

УДК 614.8

К вопросу обоснования оптимального плана технического оснащения спасательных формирований МЧС России

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.3.73

© Технологии гражданской безопасности, 2022

Ю.А. Онищенко, З.А. Панферова

Аннотация

В рассматриваемой статье представлены исследования по разработке и применению методики обоснования оптимального плана технического оснащения, предложена методика, иллюстрирующая ее применение на примере спасательных формирований МЧС России, определены сравнительная значимость показателей эффективности, вид обобщенного показателя эффективности, представлены результаты генерации планов технического оснащения с целью выбора из состава конкурирующих по совокупности показателей оптимального плана.

Ключевые слова: план технического оснащения; математическая модель; иерархическая структура показателей; показатель эффективности; вес показателя; линейная свертка; мультипликативная свертка; трудность обеспечения эффективности; нормализация весов; шкала оценок.

On the Issue of Substantiating the Optimal Plan of the Emercom of Russia Rescue Units Technical Equipment

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.3.73

© Civil Security Technology, 2022

Yu. Onischenko, Z. Panferova

Abstract

In this article research is presented on the development and application of the technical equipment plan methodology optimal justification. Methodology is proposed illustrating its application by the example of the Emercom of Russia rescue formations, the comparative significance of efficiency indicators, the type of generalized efficiency indicator, the generation of technical equipment plan for the purpose of choosing from the set of competing the optimal plan indicators.

Key words: technical equipment plan; mathematical model; hierarchical structure of indicators; performance indicator; indicator weight; linear convolution; multiplicative convolution; difficulty of ensuring efficiency; normalization of weights; rating scale.

19.08.2021

В целях повышения эффективности выполнения задач спасательных формирований целесообразно осуществлять планирование их технического оснащения множеством видов техники с научным и методическим обоснованием.

Предложенная в статье методика обоснования оптимального плана технического оснащения спасательных формирований МЧС России является продолжением исследований, опубликованных в [1].

Рассмотрение вопросов планирования технического оснащения спасательных формирований до настоящего времени с точки зрения предложенного в статье подхода не выполнялось.

В статье [1] показаны наиболее общие стадии применения методики и ее функциональная структура; рассмотрены процедуры формирования множества видов техники (оборудования), подлежащих замене (выводу из эксплуатации) и предназначенных к вводу в эксплуатацию. Кроме того, рассмотрен процесс формирования перечня показателей эффективности плана оснащения; предложен специальный коэффициент — «коэффициент соответствия ЧС», который позволяет учитывать степень соответствия конкретного вида аварийно-спасательной техники (оборудования) определенному виду чрезвычайной ситуации.

В настоящей статье проведены исследования и представлены на примере результаты по определению сравнительной значимости показателей эффективности плана оснащения, конструированию вида обобщенного показателя эффективности, генерации планов оснащения и выбору из состава конкурирующих оптимального плана технического оснащения спасательных формирований.

Основу исследований составляет представленная ниже математическая модель выбора оптимального плана технического оснащения.

Пусть произвольный план технического оснащения спасательных формирований характеризуется парой: (стоимость (c), эффективность (e)). Тогда множество планов оснащения можно представить в виде табл. 1.

Таблица 1

Основные элементы математической модели выбора оптимального плана технического оснащения

План оснащения	Показатель стоимости	Показатель эффективности
p_1	c_1	e_1
p_2	c_2	e_2
...
p_m	c_m	e_m

Если c_0 — ограничение по стоимости, то оптимальный план определяется условием: $e_i = \max$ (при $c_i \leq c_0$).

В свою очередь, эффективность произвольного плана оснащения удобно представить в виде функции от набора показателей эффективности:

$$e = f(e_1, e_2, \dots, e_n).$$

Поскольку показатели имеют разную значимость, то для ее учета удобно ввести понятие «вес показателя».

Обозначать вес показателя принято через ω . То есть, вес показателя e_j обозначается как ω_j . Таким образом, предыдущая функция может быть записана следующим образом:

$$e = f(e_1, \omega_1, e_2, \omega_2, \dots, e_n, \omega_n). \quad (1)$$

Каков должен быть вид этой функции?

Довольно часто полагают, что она должна иметь вид взвешенной суммы:

$$\sum_{i=1}^n e_i \omega_i,$$

где:

e_i — показатель эффективности;

ω_i — вес показателя.

Такой вид функции принято называть «линейной сверткой». Однако она не всегда дает корректный результат. Легко заметить, что линейная свертка основана на неявном постулате: «низкая оценка по одному показателю может быть компенсирована высокой оценкой по другому». Этот постулат иногда называют «аксиомой компенсации». Однако этот постулат верен отнюдь не для всех практических случаев. Простейший пример: ухудшение качества изображения телевизора не может быть компенсировано улучшением качества его звука.

Другой пример. Пусть качество оператора ввода текстов оценивается двумя показателями: 1) скорость ввода (символов в минуту) и 2) среднее количество ошибок на страницу текста. Очевидно, что ухудшение качества ввода (увеличение количества ошибок) не может быть компенсировано увеличением скорости ввода.

К рассмотрению приняты некоторые показатели эффективности, которые чаще всего используются при оценке планов технического оснащения [2]. Это следующие показатели (кроме стоимостных): срок разработки технического средства (ТС); эффективность решения задачи с использованием ТС; сложность эксплуатации ТС; стойкость ТС к внешним воздействиям; производительность, надежность, мобильность и др. Указанные показатели могут применяться для входящих в план оснащения аварийно-спасательных средств (аварийно-спасательные машины, аварийно-спасательный инструмент, приборы поиска пострадавших и др.), средств инженерного обеспечения аварийно-спасательных работ (автокраны, экскаваторы, бульдозеры, погрузчики и др.).

Очевидно, что для показателей такого типа линейная свертка неприемлема, поскольку не выполняется аксиома компенсации. То есть, ухудшение значения одного показателя не может быть компенсировано улучшением значения другого. Для подобных случаев корректно применение мультипликативной свертки вида:

$$\prod_{i=1}^n e_i^{\omega_i}.$$

С целью получения интегральной эффективности произвольной операции в условиях мультипликативности Руссманом [3] обоснована корректность свертки следующего вида:

$$d = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - d_i)^{\omega_i}, \quad (2)$$

где:

d_i — трудность обеспечения эффективности;
 ω_i — вес показателя.

Величину d следует понимать как «трудность обеспечения эффективности плана оснащения» (сокращенно — «трудность»). Величина d_i определяется как трудность обеспечения эффективности по i -му показателю.

Трудность принимает значения от 0 до 1. При значении 0 (трудность отсутствует), считается, что эффективность максимальна. При значении 1 (трудность максимальна) считается, что эффективность равна нулю. При этом на веса накладываются следующие естественные ограничения:

$$0 \leq \omega_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^n \omega_i = 1.$$

Таким образом, необходимо привести оценки показателей эффективности в соответствие с выражением (2).

Для этого удобно использовать модифицированную вербально-числовую шкалу Харрингтона [4]. Модификация заключается в том, что из числовых значений исключено значение, строго равное нулю. Тем самым исключаются полностью неэффективные показатели.

Для примера применения шкалы Харрингтона рассматривается показатель «срок разработки». Пусть его значение варьируется от 0,5 года до 5 лет. Тогда экспертами может быть предложена шкала оценок, представленная в табл. 2.

Таблица 2

Шкала числовых значений трудности в зависимости от срока разработки

Срок разработки (лет)	Числовое значение трудности
4–5	0,85–0,9
2,5–3,5	0,65–0,8
1,5–2	0,35–0,6
0,6–1	0,25–0,3
0,5	0,1–0,2

Чем больше срок разработки, тем больше трудность достижения высокой эффективности плана оснащения, тем ниже его эффективность.

Для показателя «сложность эксплуатации» шкала может иметь вид, представленный в табл. 3.

Таблица 3

Шкала числовых значений в зависимости от сложности эксплуатации

Сложность эксплуатации	Числовое значение
Очень высокая	0,85 - 0,9
Высокая	0,65 - 0,8
Средняя	0,35 - 0,6
Низкая	0,25 - 0,3
Очень низкая	0,1 - 0,2

Использование шкалы Харрингтона позволяет попутно решить еще одну задачу — свести оценки разнородных показателей к единообразному виду.

Следующая задача — нормализация весов, то есть: переход от целых значений к значениям в диапазоне от 0 до 1.

Нередко веса назначают, исходя из интуитивного представления о сравнительной важности показателей. Однако исследования показывают [5], что человек (эксперт) не способен непосредственно назначать показателям корректные численные веса. Необходимы специальные процедуры получения весов. Поэтому, в предыдущих разделах работы была предложена надежная процедура определения сравнительной значимости показателей эффективности, основанная на модели Медианы Кемени [6]. Результат получается в форме ранжировки.

Корректный метод преобразования ранжировки в числовые веса обоснован в работе Подиновского В. В. [7]. В описанном в настоящей статье случае он выглядит следующим образом. Показателю, занимающему последнее место в ранжировке, присваивается вес 1. Показателю, занимающему предпоследнее место — вес 2. И так далее. Тогда нормализация весов выражается следующим образом:

$$\omega' = \omega / \omega_{\max}$$

где:

ω' — нормализованное значение веса;
 ω — исходное значение веса по Подиновскому (целое число);
 ω_{\max} — максимальное значение веса по Подиновскому.

Таким образом, обоснован вид функции (1) и указан способ ее расчета.

Согласно (1) функция определения эффективности плана оснащения имеет вид:

$$e = f(e_1, \omega_1, e_2, \omega_2, \dots, e_n, \omega_n).$$

На практике нередко встречается случай, когда некий показатель e_j , в свою очередь, формируется из набора показателей более низкого уровня.

Например, показатель «эффективность решения задачи» может формироваться из следующих показателей: мобильность, техническая производительность, надежность.

В общем случае предполагается, что обобщенный показатель эффективности можно представить в виде иерархической структуры показателей.

Структура обобщенного показателя:
 показатель уровня 1 (e_1)
 показатель 1.1
 показатель 1.1.1
 показатель 1.1.2
 ...

показатель 1.1 (n_1)
 показатель 1.2
 ...
 показатель 1 (n_2)
 показатель уровня 1 (e_2)
 показатель уровня 1 (e_3)
 ...
 показатель уровня 1 (e_n)
 Количество уровней может быть произвольным.

В работе [3] показано, что и в этом случае для вычисления значения показателя фиксированного уровня на основе значений показателей более низкого уровня также корректно применение формулы (2).

Технология реализации данной модели для оценки конкретного показателя включает следующие шаги:

- формирование структуры показателей эффективности;
- получение экспертных ранжировок показателей одного уровня по сравнительной важности;
- построение шкалы оценки для каждого показателя;
- получение оценок (возможно путем экспертизы) исходных показателей (показателей конкретного уровня);
- выполнение расчета согласованности экспертных мнений;
- построение обобщенной ранжировки показателей в случае достаточно высокой согласованности;
- расчет весов показателей;
- расчет показателя более высокого уровня.

Существует еще одна особенность приведенной технологии. Если реализуется коллективная экспертиза, то способ обработки данных может обеспечивать также учет различий в степени компетентности (авторитетности) экспертов.

Технология позволяет проводить индивидуальную работу с каждым экспертом, что существенно ускоряет достижение результата, так как организация и проведение совещаний обычно приводят к существенным временным задержкам. Для этого и предназначен метод построения компромиссной (обобщенной) ранжировки на основе индивидуальных. Этот прием может быть эффективным и позволить в сравнительно короткие сроки реализовать такой объем работы с экспертами, который невозможно было бы выполнить традиционными методами экспертных комиссий. Следует отметить, что любые совещания могут быть проведены, если это будет признано необходимым.

Проиллюстрировать методику возможно на следующем примере.

Пусть множество планов оснащения состоит из четырех элементов $\{p_1, p_2, p_3, p_4\}$, а множество показателей эффективности — из следующих трех:

- e_1 — эффективность решения задачи;
- e_2 — сложность эксплуатации;
- e_3 — уровень инновационности.

Пусть, далее, получены ранги и веса показателей, которые представлены в табл. 4.

Во втором столбце указаны ранги показателей, соответствующие обобщенной ранжировке (Медианы Кемени). В столбце 3 даны веса показателей по

Ранги и веса показателей

Таблица 4

Множество показателей эффективности	Ранг	ω_r	ω'	ω
e_1	1	3	1,00	0,50
e_2	2	2	0,67	0,33
e_3	3	1	0,33	0,17

Подиновскому (ω_r). В столбце 4 — нормализованные значения весов (ω'). В последнем столбце даны значения весов, скорректированные умножением их на величину (0,5) с целью выполнения требования модели Руссмана, согласно которой сумма весов должна быть равна 1.

Пусть получена (расчетным или экспертным путем) оценка трудности d_y достижения эффективности каждого плана p_i по каждому показателю эффективности e_j (табл. 5).

Соответствие планов показателям эффективности

Таблица 5

Множество планов \ множество показателей	e_1	e_2	e_3
p_1	0,8	0,5	0,1
p_2	0,3	0,4	0,6
p_3	0,6	0,8	0,4
p_4	0,6	0,5	0,5

Следует обратить внимание, что чем больше значение трудности, тем ниже значение эффективности. Например, по показателю эффективности решения задачи (e_1) самым лучшим является план p_2 , поскольку у него наименьшее значение трудности.

Результаты расчетов показателей стоимости и трудности обеспечения эффективности плана оснащения по формуле (2) представлены в табл. 6.

Результаты расчетов показателей стоимости и трудности обеспечения эффективности плана оснащения

Таблица 6

План	Стоимость плана оснащения	Трудность обеспечения эффективности плана оснащения
p_1	10	0,65
p_2	15	0,39
p_3	20	0,66
p_4	25	0,55

Пусть ограничение по стоимости имеет значение $c_0 = 15$.

Тогда, с учетом особенностей модели Руссмана, оптимальный план оснащения определяется условием:

$$d_i = \min (\text{при } c_i \leq c_0).$$

В примере условию удовлетворяют планы p_1 и p_2 . Окончательный выбор может быть выполнен экспертом или с использованием критерия

«стоимость–эффективность». Один из методов применения указанного критерия дан в работе Саати [8]. Там предлагается рассчитать величину отношения (эффективность/стоимость) и выбрать тот вариант, для которого это соотношение является наибольшим. Для данного примера получаются результаты, приведенные в табл. 7.

Здесь c' — нормированное значение стоимости; d' — нормированное значение трудности; e — эффективность (здесь, естественно, взять $e = 1 - d'$); « e/c » — искомое отношение.

По результатам расчета (столбец 7) видно, что в данном примере оптимальным планом является план p_2 .

Таким образом, представленная методика, с помощью которой осуществляется выбор плана технического оснащения, позволяет осуществлять обоснование оптимального плана технического оснащения спасательных

Таблица 7

Результаты оценки по критерию «Стоимость–эффективность»

план	c	d	c'	d'	e	e/c
1	2	3	4	5	6	7
p_1	10	0,65	0,40	0,63	0,38	0,94
p_2	15	0,39	0,60	0,38	0,63	1,04

формирований МЧС России, что подтверждено на рассмотренном примере.

Данная методика может применяться при разработке предложений в государственную программу вооружения, в части МЧС России, планов переоснащения сил МЧС России, планов строительства и развития сил и средств МЧС России и других, планирующих техническое оснащение сил МЧС России, документах.

Литература

1. *Онищенко Ю. А., Панферова З. А.* Методика обоснования оптимального плана технического оснащения спасательных формирований МЧС России // Технологии гражданской безопасности. 2020. № 2 (68). С. 49–52.
2. *Костров А. В.* Аналитический обзор открытых источников по теме: «Научное обоснование состава, численности личного состава и технического оснащения СВФ МЧС России» // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2018. № 1. С. 3–18.
3. *Берман М. А., Руссман И. Б.* О проблеме оценки качества // Экономика и математические методы. 1978. Т. XIV. Вып. 4.

4. Suleman, and other: Modified psychophysical Harrington's scale of quality and results of risk-based desirability function approach.— PLOS Neglected Tropical Diseases. 10.1371/journal.pntd.0003345.t004
5. *Ларичев О. И., Мошкович Е. М.* Качественные методы принятия решений. М.: Физматлит, 1996.
6. *Литвак Б. Г.* Экспертная информация: методы получения и анализа. М.: Радио и связь, 1981.
7. *Подиновский В. В.* Количественная важность критериев // Автоматика и телемеханика. № 5. 2000.
8. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.

Сведения об авторах

Онищенко Юрий Анатольевич: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. центра. Москва, Россия. SPIN-код: 2024-3051.

Панферова Злата Александровна: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. центра. Москва, Россия. SPIN-код: 2618-3937.

Information about authors

Onischenko Yuriy A.: All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Senior Researcher, Research Center. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 2024-3051.

Panferova Zlata A.: All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Senior Researcher, Research Center. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 2618-3937.

Издания ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Авторы, название	URL
<i>Пучков В.А.</i> Настольная книга руководителя гражданской обороны. Изд. 3-е, актуализ. и дополн.	https://elibrary.ru/item.asp?id=29123709
<i>Мануйло О.Л. и др.</i> Справочник руководителя гражданской обороны.	http://elibrary.ru/item.asp?id=26175476
<i>Прищепов Д.З. и др.</i> Сборник результатов интеллектуальной деятельности МЧС России.	http://elibrary.ru/item.asp?id=26516650
<i>Баньщикова З.Е. и др.</i> Справочное пособие по организации выполнения мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и проведению аварийно-спасательных работ силами и средствами органов государственной власти, органов местного самоуправления в мирное и военное время.	http://elibrary.ru/item.asp?id=26212676
<i>Дурнев Р.А. и др.</i> Технологии подготовки диссертационных работ в области защиты от чрезвычайных ситуаций. Научно-методическое издание.	http://elibrary.ru/item.asp?id=26340114