различных этапах её создания или определение выигрыша, получаемого системы управления (системы более высокого уровня) от внедрения АСУ;
- обоснование состава и характеристик основных видов обеспечения системы (технического, математического, программного, информационного, лингвистического);
- обоснование рациональной этапности внедрения и способов эксплуатации АСУ видов и родов авиации;
- определение содержания и сроков проведения работ до модернизации системы;
- обоснование потребных штатов подразделений и частей для боевого применения и эксплуатации АСУ видов и родов авиации;
- определение материальных затрат на разработку, создание и внедрение системы в целом.

Автоматизированная система управления, как организационно-техническая система, характеризуется большим количеством элементов со сложными функциональными связями, которые могут быть как постоянными, так и временными. Поэтому для оценки эффективности АСУ видов и родов авиации необходимо учесть огромное количество параметров, описывающих состояния системы при различных внешних и внутренних воздействиях на элементы этой системы.

Учесть эти параметры целесообразно при помощи показателей эффективности самой системы. Показатель – количественно выраженная мера, характеризующая отдельное качество или свойство объекта, системы, события или процесса [4, 5].

Оценка эффективности системы в целом может производиться по одному или нескольким показателям в зависимости от целей исследования [4]. Показатели эффективности могут быть частными, описывающими отдельные свойства системы и зависящими от одного или нескольких её параметров, и обобщенными (интегральными), учитывающими большое количество параметров и свойств системы и, как правило, степень их влияния на качество работы системы более высокого уровня в интересах которой и создается АСУ.

Выбор показателей эффективности является трудной и творческой задачей, требующей глубокого понимания анализируемых явлений и процессов.



Существует ряд требований к выбору показателей эффективности:

- простота определения и соответствие цели исследования;
- точность и однозначность вычисления;
- чувствительность к изменению свойств системы и др.

Эффективность АСУ видов и родов авиации может быть оценена методами натурных, полунатурных испытаний и аналитическим методом. Аналитический метод, включающий имитационный метод и метод непосредственной оценки эффективности систем, является наиболее экономичным и позволяет обосновать вариант системы на этапе её разработки при определении содержания мероприятий, повышающих эффективность системы в процессе его боевого применения. Этот метод оказывается единственным при оценке эффективности системы в условиях, которые невозможно или трудно создать в процессе испытаний [2,4].

Исследование эффективности аналитическим методом возможно лишь при наличии модели самой системы, отражающей в зависимости от цели исследования совокупность необходимых свойств.

Между концептуальной (исходной) и математической (конечной) моделью возможен ряд промежуточных моделей (морфологическая, информационная и др.), описывающих систему различными методами.

Для описания функционирования систем и их элементов с целью нахождения математического выражения для оцениваемого показателя целесообразно использовать аппарат логических функций и теории Марковских процессов, методы теории надежности, математический аппарат теории вероятностей и исследования операций. Сложные системы, как правило, не удается описать в рамках одной модели, поэтому требуется разработка целого комплекса моделей и методик, упорядоченных в рамках единой методологии оценки эффективности АСУ видов и родов авиации.

В настоящее время выделяется два подхода в методике оценки эффективности АСУ видов и родов авиации, КСА и связи. Первый сопряжен с выявлением той доли успеха в выполнении боевых задач частями и подразделениями, которая определяется применением АСУ. Это оценка по конечному результату достижения целей автоматизированного управления. Второй предполагает сопоставление отдельных количественных и качественных характеристик, свойств и возможностей различных вариантов построения АСУ, позволяющих судить об их достоинствах и недостатках.

Первый подход более сложен, так как требует совместного рассмотрения процессов управления и ведения боевых действий в тесном их взаимодействии. При этом процессы боевых действий и управления войсками и вооружением с использованием АСУ видов и родов авиации упрощаются (декомпозируются) и формализуются на основе принятых математических методов. В результате этого устанавливаются и фиксируются функциональные связи и закономерности между характеристиками работы АСУ видов и родов авиации, принимаемыми решениями командиров, условиями обстановки и результатами боевых действий, отраженными в форме критериев боевой эффективности.

Показатели эффективности АСУ видов и родов авиации, КСА и связи целесообразно разделить на два уровня. К первому (начальному) относятся частные показатели, ко второму (целевому) можно отнести общие (интегральные) показатели, характеризующие систему в целом, а также её вклад в работу системы более высокого уровня.

Таким образом, в основе методологии оценки эффективности АСУ видов и родов авиации, КСА и связи целесообразно использовать подход, при котором осуществляется последовательный переход от оценки показателей начального уровня, характеризующих отдельные свойства системы, в основном её технические и функциональные возможности, к оценке показателей целевого (наивысшего) уровня, связанному с ана-



лизом степени достижения подразделениями своих целей и влияния системы на результаты ведения боевых действий.

Невозможность выражения качественных показателей непосредственно в количественной форме не должна служить оправданием отказа от установления стандартов и контроля этих показателей. Даже субъективные оценки в этом случае гораздо лучше, чем ничего [1].

Использование обобщенных показателей на начальном уровне также возможно. Данные показатели применяются для сравнительной оценки вариантов построения АСУ видов и родов авиации и выбора наилучшего решения построения и взаимосвязи различных элементов.

При решении частных задач оценки эффективности АСУ видов и родов авиации или её отдельных подсистем может использоваться только часть универсального набора показателей, при этом точность, полнота оцениваемых параметров и учитываемых факторов могут варьироваться в широких пределах в зависимости от потребностей пользователя.

Нежелательно иметь большое количество общих критериев и показателей. Их обилие значительно затрудняет окончательный анализ, особенно в тех случаях, когда одни критерии дают преимущество одному варианту, а другие – другому. При этом желательно иметь одинаковые критерии для оценки АСУ видов и родов авиации при выполнении широкого круга задач. Каждому варианту ведения боевых действий присуща своя специфика. Но она должна учитываться при разработке методов определения значений критериев, а не при выборе самих критериев.

Таким образом, общий порядок оценки эффективности АСУ должен включать следующие этапы [4].

Предварительный этап.

На данном этапе решаются следующие задачи:

- определение целей оценки эффективности АСУ и ограничений, исходя из потребностей совершенствования управления;
- анализ процессов управления войсками при подготовке и ведении боевых действий;
- формализованное описание цикла управления;
- анализ возможных вариантов построения АСУ видов и родов авиации, ожидаемых длительностей их разработки;
- описание свойств и качеств АСУ видов и родов авиации;
- разработка системы показателей и критериев оценки эффективности АСУ видов и родов авиации, исходя из целей исследования и формализованного описания;
- разработка моделей для количественной оценки показателей;
- разработка комплексной модели для оценки эффективности АСУ видов и родов авиации в целом на основе обобщенных критериев;
- опытно – теоретическая проверка работоспособности предлагаемых методик с использованием предварительных исходных данных (калибровка модели).

Этап моделирования.

На этом этапе осуществляется непосредственное применение разработанных моделей для решения конкретных задач оценки эффективности. Такая оценка представляется в виде многоуровневой итерационной процедуры и ведется с использованием моделей начального уровня, характеризующих в основном технические и функциональные свойства системы.

Этап выбора варианта системы АСУ видов и родов авиации либо варианта её построения.

На этом этапе решаются следующие задачи:



- анализ значений как обобщенных, так и частных показателей и критериев оценки эффективности;
- сравнительная оценка вариантов АСУ видов и родов авиации по обобщенным показателям и параметрическая оптимизация системы;
- выбор оптимального (наиболее целесообразного) варианта АСУ видов и родов авиации или способа её построения.

Данный этап также может носить итерационный характер.

Автоматизированная система управления видов и родов авиации, КСА и связи обладает широким спектром характеристик, которые можно условно свести к следующим критериальным группам:

- функциональные характеристики;
- тактические характеристики;
- эксплуатационные характеристики и свойства;
- технические характеристики;
- эргономические характеристики.

Оценка эффективности АСУ видов и родов авиации как сложной системы производится в следующих условиях:

- при обосновании облика новых автоматизированных систем управления, сравнительной оценке вариантов её структуры и технической базы;
- при поиске новых направлений совершенствования или модернизации существующих систем;
- при оценке возможностей АСУ по обеспечению управления в конкретной обстановке;
- при разработке новых тактико-технических требований к новым техническим средствам и программному обеспечению;
- при оценке сроков и затрат материальных средств и внедрении автоматизированных систем управления.

В настоящее время сравнительная оценка АСУ имеет несколько вариантов:

- сравнение вариантов или типов АСУ между собой;
- сравнение существующей системы с новой или перспективной;
- сравнение с «идеальной системой».

Оценка эффективности или сравнение автоматизированных систем производится на основе различных критериев оценки.

Критерий (от греческого *kriterion* – средство для суждения, мерило оценки) – отличительный признак, на основе которого производится оценка, определение, классификация, сравнение чего-либо. В целом, критерий эффективности есть решающее правило, которое позволяет осуществить целенаправленный выбор из множества предлагаемых альтернатив. В отличие от показателя, который лишь оценивает количественно или качественно степень достижения цели, критерий эффективности позволяет вынести суждение о приемлемости того или иного решения [1, 5, 6]. Категория «критерий» не тождественна понятию «показатель».

Автоматизированные системы управления видов и родов авиации выполняют большое количество разнородных задач. Это приводит к значительному усложнению выбора критерия эффективности, при этом критериев эффективности может оказаться несколько, и они могут выражаться в различных единицах.

Иногда оказывается возможным расположить критерии эффективности в порядке их важности таким образом, что если система оценена по первому критерию, то по всем остальным критериям эффективность заведомо получается достаточно высокой. Такое упорядочивание сводит многокритериальную задачу к однокритериальной. Од-



нако в большинстве практически важных случаев критерии не поддаются упорядочиванию.

Трудность выбора рационального варианта решения состоит в том, что в общем случае каждый из показателей многокритериальной задачи имеет свой экстремум при разных вариантах боевого применения.

При формулировке критериев эффективности обычно возникает диалектически противоречивая ситуация, в которой, с одной стороны, в противоречие входят различные составляющие процесса управления (результат и затраты), а с другой – элементы их объективной и субъективной оценки. Поэтому при решении многокритериальных оптимизационных задач приходится отступать от экстремальных значений всех или части применяемых показателей, добиваясь компромисса между ними на основе неформальных эвристических соображений.

Для облегчения принятия решения в многокритериальных задачах применяется ряд способов [2,4,6].

Первый способ – выделение одного главного критерия эффективности и перевод остальных в разряд ограничительных условий. Выбирается один главный показатель, а в качестве критерия ищется его экстремум (максимум или минимум). На остальные показатели накладываются критериальные ограничения в виде равенств или неравенств.

Формулировка ограничений осуществляется лицом, принимающим решение, так что субъективность полностью не снимается, а лишь переносится в акт формулировки ограничений. Однако, для принятия оптимального решения лишь одного главного показателя недостаточно. На практике далеко не всегда удается сформулировать показатель, который однозначно характеризовал бы эффективность АСУ. В условиях роста неопределенности эта неоднозначность только возрастает. Это не только не позволяет полностью формализовать задачу оптимизации, но и делает этот процесс нецелесообразным. Стремление к полной формализации не позволяет в полной мере использовать эвристическую силу человеческого мышления и опыта, ограничивает возможность принятия нестандартного или нешаблонного решения.

Второй способ – метод построения множества условно-оптимальных решений Парето. В этом случае оптимизация решения многокритериальной задачи сводится к формированию ограниченного числа альтернативных вариантов решения, обладающих свойствами условной оптимальности. Окончательный выбор решения является результатом неформального анализа предлагаемых условно-оптимальных решений.

Метод построения условно-оптимальных решений Парето заключается в том, что вначале решается задача на экстремум одного из показателей при нескольких фиксированных уровнях остальных показателей. Далее решение повторяется для следующего показателя. В результате, в пространстве рассматриваемых показателей образуется поверхность условно-оптимальных решений, а оптимальное неформально определяется лицом, принимающим решение на основе компромисса.

Третий способ – метод последовательного построения компромиссного решения.

В этом случае показатели эффективности сложной системы при решении многокритериальной задачи расположены в порядке убывающей важности: сначала основной (интегральный) показатель, затем вспомогательные. Процедура принятия компромиссного решения сводится к тому, что сначала находится решение, приводящее основной показатель в экстремум, затем назначается с использованием эвристических соображений «уступка» для этого основного показателя, которая может быть допущена для приведения в экстремальное значение следующего показателя. Данные «уступки» применяются пока все показатели не будут приведены в свои экстремальные значения.

Такой способ последовательного построения компромиссного решения удобен тем, что всегда достаточно наглядно представлено, ценой какой «уступки» при нало-



жении критериального ограничения на один показатель приобретает выигрыш в другом.

Свобода выбора решения при данном способе может оказаться довольно существенной, так как в районе общего экстремума по всем показателям эффективность решения обычно меняется незначительно.

Четвертый способ – метод использования значимости или весомости показателей.

Данный способ предполагает, что назначены степени значимости или весомости каждого из показателей многокритериальной задачи, а размерности их одинаковы или все они безразмерны. Обобщенный (интегральный) показатель Π представляется в скалярном виде как:

$$\Pi = \sum_{i=1}^K \alpha_i \Pi_i, \quad (1)$$

где α_i – коэффициент, определяющий степень значимости или весомости i -го показателя Π_i .

Таким образом, оптимизация решения производится по условию максимизации (минимизации) этого обобщенного показателя. Однако оценка степени значимости каждого из показателей связана со значительной субъективностью принимающего решение, а физический смысл общего критерия становится недостаточно ясным.

Использование данного способа может быть оправдано, если имеется возможность проверки соответствия показателя эффективности действительным целям операции на практике или путем достаточно подробного моделирования на ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиховцев, А.Л. Основные элементы оценки эффективности операций // Вестник Академии военных наук. 2015. № 3 (52). С. 45–52.
2. Конторов, Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С. Введение в радиолокационную системотехнику. М.: Советское радио, 1971. 367 с.
3. Надежность и эффективность в технике : Справочник в 10 т. Т. 2. Математические методы в теории надежности и эффективности / Под ред. Б.В. Гнеденко. М.: Машиностроение, 1987. 280 с.
4. Надежность и эффективность в технике : Справочник в 10 т. Т. 3. Эффективность технических систем / Под ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. М.: Машиностроение, 1988. 328 с.
5. Махнин В.Л. Военная наука ВВС. Словарь стратегических, оперативно-тактических категорий, понятий и терминов: учебно-методическое пособие. М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 236 с.
6. Боевые авиационные комплексы и их эффективность: учебник для слушателей и курсантов инженерных ВУЗов ВВС / И.В. Арбузов, О.В. Болховитинов, О.В. Волочаев и др.; под ред. О.В. Болховитинова. М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 224 с.

BIBLIOGRAPHY

1. Shikhovtsev A.L. Basic elements of assessment of efficiency of operations // Bulletin of Academy of military sciences. 2015. No. 3 (52). P. 45–52.



2. Kontorov D.S., Golubev-Novozhilov Yu.S. Introduction to radar system engineering. M.: Soviet radio, 1971. 367 p.
3. Reliability and efficiency in technique : The reference book in 10 vol. Vol. 2. Mathematical methods in a reliability theory and effectiveness / Under the editorship of B.V. Gnedenko. M.: Mashinostroenie, 1987. 280 p.
4. Reliability and efficiency in technique : The reference book in 10 vol. Vol. 3. Effectiveness of technical systems / Under the editorship of V.F. Utkin, Yu.V. Kryuchkov. M.: Mashinostroenie, 1988. 328 p.
5. Makhnin V.L. Military science of the Air Force. Dictionary of strategic, operational and tactical categories, concepts and terms. Educational and methodical grant. M.: Publishing House AFIA of N.E. Zhukovsky, 2008. 236 p.
6. Fighting aviation complexes and their effectiveness: the textbook for listeners and cadets of engineering higher education institutions of Air Force / I.V. Arbuzov, O.V. Bolkhovitinov, O.V. Volochayev, et al.; under the editorship of O.V. Bolkhovitinov. M.: Publishing House AFIA of N.E. Zhukovsky, 2008. 224 p.

© Линник А.П., Шамарин А.В., Чистилин Д.А., Бабков А.Н., 2017

Линник Алексей Павлович, кандидат технических наук, доцент, профессор, Краснодарское высшее военное авиационное училище имени Героя Советского Союза А.К. Серова (г. Краснодар), Россия, 355005, г. Краснодар, ул. Дзержинского, д. 135, vaiu@mil.ru

Шамарин Александр Вячеславович, кандидат технических наук, заместитель начальника научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Чистилин Денис Анатольевич, кандидат технических наук, начальник отдела научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Бабков Александр Николаевич, кандидат военных наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru