

**В.В. Анисимова, Е.П. Роннов**  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СУДОВ**

Проектирование – это поиск компромиссных вариантов решений в условиях противоречивых требований, предъявляемых к объекту проектирования. Почти всякая сложная техническая задача принятия решения многоцелевая. Однако все математические методы оптимизации, как правило, предназначены для нахождения экстремума одной функции – то есть для одного критерия. Поэтому чаще всего пытаются свести многоцелевую задачу к одноцелевой. Эта процедура в большинстве случаев приводит к серьезному искажению существа проблемы и, следовательно, к неоправданной замене одной задачи другой.

Понятно, что качество любого реального объекта, и в особенности такого сложно-го как судно, невозможно оценить одним показателем. Действительно, при таком показателе должны быть обеспечены и наилучшие эксплуатационные характеристики судна и минимум средств, вложенных в его постройку. Очевидно, что частные критерии многокритериальной задачи оптимизации противоречивы, т.е. улучшение одного приводит к ухудшению другого (других) критериев. Для общей задачи многокритериальной оптимизации не существует единственного решения. Решением этой задачи может быть только некоторый компромисс.

Методы решения многокритериальных задач можно разделить на эвристические, аксиоматические и формальные. Группа эвристических и аксиоматических методов состоит из [1]:

- методов, предполагающих преобразование набора имеющихся частных критериев в некоторый глобальный критерий (методы свёртывания критериев);

- методов, основанных на назначении «весов» частных критериев, когда глобальный критерий представляется в виде линейной свертки. Эти методы можно было бы отнести к методам, основанным на свертке частных критериев, однако их обычно выделяют в самостоятельную группу;

- методов, базирующихся на выведении всех, за исключением какого-либо одного, частных критериев в ограничения или установлении предпочтения на частных критериях.

Очевидно, что свертывание критериев позволяет свести задачу к однокритериальной задаче оптимизации. Существует несколько типов функций свертки частных критериев. Это аддитивные, мультипликативные, агрегированные и др. Применение этого метода требует однородности критериев. При нарушении этого принципа теряется смысл глобального критерия. Примерами большой группы свертывания критериев являются методы равномерной оптимизации и справедливого компромисса с использованием функции в виде мультипликативной свертки. Характерной особенностью этих методов является формальная необоснованность выбора свертки частных критериев.

При решении задачи методом равномерной оптимизации лучшим считается вариант, у которого сумма всех целевых функций принимает максимальное значение, при этом используется аддитивная функция свертки:

$$F(x) = \max \sum_i f_i(x). \quad (1)$$

Так как значения частных критериев могут иметь различные масштабы и шкалы измерения, требуется нормировка частных критериев, что выступает недостатком этого метода.

Как и в методе равномерной оптимизации, так и в методе справедливого компромисса все частные критерии считаются равноценными. Справедливым называется компромисс, для которого относительный уровень снижения качества по одному или нескольким частным критериям не превосходит относительный уровень повышения качества по остальным частным критериям. Глобальный критерий эффективности при этом записывается с использованием мультипликативной свертки:

$$F(x) = \max \prod_i f_i(x). \quad (2)$$

Несмотря на недостаточную методологическую обоснованность этой свертки, ее применение позволяет избежать противоречия, возникающего при использовании аддитивной свертки и связанного с существенной неаддитивностью частных критериев. При использовании мультипликативной свертки вопрос приведения частных критериев к единой мере измерения решается автоматически, по виду самой свертки [2].

Существует альтернативный подход к методу справедливого компромисса, который является более строгим по своему характеру и относится скорее к аксиоматической группе методов. При решении этим методом вводится относительное изменение качества решения. Рассмотрим две альтернативы  $x_1$  и  $x_2$ , для которых заданы значения всех критериев:  $f_1(x_1), f_2(x_1), \dots, f_i(x_1), f_1(x_2), f_2(x_2), \dots, f_i(x_2)$ . Предполагается, что по некоторым показателям альтернатива  $x_1$  лучше, а по другим – хуже, чем  $x_2$ .

$$\Delta_i = \frac{f_i(x_2) - f_i(x_1)}{\max\{|f_i(x_1)|, |f_i(x_2)|\}}, \quad (3)$$

где  $\Delta_i$  – относительное изменение качества решения;

$\Delta_{min} = \min \Delta_i$  – максимальное снижение качества;

$\Delta_{max} = \max \Delta_i$  – максимальное повышение качества.

Если  $\Delta_{max} > \Delta_{min}$ , то решение  $x_2$  превосходит решение  $x_1$ ,  $x_2 \succ x_1$ . Если  $\Delta_{max} \leq \Delta_{min}$ , то решение  $x_1$  превосходит решение  $x_2$ ,  $x_1 \succ x_2$ . [3]

Этот алгоритм также инвариантен к масштабу измерения частных критериев, поэтому их нормализация не требуется.

Наибольшее распространение получили методы, основанные на назначении «весов» частных критериев. Методологической базой этих методов является так называемый метод экспертных оценок, основанный на опросе мнений одного или группы экспертов о возможных значениях «весов» частных критериев. При этом свертка частных критериев имеет вид [4]:

$$F(x) = \sum_i \alpha_i f_i(x). \quad (4)$$

Часто на «веса»  $\alpha_i$  накладывается дополнительное ограничение  $\sum_i \alpha_i = 1$ , что упрощает процедуру назначения весов частным критериям  $f_i(x)$ .

Используя тот или иной метод свертывания критериев, лицо принимающее решение сталкивается с рядом проблем. Таких как, обоснование выбора функции свертки (от этого выбора часто зависит получаемый результат), обоснование выбора весовых коэффициентов. Решения, получаемые такими методами являются субъективными.

Среди группы аксиоматических методов наибольшее распространение получил метод «последовательных уступок». Процедура решения многокритериальной задачи этим методом заключается в том, что все частные критерии располагают и нумеруют в порядке их относительной важности, определяемой на основании оценок экспертов;

оптимизируют первый, наиболее важный критерий; затем из некоторых соображений назначают величину допустимого отклонения значения этого критерия и оптимизируют второй по важности частный критерий при условии, что значение первого критерия не должно отличаться от оптимального более, чем на величину установленного отклонения – уступки; далее подобным же образом поочередно оптимизируют все остальные частные критерии. Оптимальным считается любое значение вектора  $x$ , полученное при решении задачи отыскания условного оптимума последнего по важности критерия [4].

Для решения многокритериальной задачи, как методом «последовательных уступок» так и методами, основанными на назначении «весов» критериям, привлекается только субъективная информация. Это существенный недостаток этих методов. Так, в методе «последовательных уступок» лицо, принимающее решение, привлекается, по крайней мере, дважды: первый раз при ранжировании частных критериев, второй – при установлении величины «уступок».

Также недостатком метода является необходимость нормировки частных критериев, поскольку часто они не аддитивны. Нормализация при этом носит, как правило, искусственно формальный характер и не отвечает на вопрос о том, как соотносятся единицы измерения частных критериев между собой, иными словами, какова относительная полезность единицы приращения каждого частного критерия.

С применением ЭВМ в проектных задачах и на этапе исследовательского проектирования получили развитие формальные методы принятия решений в условиях многокритериальности. Они, безусловно, основаны на эвристических и аксиоматических методах. Эта группа методов предполагает рассмотрение судна как системы и разбиение ее на ряд подсистем и элементов. Так, метод согласованной оптимизации подсистем судна был разработан В.М. Пашиным. Идея метода основана на идее метода «последовательных уступок». В качестве основного структурного представления системы в методе предусматривается разбиение системы на уровни: верхний и нижний уровни процесса разработки проекта судна. При этом нижний уровень системы разбивается на ряд подсистем. На первом, или верхнем, уровне определяются оптимальные элементы исходя из максимума эффективности судна и необходимости обеспечения его надлежащих качеств как плавучего инженерного сооружения. Предполагается, что в качестве глобального критерия выступают приведенные затраты, отнесенные к объему выполняемой судном работы, а каждый частный критерий строится как сумма приведенных затрат по каждой подсистеме [5].

Один из формальных методов оптимизации, основанный на принципе паритета, был разработан Захаровым И.Г. Принцип паритета (отношение эквивалентности) предполагает прежде всего приведение частных критериев с помощью величины  $\lambda$  к сравнимым шкалам измерения. Так, для математической модели судна с одним элементом верхнего уровня и конечным числом элементов нижнего уровня метод, основанный на принципе паритета, может быть выражен системой [1]:

$$\left. \begin{aligned} F(x) &= \sum_{i=1}^n \lambda_{i-1} f_i(x), \lambda_0 = 1; \\ F(x^*) &\leq F(x); \\ f_1(x^*) &= \lambda_1 f_2(x^*) = \dots = \lambda_{n-1} f_n(x^*). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Видим, что глобальный критерий здесь также выражен аддитивной сверткой частных критериев. Неравенство в системе (5) – условие решения задачи нелинейного программирования, где  $x^*$  – точка оптимума системы.

Можно отметить следующие общие черты формальных подходов к решению задачи многокритериальной оптимизации:

– принимаемые решения должны принадлежать области Парето – это является необходимым условием корректности многокритериальной задачи;

– судно рассматривается как система. Важно структурное представление системы. Поскольку игнорирование структуры ведет к устранению роли внутрисистемных связей, которые определяют взаимодействие между элементами системы.

– частные критерии должны быть приведены к сравнимому виду.

Однако следует указать еще на одну особенность, которая не учитывается при использовании многокритериальных методов при проектировании судов. Коэффициенты  $\alpha_i$  в формуле (4) можно рассматривать как коэффициенты приведения частных критериев к аддитивному виду, то есть к сравнимым единицам измерения. Такие коэффициенты вводятся Захаровым И.Г. в «принципе паритета», однако они только переводят частные критерии в соизмеримый масштаб, не учитывая характер зависимости каждого частного критерия от варьируемых параметров. Возможен случай, когда зависимость одного из частных критериев может резко изменять участки монотонности, как следствие этот критерий будет более чувствителен к изменению оптимальных решений, задача становится однокритериальной и теряется смысл постановки задачи как многокритериальной. Поэтому целесообразно введение коэффициентов, которые будут учитывать характер зависимости частных критериев от варьируемых параметров и которые позволят избежать перерождения задачи из многокритериальной в однокритериальную.

#### Список литературы:

- [1] Захаров И.Г. Теория компромиссных решений при проектировании корабля. – Л.: Судостроение, 1987. – 136 с.
- [2] Соловьев В.И. Методы оптимальных решений: Учебное пособие. М.: Финансовый университет, 2012. 364 с.
- [3] Карпенко А.П. Метод справедливого компромисса для решения задач многокритериальной оптимизации [Электронный ресурс]/А.П. Карпенко//База и Генератор Образовательных Ресурсов МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Режим доступа: <http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=MO/ch1104.mod/?cou=MO/base.cou>.
- [4] Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
- [5] Пашин В.М. Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983.

*Е.Г. Бурмистров, Т.А. Михеева*  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

### ОБОСНОВАНИЕ СТОИМОСТИ РАБОТ ПРИ РАЗДЕЛКЕ НА ЛОМ КОРПУСОВ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО И СМЕШАННОГО «РЕКА–МОРЕ» ПЛАВАНИЯ

В настоящее время средний возраст грузового флота в России – 32 года, пассажирского – 33 года, круизного – 41 год, более 75 процентов самоходных грузовых судов и буксиров имеют возраст свыше 25 лет. За последние пять лет выбытие грузового флота превышало ввод новых судов в 20 раз. Сложившаяся ситуация вынуждает владельцев судов и судоходных компаний всё чаще сталкиваться с вопросом осуществления утилизации морально и физически устаревших судов [1]. В связи с этим важно знать, каким образом и в какой последовательности необходимо проводить утилизацию судов.

Утилизация судна включает следующие основные этапы: