

**АЛГОРИТМ ВЫЯВЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРИ ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПЛЕКТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОХРАНЫ**

Кривобокова Светлана Евгеньевна,
адъюнкт,
Воронежский институт МВД России
Воронеж, Россия
E-mail: svetlanafedyaeva20@gmail.com

Целью исследования является выявление влияния частотных характеристик при формировании оптимального комплекта приборов охраны.

Объект исследования: частотные характеристики использования технических средств охраны на региональном уровне.

Методы: алгоритм Харрингтона для преобразования значений желательности в обобщенный показатель, специальный направленный перебор векторов востребованности, выделение множества альтернатив, оптимальных по Парето, попарное сравнение оценочных отношений.

Результаты исследования: 1. Продемонстрирована возможность улучшения частотных характеристик, приводящая к уменьшению цены с сохранением высокого (достаточно-го) уровня желательности. 2. Представлен графический инструмент выбора комплекта приборов для лица, принимающего решения.

Ключевые слова: частотные характеристики, алгоритм Харрингтона, множество Парето, оценочное отношение, векторная оптимизация.

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF FREQUENCY CHARACTERISTICS
IN THE OPTIMUM COMPLETE TECHNICAL MEANS OF PROTECTION**

Svetlana E. Krivobokova
Post graduate Student,
Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
Voronezh, Russia
E-mail: svetlanafedyaeva20@gmail.com

The purpose of the study is to identify the influence of frequency characteristics in the formation of an optimal set of security devices.

Object of research: frequency characteristics of the use of technical security equipment at the regional level.

Methods: Harrington's algorithm for converting desirability values into a generalized indicator, a special directed enumeration of demand vectors, selection of a set of Pareto optimal alternatives, pairwise comparison of estimated relations.

Research results: 1. Demonstrated the possibility of improving the frequency characteristics, leading to a reduction in price while maintaining a high (sufficient) level of desirability. 2. A graphical instrument cluster selection tool for the decision maker is introduced.

Keywords: frequency characteristics, Harrington algorithm, Pareto set, estimated ratio, vector optimization.

Введение

В настоящее время для защиты объектов фирмы-производители предоставляют большой выбор технических средств охраны (ТСО) различной стоимости [8]. При этом необходимо выбрать комплект ТСО, который обладает высоким уровнем желательности (надежности). В связи с этим возникает задача формирования оптимального по цене комплекта ТСО, который обладает высоким уровнем желательности.

Любое ТСО обладает некой востребованностью в использовании. Для получения сведений о данной востребованности необходимо провести опрос квалифицированных специалистов ведущих организаций (филиалов ФГКУ УВО (ОВО) ВНГ России по субъектам Российской Федерации). При этом зарегистрированная востребованность ТСО не обоснована, а обусловлена сложившейся тенденцией применения того или иного прибора.

Каждое ТСО обладает неким набором характеристик, которые указаны в паспорте прибора. Для оценки качественных параметров ТСО необходимо привлечение специалистов (экспертов). Таким образом, существует набор величин, которые имеют различные единицы измерения [2]. В связи с этим для оценки ТСО в целом желательно свести весь этот массив данных к одному числу – некоторому обобщенному показателю [7].

В работах [1, 4] для формирования оптимального по цене комплекта ТСО при сохранении определенной желательности применялись различные модели сокращения размерности как пространства мнений экспертов, так и параметрического пространства качества комплекта. При этом не учитывались частотные характеристики (востребованность), представленные практическими работниками в опросных анкетах.

Особенность настоящей работы состоит в том, что автор исследует вопрос, могут ли повлиять частотные характеристики на цену и желательность комплекта приборов охраны. Для решения данной задачи будут поочередно изменены частотные показатели отдельного прибора и вычислены усредненные критерии (цена и желательность), используя векторную оптимизацию. Затем выделяется множество Парето из эмпирического массива полученных данных для лица, принимающего решения (ЛПР) [5].

Результаты и обсуждение

В полученных анкетах исходными параметрами, характеризующими практически применяемый прибор определенной марки, являются следующие три: цена, желательность и востребованность (как часто на практике используют данный прибор).

Первый параметр понятен, цена z_k , $k = 1, \dots, m$, где m – количество приборов. Вторым параметром, желательность x_k , $k = 1, \dots, m$, учитывающий как надежность ТСО, так и совокупность экспертных оценок. При этом не все параметры имеют одинаковые единицы измерения. Поэтому, используя алгоритм Харрингтона [4], сводим все оценки к интегральному показателю x_k . Для этого используем шкалу желательности (рис. 1), которая находится в диапазоне от 0 до 1. Поддиапазоны от 0 до 0,65 и от 0,95 до 1 не подходят, так как эксперты не давали оценки ниже средних и максимальные оценки. Поэтому в работе используется диапазон от 0,65 до 0,95.

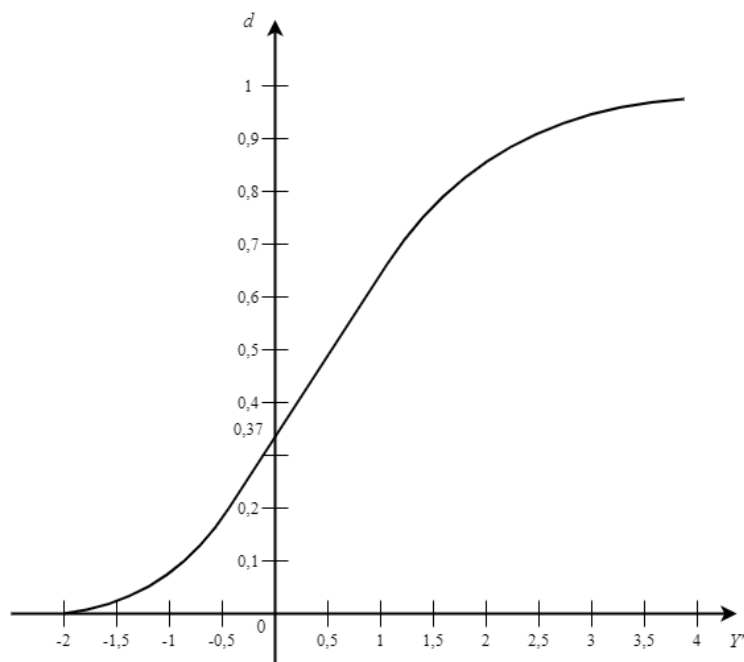


Рисунок 1 – Шкала желательности по Харрингтону

На графике d – значение функции желательности, Y' – кодированное значение частного параметра Y , т. е. его значение в условном масштабе.

Значения индексов шкалы желательности представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Обобщенные интегральные показатели

Y	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y'	0	0,34	0,78	1,1	1,4	1,54	1,76	2	3,3	4,5
d	0,37	0,46	0,55	0,65	0,71	0,77	0,83	0,89	0,95	0,99

Используя данную таблицу, переводим оценки экспертов для каждого ТСО в интегральные показатели желательности.

Третьим параметром является практическая частота использования ТСО, которую обозначим α_k . Общая востребованность равна:

$$\alpha = \sum_{k=1}^m a_k. \quad (1)$$

Это число будем считать неизменным, а вот слагаемые α_k будут изменяться согласно поставленной задаче исследования.

Сведения о цене, желательности по Харрингтону и востребованности приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Акустические ТСО

№ п/п	Наименование	Желательность X_k	Цена Z_k	Востребованность α_k
1.	Астра-С	0,825	699	18
2.	Стекло-2	0,862	846	9
3.	Стекло-3	0,862	697	12
4.	Стекло-3М	0,844	626	6
5.	Стекло-4	0,844	1119	2
6.	Юпитер-5810	0,862	1020	3

Рассмотрим математическое описание модели. Исходные данные после обработки анкет можно представлять в векторной форме. Пусть $\vec{Z} = (z_1, z_2, \dots, z_m)$, $\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$,

$\vec{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$ – соответственно вектор цен, вектор желательности, вектор востребованности.

Исходный практический комплект ТСО характеризуется двумя критериями:

1. Средняя цена комплекта:

$$F_1 = \frac{1}{\alpha} \langle \vec{A}, \vec{Z} \rangle = \frac{1}{\alpha} \sum_{k=1}^m a_k z_k. \quad (2)$$

2. Усредненная желательность комплекта:

$$F_2 = \frac{1}{\alpha} \langle \vec{A}, \vec{X} \rangle = \frac{1}{\alpha} \sum_{k=1}^m a_k x_k. \quad (3)$$

Задача: выбрать вектор $\vec{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$ так, чтобы, не теряя значительно желательность, уменьшить цену комплекта. Итак, среднюю цену комплекта надо уменьшать, а усредненную желательность увеличивать. Имеем векторную оптимизацию с возможным построением множества Парето [5]. Заметим, что предложенный в работе алгоритм применим только для определения оптимальных комплектов приборов охраны небольшой численности – m .

Рассмотрим пошаговый алгоритм. Зафиксируем и обозначим исходные данные вектора: $\vec{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$ как \vec{A}_1 . Составим из формул (2) и (3) первое оценочное отношение:

$$\Omega_1 = F_1(\vec{A}_1) / F_2(\vec{A}_1). \quad (4)$$

Первая итерация: сохраняя общую востребованность (формула (1), отдельное значение α_k увеличим на единицу, а другое α_j уменьшим на единицу. Таких различных вариантов изменения вектора частоты применения (частотного) дает формула числа размещений из m по два [6]:

$$A_m^2 = \frac{m!}{(m-2)!}. \quad (5)$$

Это число определяет численность точек на плоскости критериев (F_1, F_2) .

Так как в таблице 1 представлены 6 технических средств охраны ($m = 6$), по формуле (5) определим количество точек на плоскости критериев (F_1, F_2) :

$$A_m^2 = \frac{6!}{(6-2)!} = \frac{6!}{4!} = 30.$$

Для вычисления общей востребованности воспользуемся формулой (1):

$$\alpha = 18 + 9 + 12 + 6 + 2 + 3 = 50.$$

Замечание. Для $m > 10$ число точек больше 90, и, несмотря на возможное компьютерное решение, наглядность и прозрачность решения исчезают.

Для каждого измененного вектора вычисляем по формулам (2) и (3) значения первого и второго критериев.

Средняя цена и усредненная желательность комплекта ТСО при исходном векторе $\vec{A}_1 = (18, 9, 12, 6, 2, 3)$:

$$F_1 = \frac{1}{50} \sum_{k=1}^6 18 \times 699 + 9 \times 846 + 12 \times 697 + 6 \times 626 + 2 \times 1119 + 3 \times 1020 = 752,28;$$

$$F_2 = \frac{1}{50} \sum_{k=1}^6 18 \times 0,825 + 9 \times 0,862 + 12 \times 0,862 + 6 \times 0,844 + 2 \times 0,844 + 3 \times 0,862 = 0,8458.$$

Полученные результаты являются координатами на плоскости критериев (F_1, F_2) , где F_1 – средняя цена, F_2 – усредненная желательность по Харрингтону.

По формуле (4) составим первое оценочное отношение:

$$\Omega_1 = F_1(\vec{A}_1) / F_2(\vec{A}_1) = \frac{8}{0,8458}.$$

Далее будем изменять α_k на единицу, сохраняя неизменной общую востребованность. Отдельное значение α_k увеличим, а другое α_j уменьшим.

Например, используя формулу (1), пусть востребованность для каждого прибора равна:

$$\alpha = 17 + 10 + 12 + 6 + 2 + 3 = 50.$$

Тогда средняя цена и усредненная желательность комплекта ТСО (формулы (2) и (3):

$$F_1 = \frac{1}{50} \sum_{k=1}^6 17 \times 699 + 10 \times 846 + 12 \times 697 + 6 \times 626 + 2 \times 1119 + 3 \times 1020 = 755,22;$$

$$F_2 = \frac{1}{50} \sum_{k=1}^6 17 \times 0,825 + 10 \times 0,862 + 12 \times 0,862 + 6 \times 0,844 + 2 \times 0,844 + 3 \times 0,862 = 0,84654.$$

Аналогично вычислим критерии F_1 и F_2 для остальных точек. Результаты вычислений приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результирующие критерии при измененной востребованности

№ п/п	Востребованность α_k	Критерий F_1	Критерий F_2	№ п/п	Востребованность α_k	Критерий F_1	Критерий F_2
1.	17, 10, 12, 6, 2, 3	755,22	0,84654	16.	19, 9, 12, 5, 2, 3	753,74	0,84542
2.	17, 9, 13, 6, 2, 3	752,24	0,84618	17.	18, 10, 12, 5, 2, 3	756,68	0,84608
3.	17, 9, 12, 7, 2, 3	750,82	0,84618	18.	18, 9, 13, 5, 2, 3	753,28	0,84616
4.	17, 9, 12, 6, 3, 3	760,68	0,8463	19.	18, 9, 12, 5, 2, 3	762,28	0,84592
5.	17, 9, 12, 6, 2, 4	758,7	0,84654	20.	18, 9, 12, 5, 3, 3	762,14	0,84592
6.	19, 8, 12, 6, 2, 3	688,14	0,84506	21.	18, 9, 12, 5, 2, 4	760,16	0,84616
7.	18, 8, 13, 6, 2, 3	749,3	0,8458	22.	19, 9, 12, 6, 1, 3	743,88	0,84542
8.	18, 8, 12, 7, 2, 3	823	0,84544	23.	18, 10, 12, 6, 1, 3	746,82	0,84616
9.	18, 8, 12, 6, 3, 3	757,74	0,84556	24.	18, 9, 13, 6, 1, 3	743,84	0,84616
10.	18, 9, 12, 6, 2, 4	755,76	0,8458	25.	18, 9, 12, 7, 1, 3	742,42	0,8458
11.	19, 9, 11, 6, 2, 3	752,32	0,84506	26.	18, 9, 12, 6, 1, 4	750,3	0,84616
12.	18, 10, 11, 6, 2, 3	755,26	0,8458	27.	19, 9, 12, 6, 1, 2	745,86	0,84506
13.	18, 9, 11, 7, 2, 3	750,86	0,84544	28.	18, 10, 12, 6, 2, 2	748,8	0,8458
14.	18, 9, 11, 6, 3, 3	760,72	0,84556	29.	18, 9, 13, 6, 2, 2	745,82	0,8458
15.	18, 9, 11, 6, 2, 4	758,74	0,8458	30.	18, 9, 12, 7, 2, 2	744,4	0,84544

Исключаем минимальное (688,14) и максимальное (823) значения средней цены комплекта приборов, так как основной массив варьируется в пределах от 740 до 770 рублей.

На плоскости с осями F_1 и F_2 строим 30 точек из таблицы 3, а также отображаем точку с исходными параметрами желательности, цены и востребованности (рис. 2). Для построения множества точек используем авторскую программу выделения из этого точечного множества северо-западную границу – множество Парето [3].

Точки, входящие во множество Парето, выделены красным цветом и соединены ломаной линией. Исходный комплект приборов охраны изображен синей точкой.

Для точек из этого множества находим точку, для которой отношение первой координаты ко второй наименьшее. Соответствующий частотный набор обозначим набор \vec{A}_2 , а значение оценочного отношения – $\Omega_2 = F_1(\vec{A}_2) / F_2(\vec{A}_2)$. Критерии (2) и (3) – линейные по каждой переменной α_k .

Если $\Omega_1 < \Omega_2$, то исходный набор был наилучшим. Если $\Omega_1 > \Omega_2$, то вектор \vec{A}_2 рассматривается как первоначальный и все действия повторяются.

ЛПР может остановить процесс из собственных представлений о приемлемой средней цене комплекта и достаточной средней желательности комплекта.

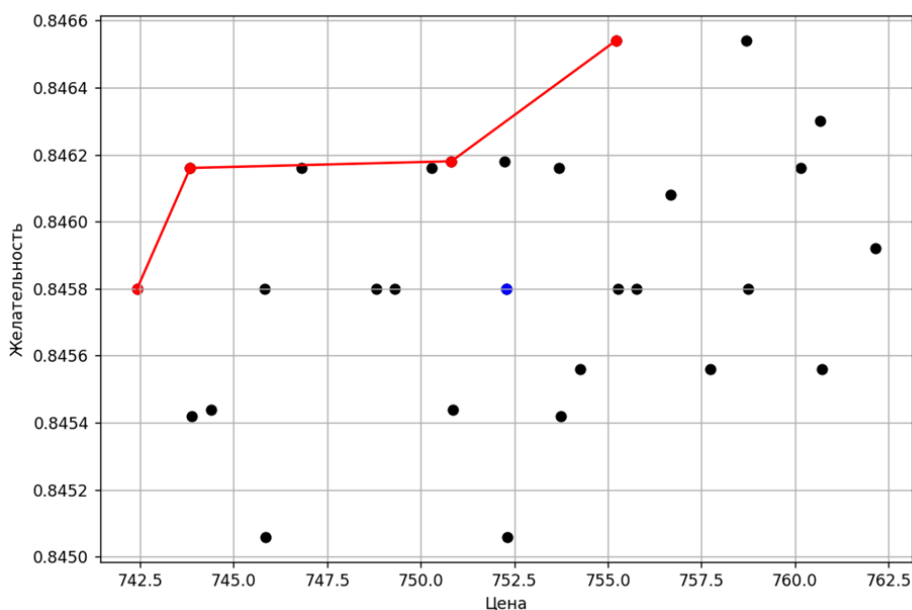


Рисунок 2 – Множество альтернатив комплектов ТСО

По формуле (4) составим оценочные отношения для точек множества, оптимального по Парето.

$$\Omega_2 = F_1(\vec{A}_2) / F_2(\vec{A}_2) = \frac{2}{0,8458}, \text{ где вектор } \vec{A}_2 = (18, 9, 12, 7, 1, 3).$$

$$\Omega_3 = F_1(\vec{A}_3) / F_2(\vec{A}_3) = \frac{4}{0,84616}, \text{ где вектор } \vec{A}_3 = (18, 9, 13, 6, 1, 3).$$

$$\Omega_4 = F_1(\vec{A}_4) / F_2(\vec{A}_4) = \frac{2}{0,84618}, \text{ где вектор } \vec{A}_4 = (17, 9, 12, 7, 2, 3).$$

$$\Omega_5 = F_1(\vec{A}_5) / F_2(\vec{A}_5) = \frac{2}{0,84654}, \text{ где вектор } \vec{A}_5 = (17, 9, 13, 6, 2, 3).$$

Далее сравниваем значения Ω_1 и Ω_2 .

$$\frac{752,28}{0,8458} > \frac{742,42}{0,8458}.$$

Очевидно, что значение больше Ω_1 , чем Ω_2 . Данное сравнение позволяет сделать вывод, что при востребованности $\alpha = (18, 9, 12, 7, 1, 3)$ комплект ТСО имеет одинаковую желатель-

ность, как и комплект при исходной востребованности $\alpha = (18,9,12,6,2,3)$, но меньше по цене.

Аналогично сравним значения оценочных отношений Ω_2 и Ω_3 . Для ясности решения приведем данные выражения к общему знаменателю:

$$\frac{628,2061072}{0,715682128} < \frac{629,139872}{0,715682128}.$$

Данный результат показал, что несмотря на то, что желательность и цена комплекта ТСО при востребованности $\alpha = (18,9,13,6,1,3)$ выше, чем у предыдущего комплекта, лучшим является комплект ТСО при оценочном отношении Ω_2 .

Далее сравниваем оценочные отношения Ω_2 и Ω_4 . Также приведем данные дроби к общему знаменателю:

$$\frac{628,2209556}{0,715699044} < \frac{635,043556}{0,715699044}.$$

Как и в предыдущем случае, лучшим комплектом ТСО является комплект при востребованности $\alpha = (18,9,12,7,1,3)$.

Произведем последнее сравнение оценочных отношений Ω_2 и Ω_5 .

$$\frac{628,4482268}{0,716003532} < \frac{638,765076}{0,716003532}.$$

Как и в предыдущем случае, лучшим комплектом ТСО является комплект при оценочном отношении Ω_2 .

Для автора результат оказался неожиданным. Поэтому необходимо выяснить причину данного исхода.

Сначала произведем расчет разности цен $\Delta(Z)$ комплектов ТСО при оценочных отношениях Ω_5 и Ω_2 :

$$\Delta(Z) = 755,22 - 742,42 \approx 13.$$

Далее вычислим разность желательностей $\Delta(X)$ комплектов ТСО при оценочных отношениях Ω_5 и Ω_2 :

$$\Delta(X) = 0,84654 - 0,8458 \approx 0,0008.$$

В результате вычислений выяснили причину, почему комплект ТСО при востребованности $\alpha = (18,9,12,7,1,3)$ лучше комплекта при востребованности $\alpha = (17,9,13,6,2,3)$.

Можно полагать, что если бы величины изменялись в большем диапазоне значений, то результат вычислений отличался от вышеизложенного. И количество итераций (сравнений) определял ЛПР в зависимости от удовлетворяющих его условий.

В итоге лучшим комплектом ТСО является комплект, имеющий востребованность $\alpha = (18,9,12,7,1,3)$. Несмотря на малое отличие величин, результат исследования показал, что частотные параметры могут влиять на цену и желательность комплекта многопараметрических приборов.

Заключение и выводы

В данной работе впервые приведен пошаговый алгоритм выявления влияния частотных характеристик на показатели цены и желательности комплектов многопараметрических приборов. На примере акустических ТСО использовалась компьютерная программа построения множества Парето с помощью покоординатного метода при отличных на единицу востребованностях. Вычислены оценочные отношения для комплектов ТСО, оптимальных по Парето. Были выявлены особенности минимально отличающегося диапазона величин. В результате исследования подтвердилось, что частотные характеристики имеют влияние на другие параметры комплекта ТСО.

Литература

1. Krivobokova, S. E. Analysis of expert opinions to reduce the dimensionality of vector optimization in the problem of determining the optimum set of security devices / S. E. Krivobokova, V. A. Rodin // 3 International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – 2021. – P. 10–14.
2. Кривобокова, С. Е. Анализ методов проверки согласованности мнений экспертов / С. Е. Кривобокова. – Текст : непосредственный // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Охрана, безопасность, связь – 2021». – Воронеж : Воронежский институт МВД России. – 2021. – С. 88–93.
3. Кривобокова, С. Е. Алгоритм и программа для графического выделения множества Парето в точечном массиве / С. Е. Кривобокова, В. А. Родин. – Текст : непосредственный // Прикладная математика & Физика. – Белгород. – 2021. – Т. 53, № 2. – С. 125–131.
4. Кривобокова, С. Е. Оптимальная комплектация объекта специальными средствами охраны на основе обобщенного показателя Харрингтона / С. Е. Кривобокова, В. А. Родин. – Текст : непосредственный // Вестник Воронежского института МВД России. – 2021. – № 2. – С. 154–164.
5. Малыхин, В. И. Теория принятия решений : лекции и задачи : учебник / В. И. Малыхин, В. А. Родин ; Воронежский государственный университет. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015. – 322 с. – Текст : непосредственный.
6. Дискретная математика : учебник / В. В. Меньших, А. Н. Копылов, В. А. Кучер, С. А. Телкова. – Воронеж : Воронежский институт МВД России, 2016. – 228 с. – Текст : непосредственный.
7. Пичкалев, А. В. Применение кривой желательности Харрингтона для сравнительного анализа автоматизированных систем контроля / А. В. Пичкалев. – Текст : непосредственный // Вестник КГТУ. – Красноярск : КГТУ. – 1997. – С. 128–132.
8. Список технических средств безопасности, удовлетворяющих «Единым требованиям к системам передачи извещений, объектовым техническим средствам охраны и охранным сигнально-противоугонным устройствам автотранспортных средств, предназначенным для применения в подразделениях вневедомственной охраны войск национальной гвардии Российской Федерации». – Текст : электронный // Федеральная служба войск национальной гвардии Российской Федерации. – URL: <http://www.nicohrana.ru/normativno-tehnicheskaya-dokumentaciya.html> (дата обращения: 09.06.2022).