

УДК 629.5.01
DOI: 10.37890/jwt.vi71.250

Многокритериальная оптимизация судовых устройств и их элементов

А.А. Зорин¹
Д.А. Миролюбов¹
В.В. Кузнецова¹
ORCID: 0000-0002-8338-7532

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье ставится задача выбора типа судовых устройств. Рассмотрен один из методов решения задачи многокритериальной оптимизации на основе аддитивной свертки критериев. Описан способ нормализации частных критериев оптимальности и способ определения «весовых» коэффициентов. Приведены критерии эффективности, которые могут быть применены в задачах оптимизации люковых закрытий грузовых судов. Решена задача многокритериальной оптимизации люковых закрытий на примере существующих судов. Приведены результаты расчетов в табличной форме. Рассмотрены критерии эффективности, которые могут быть применены в задачах оптимизации шлюпок и шлюпбалок. Решена задача многокритериальной оптимизации шлюпок и шлюпбалок. Приведены результаты расчетов в табличной форме. Сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: судовые устройства, люковые закрытия, шлюпочное устройство, многокритериальная оптимизация, критерий эффективности, «весовые» коэффициенты, нормализация критериев эффективности, метод аддитивной свертки.

Multicriteria optimization of ship devices and their elements

Alexander A. Zorin¹
Dmitry A. Mirolubov¹
Vera V. Kuznetsova¹
ORCID: 0000-0002-8338-7532

¹Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article sets the task of choosing the type of ship devices. One of the methods for solving the problem of multicriteria optimization based on additive convolution of criteria is considered. A method for normalizing partial optimality criteria and a method for determining "weight" coefficients are described. Efficiency criteria are given that can be applied in the problems of optimization of hatch covers for cargo ships. The problem of multicriteria optimization of hatch covers is solved on the example of existing ships. The results of calculations are presented in tabular form. Efficiency criteria that can be applied in optimization problems for lifeboats and davits are considered. The problem of multicriteria optimization of lifeboats and davits is solved. The results of calculations are presented in tabular form. Appropriate conclusions are drawn.

Keywords: ship devices, hatch covers, lifeboat device, multicriteria optimization, efficiency criterion, "weight" coefficients, efficiency criteria normalization, additive convolution method.

Введение

Судовые устройства предназначены для обеспечения нормальной эксплуатации судна, это совокупность механизмов, аппаратов, машин. Они могут быть общими и специальными, которые обусловлены назначением судна. К общим судовым устройствам относят рулевое, якорное, швартовное и шлюпочное. Последнее рассмотрим подробнее. Шлюпочное устройство необходимо для обеспечения спасения людей в случае аварии и гибели судна, связи судна с берегом, выполнения работ на плаву около судна. В его состав входят:

- спасательные шлюпки;
- рабочие шлюпки и разъездные катера;
- шлюпбалки, которые служат для быстрого и безопасного спуска и подъема спасательных шлюпок;
- приспособления для хранения шлюпок и катеров по-походному.

По конструкции спасательные шлюпки разделяются на:

- открытые (ОСШ);
- частично закрытые (ЧЗСШ);
- полностью закрытые (ПЗСШ).

Шлюпбалки необходимы для спуска шлюпки на воду или подъема их с воды на борт. Шлюпбалки бывают различных систем, наиболее широко распространены поворотные, заваливающиеся (откидные) и гравитационные (склоняющиеся, скатывающиеся или шарнирные).

Спусковые и посадочные устройства обеспечивают безопасную посадку и спуск коллективных спасательных средств на воду, должны иметь достаточную прочность (надежность) [1,2].

К специальным судовым устройствам можно отнести, например, грузовое устройство. Люковые закрытия грузовых трюмов разделяют на съемные, откатываемые, откидные, сдвигаемые и наматываемые. Они обеспечивают необходимую безопасность судна и сохранность груза, уменьшить трудоемкость и продолжительность грузовых операций, позволяют увеличить габариты грузовых люков) [3,4].

При разработке проекта судна встает задача выбора того или иного элемента судового устройства, его типа. Этот выбор зависит от нескольких критериев, таких как прочность, стоимость, трудоемкость, время приведения в рабочее состояние и т.д. Качество какого-либо решения должно оцениваться по нескольким критериям, многие из которых при этом «конфликтуют» между собой. В таком случае выбор наилучшего решения становится непростой задачей. Всегда необходимо искать компромиссное решение, которое учитывает важность каждого критерия. Невозможно охватывать лишь одним критерием все предъявляемые к объекту требования. Оптимальное решение должно удовлетворять эксплуатационным требованиям и в то же время должно быть выгодно с экономической точки зрения, то есть необходимо использовать многокритериальные методы принятия решения.

Выбор метода многокритериальной оптимизации и его характеристика

При решении задачи оптимизации, как правило, рассматривают несколько критериев эффективности, по которым производится выбор наилучшего решения с набором оптимальных параметров. От количества критериев оптимальности зависит, насколько полная характеристика об объекте исследования будет получена.

Большинство методов решения задач многокритериальной оптимизации сводят множество частных критериев оптимальности к одному показателю эффективности (Парето-оптимальные решения)[5]. И это понятно, т.к. введение обобщенного критерия вместо ряда частных критериев означает решение задачи. Поскольку есть множество методов для решения однокритериальных задач оптимизации) [6,7,8]. Благодаря введению целевой функции логические проблемы перестают существовать, остаются лишь трудности, связанные с вычислением. Наиболее распространенным обобщенным критерием оптимальности ($F(x)$) является сумма частных критериев эффективности, называемая аддитивной свёрткой (1).

$$F(x) = (a_1F_1(x) + a_2F_2(x) + \dots + a_iF_i(x)) \quad (1)$$

где $F_i(x)$ - частные критерии эффективности;

a_i - «весовые» коэффициенты или меры важности частных критериев.

Для упрощения процедуры назначения «весов» a_i критериям накладывается ограничение вида:

$$\Sigma a_i = 1. \quad (2)$$

Частные критерии оптимальности довольно часто между собой несопоставимы и имеют различное направление оптимизации. Поэтому производят их нормализацию, т.е. осуществляют переход к условным единицам измерения критериев и ориентируют желаемое направление их изменения. Нормализация критериев производится по формулам:

$$F(x) = \begin{cases} \frac{F_i - F_{min}}{F_{max} - F_{min}} \text{ при } F_i \rightarrow \max \\ \frac{F_{max} - F_i}{F_{max} - F_{min}} \text{ при } F_i \rightarrow \min \end{cases} \quad (3)$$

В большинстве случаев «вес» частных критериев эффективности назначают посредством интуитивного представления экспертов. Поскольку такое определение «весовых» коэффициентов в этом случае носит субъективный характер, иногда применяют формальный метод их назначения. Для каждого частного критерия оптимальности вычисляется коэффициент относительного разброса по формуле:

$$d_i = \frac{F_i^{max} - F_i^{min}}{F_i^{max}} \quad (4)$$

«Весовые» коэффициенты определяются по выражению:

$$a_i = \frac{d_i}{\Sigma d_i} \quad (5)$$

Задача оптимизации люковых закрытий

Рассмотрим задачу многокритериальной оптимизации люковых закрытий, применяемых на современных судах. Были приняты к рассмотрению три показателя их эффективности:

- 1) критерий массы металла;

- 2) критерий стоимости люковых закрытий;
- 3) критерий времени, затрачиваемого на открытие/закрытие одного трюма.

В качестве критерия массы наиболее правильно было бы использовать не значения самой массы металла, применяемой для изготовления люковых крышек, а его относительное значение, поскольку суда имеют существенные отличия в размерениях, водоизмещении, дедейте, объёмах грузовых трюмов и пр. Поэтому в качестве этого критерия принято отношение массы крышек к кубатуре грузовых трюмов. Исходная масса крышек принята по спецификациям рабочей конструкторской документации ряда проектов судов.

Значение критерия стоимости люковых закрытий принято исходя из стоимости металла руб./кг или тыс. руб./т на момент 2021 года в зависимости от конкретного поставщика металла [9, 10]. При этом для определения критериев принято относительное значение стоимости металла от его массы.

Открытие и закрытие люковых крышек в зависимости от их типов осуществляется различными способами, к примеру, с помощью гидроцилиндров или же мостового или берегового крана, специальных лебедок. Среднее время, которое требуется на открытие/закрытие люковых закрытий, фиксируется во время проведения испытаний тем или иным способом.

Результаты расчётов критериев различных типов люковых закрытий представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сопоставление типов люкового закрытия по критериям

Параметр	Типы люкового закрытий сухогрузных судов				
	Съёмные	Шарнирно-откидные	Откаты-ваемые	Сдвигаемые	Наматы-ваемые
1 Критерий массы, т/м ³	0,0196	0,0192	0,0237	0,0222	0,0297
2 Критерий стоимости, тыс. руб./т	0,0675	0,0757	0,0679	0,0667	0,0526
3 Критерий среднего времени, затрачиваемого на открытие / закрытие одного трюма, мин	20,0000	15,0000	15,0000	25,0000	45,0000

Нормализация критериев произведена по формулам (3). Результат расчёта нормализации критериев, а также значения «весовых» коэффициентов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Нормализация критериев люковых закрытий

Параметр	Значение критериев люковых закрытий					a_i
	Съёмные	Шарнирно-откидные	Откаты-ваемые	Сдвигаемые	Наматы-ваемые	
Масса	0,962	1,000	0,571	0,714	0,000	0,265
Стоимость	0,355	0,000	0,338	0,390	1,000	0,229
Время	0,833	1,000	1,000	0,667	0,000	0,501

Результаты расчетов обобщенного показателя эффективности для разных типов люковых закрытий представлены в таблице 3.

Таблица 3

Сводные данные решения многокритериальной оптимизации методом обобщённого показателя

Типы люковых закрытий				
Съёмные	Шарнирно-откидные	Откатываемые	Сдвигаемые	Наматываемые
$F(x) = \Sigma(a_i F_i(x))$				
0,758	0,770	0,733	0,616	0,230

Задача оптимизации шлюпочного устройства

Для шлюпочного устройства в качестве частных критериев рассматривались такие, как критерий стоимости, критерий времени подъёма/спуска шлюпки, критерий массы; критерий вместимости. Рассмотрим каждый из них в отдельности. В таблицах 4 и 5 приведен сравнительный анализ шлюпок и шлюпбалок по каждому из частных критериев оптимальности.

Таблица 4

Сравнительный анализ критериев оптимальности шлюпок

Параметр	Вид шлюпки		
	Открытая (ОСШ)	Частично закрытая (ЧЗСШ)	Полностью закрытая (ПЗСШ)
Стоимость, \$	От 1000 до 20000	От 2000 до 50000	От 1800 до 70000
Масса, т	8,5	9,9	7,5
Вместимость, чел.	32	35	32

Таблица 5

Сравнительный анализ критериев оптимальности шлюпбалок

Параметр	Вид шлюпбалки		
	Гравитационная	Заваливающаяся	Поворотная
Время подъёма/спуска шлюпки, мин	12-15	14-16	9-12
Стоимость, \$	От 6500 до 80000	От 2000 до 50000	От 1500 до 75000
Масса, т	10	8,7	6,1

Характеристикой критерия стоимости является рыночная стоимость шлюпок и шлюпбалок, выбор каждой из них зависит от типа судна, его района плавания, назначения, габаритов, количества экипажа (и пассажиров, если это пассажирский лайнер).

Исходя из табличных данных (таблица 4) по стоимости шлюпок, можно сделать вывод, что наиболее целесообразно, если нет особых требований, покупать открытые шлюпки, т.к. они наиболее дешевы как в эксплуатации, так и в ремонте. Также можно сделать вывод, что касательно стоимостного критерия более целесообразно использовать поворотные шлюпбалки (таблица 5).

Критерий времени подъёма/спуска шлюпки характеризует время (минуты), за которое осуществляется спуск шлюпки на воду с учетом посадки людей.

Исходя из табличных данных (таблица 4) можно сделать вывод о том, что по времени спуска для грузовых судов наиболее рационально будет выбрать поворотную

шлюпбалку. Для пассажирских судов время спуска спасательной шлюпки примерно в 3 раза больше из-за количества людей на корабле.

Критерий массы определяется в зависимости от габаритов и вместимости шлюпок, то есть является обобщенным.

В шлюпках, в зависимости от габаритов и типа, имеется фиксированное количество мест для людей. Исходя из данных, приведенных в таблице 4, можно сделать вывод, что открытые спасательные шлюпки более вместительны, но стоит отметить то, что на крупных судах как морских, так и смешанного плавания в основном применяют полностью закрытые шлюпки в качестве основных. Открытые же применяют в основном на маломерных речных судах и в качестве дежурных шлюпок на больших судах. На пассажирских судах стараются применять шлюпки с наибольшей вместимостью, в соответствии с Правилами Российского Речного Регистра и другими международными документами.

В силу того, что рассмотренные критерии между собой несопоставимы, необходимо произвести их нормализацию, то есть перейти к условным единицам измерения (3). Результат расчёта нормализации критериев и значения «весовых» коэффициентов представлены в таблице 6 и таблице 7.

В таблице 8 сведены результаты расчёта многокритериальной оптимальности способом обобщённого критерия эффективности для шлюпок.

Таблица 6

Нормализация критериев для шлюпок

Параметр	Значения критериев			a_i
	Открытая (ОСШ)	Частично закрытая (ЧЗСШ)	Полностью закрытая (ПЗСШ)	
Масса	0,001	0,998	0,416	0,232
Стоимость	0,426	0,001	0,375	0,686
Вместимость	0,005	0,989	0,276	0,082

Таблица 7

Нормализация критериев для шлюпбалок

Параметр	Значения критериев			a_i
	Гравитационная	Заваливающаяся	Поворотная	
Масса	0,006	0,995	0,578	0,324
Стоимость	0,375	0,416	0,994	0,312
Время подъёма/спуска шлюпки	0,997	0,321	0,002	0,364

Таблица 8

Сводные данные решения многокритериальной оптимальности способом обобщённого критерия эффективности для шлюпок

Тип шлюпки		
Открытая (ОСШ)	Частично закрытая (ЧЗСШ)	Полностью закрытая (ПЗСШ)
$H(x) = \sum(a_i H_i(x))$		
0,293	0,313	0,377

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что в данном случае следует применять шлюпки полностью закрытого типа.

В таблице 9 сведены результаты расчёта многокритериальной оптимальности способом обобщённого показателя для шлюпбалок.

Таблица 9

**Сводные данные решения многокритериальной
оптимальности способом обобщённого показателя для шлюпбалок**

Тип шлюпки		
Гравитационная	Заваливающаяся	Поворотная
$H(x) = \Sigma(a_i H_i(x))$		
0,482	0,247	0,633

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что следует применять поворотную шлюпбалку.

Заключение

Метод оптимальных решений, упомянутый в статье, показал, что наиболее целесообразно применять шарнирно-откидные люковые закрытия. Рассматривая частные критерии эффективности, такие как масса, стоимость, вместимость, оптимальным решением оказалась шлюпка полностью закрытого типа. А наиболее приемлемый поворотный тип шлюпбалки был выбран по трем критериям: масса, стоимость и время подъема/спуска шлюпки.

Полученные результаты решения задач многокритериальной оптимизации позволяют сделать вывод о возможности применения рассмотренного метода аддитивной свертки частных критериев эффективности для выбора типа судовых устройств. Однако следует отметить, что при решении подобных задач необходимо также учитывать такие факторы, как назначение и условия эксплуатации судна, многолетний опыт эксплуатации различных типов устройств, которые не всегда удается включить в алгоритм в формализованном виде.

Список литературы

1. Шмаков М. Г. Судовые устройства. Учебник для вузов водн. трансп. Изд. 2-е, перераб. и доп. «М», «Транспорт», 1977, 279 с.
2. Зарецкий В. М., Лесовой В. А. Эксплуатация судовых устройств и корпуса: Учебник для мореход. училищ. – М., Транспорт. 1990. – 260 с.
3. Очеретянный А. В. Судовые люковые закрытия. Методические указания к практическому занятию. – Севастополь: Издв-во СевНТУ. 2009. – 24 с.
4. Симоненко А. С. Грузовые устройства сухогрузных судов. – Л.: Судостроение, 1988. – 224 с., ил.
5. Шевченко Д. В. Методы оптимальных решений: практикум / Д. В. Шевченко, З. Ш. Аглямова. – Казань: Изд-во «Познание» Казанского инновационного университета им. В. Г. Тимирязова (ИЭУП), 2018. – 149 с.
6. Коротченко А. Г., Кумагина Е. А., Сморякова В. М. Введение в многокритериальную оптимизацию. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2017. – 55 с.
7. Мастяева И. Н., Горемыкина Г. И., Семенихина О. Н. Методы оптимизации: линейные модели. М.: МЭСИ, 2015.
8. Соболев И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Дрофа, 2006. 175 с.

9. Металл сервис. Каталог судовой стали – URL: https://mc.ru/metalloprokat/sudovaya_stal. (дата обращения 09.03.2022).
10. ТД МегаСталь. Металлопрокат - URL: <https://mgstl.ru/>. (дата обращения 09.03.2022).

References

1. Shmakov M. G. Ship devices. Textbook for woods aq. transp. Ed. 2nd, revised. and additional "M", "Transport", 1977. - 279 p.
2. Zaretsky V. M., Lesovoy V. A. Operation of ship devices and hulls: A textbook for a sailor. schools. - M., Transport, 1990. - 260 p.
3. Ocheretyanny A. V. Ship hatch covers. Methodical instructions for a practical lesson. - Sevastopol: SevNTU Publishing House, 2009. - 24 p.
4. Simonenko A. S. Cargo devices for dry cargo ships. - L.: Shipbuilding, 1988. - 224 p., ill.
5. Shevchenko D. V. Methods of optimal solutions: practical work / D. V. Shevchenko, Z. Sh. Aglyamova. - Kazan: Publishing House "Knowledge" of the Kazan Innovative University. V. G. Timiryasova (IEUP), 2018. - 149 p.
6. Korotchenko A. G., Kumagina E. A., Smoryakova V. M. Introduction to multicriteria optimization. Teaching aid. - Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod University, 2017. - 55 p.
7. Mastyaeva I. N., Goremykina G. I., Semenikhina O. N. Optimization methods: linear models. M.: MESI, 2015.
8. I. M. Sobol and R. B. Statnikov, Choice of Optimal Parameters in Problems with Many Criteria. M.: Drofa, 2006. - 175 p.
9. Metal service. Marine steel catalog - URL: https://mc.ru/metalloprokat/sudovaya_stal. (accessed 09.03.2022).
10. Trade House MegaStal. Rolled metal - URL: <https://mgstl.ru/>. (accessed 09.03.2022).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Зорин Александр Андреевич, магистрант кафедры проектирования и технологии постройки судов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: sanya.zorin.1998@mail.ru

Alexander A. Zorin, master student of the Department of Design and Technology of Building Ships, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Миролюбов Дмитрий Алексеевич, магистрант кафедры проектирования и технологии постройки судов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: mirolubow.d@mail.ru

Dmitry A. Mirolubov, master student of the Department of Design and Technology of Building Ships, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Кузнецова Вера Владимировна, к.т.н., доцент кафедры проектирования и технологии постройки судов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: anis88vera@mail.ru

Vera V. Kuznetsova, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Design and Technology of Building Ships, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 21.04.2022; опубликована онлайн 07.06.2022.
Received 21.04.2022; published online 07.06.2022.