# Теория

## Алгоритм случайного поиска

### Общее описание

В качестве алгоритма оптимизации бокового силуэта корабля выбран алгоритм случайного поиска (АСП), который является эффективным средством для решения сложных экстремальных задач.

Для любого алгоритма оптимизации характерно движение системы как совокупности ряда переменных к оптимальному состоянию, которое определяется в функции эффективности. Для систем, где критерий эффективности зависит от множества оптимизируемых характеристик и их ограничений, нет однозначного характерного направления движения системы к оптимальному состоянию. Для нахождения оптимального экстремума функции критерия эффективности таких систем удобен АСП.

В алгоритме оптимизации система представляет собой вектор оптимизируемых переменных. Переменные для удобства работы с АСП делятся на два класса: непрерывные и дискретные :

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

Компонент – вектор постоянных, не оптимизирующийся алгоритмом, но влияющий функционально или параметрически на систему в целом.

Важным компонентом алгоритма является оценка системы, который называется критерием эффективности:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

Алгоритм преобразует случайным образом переменные и и сходится по вероятности к решению экстремальной задачи.

Производя каждый шаг оптимизации алгоритм присваивает значения оптимизируемым переменным и производит оценку оптимизированной системы по критерию эффективности. При последующем шаге действия повторяются, и производится сравнение критериев эффективности. Если в результате последующего шага получен лучший результат, то значения переменных переназначаются. Если получен результат хуже предыдущего, то значение переменных остаётся неизменным, и выполняется следующий шаг.

### Непрерывные переменные

К непрерывным переменным относятся характеристики системы, которые принадлежат непрерывному множеству точек в определённом диапазоне.

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |
|  | () |

где – i-й непрерывный компонент вектора оптимизируемых переменных;

, –границы диапазона допустимых значений.

Формула шага оптимизации:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

где – i-й компонент, соответствующий предыдущему удачному шагу оптимизации;

– случайная величина, принимающая любое значение на сегменте (- 1;1) с равной вероятностью;

– целое положительное нечётное число.

Благодаря указанному диапазону изменения величины и нечётности показателя второе слагаемое в выражении (5) может быть как положительным, так и отрицательным. При выполнении шага алгоритма возможно нарушение ограничения на диапазон изменения оптимизируемых переменных. Выбор i-го компонента продолжается до удовлетворения ограничению.

С ростом показателя уменьшается итерационный шаг оптимизации. Сочетаясь с учётом опыта предыдущих вычислений, увеличение M в процессе поиска позволяет ускорить сходимость алгоритма к .

По этой же причине показатель является также основанием для завершения процесса оптимизации. При каждом неудачном шаге оптимизации показатель M увеличивается, и может достигать таких значений, при которых значение второго слагаемого в выражении (5) будет равно меньшему значению, чем округление значений переменных:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

### Дискретные переменные

К дискретным переменным относятся характеристики системы, которые могут принимать ряд заранее известных значений . Для дискретных переменных применяется следующая формула шага оптимизации:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |
|  | () |
|  | () |

где – индекс элемента в перечне возможных значений дискретной переменной;

– индекс элемента в перечне возможных значений дискретной переменной, соответствующий лучшему предыдущему удачному шагу оптимизации;

– число значений, которые может принимать i-ая дискретная переменная.

## Участвующие переменные

### Вводные данные

Исходными данными внутри программы являются переменные, не участвующие в алгоритме оптимизации: не оптимизируемые в рамках данной программы технические характеристики корабля, а также ограничения и данные для проверки остойчивости общего проектирования корабля или судна.

#### Главные размерения и свойства корабля

* L – длина, м;
* B – ширина, м;
* T – осадка, м;
* H – высота борта, м;
* D – водоизмещение корабля, т;
* δ – коэффициент общей полноты;
* – коэффициент развитости надстроек;
* GM – поперечная метацентрическая высота (МЦВ), м.

#### Постоянные величины

* pW = 1200 Па – давление ветра;
* θ = 15 градусов – максимально допустимый угол крена от действия ветра.

#### Описание огибающей силуэта

* t’ – заданное значение максимальной аппликаты огибающей силуэта, м;
* q’ – относительная абсцисса максимума огибающей силуэта (доли длины);
* p’ – относительная аппликата огибающей силуэта на кормовом перпендикуляре (доля t’).

### Параметры блоков надстройки

Архитектура надстройки компонуется из отдельных друг от друга блоков, обладающих следующими характеристиками:

* – коэффициент пропорциональности длины i-го блока надстройки. Определяет относительную длину блока по сравнению с длиной L;
* – коэффициент пропорциональности высоты i-го блока надстройки. Определяет относительную высоту блока по сравнению с высотой надводного борта ;
* – угол наклона носовой стенки блока;
* – угол наклона кормовой стенки блока;
* – ордината размещения блока относительно единой системы координат корабля;
* – аппликата размещения блока относительно единой системы координат корабля.

Блоки надстройки задаются в произвольном количестве оператором, с отметкой о соответствующих функциональных характеристиках. В алгоритме эти характеристики описываются логическими переменными (истина/ложь):

* обитаемость;
* размещение фазированной антенной решётки (ФАР);
* фок-мачта;
* грот-мачта;
* дымовая труба;
* размещение рулевой рубки.

Также, для соблюдения условий порядка и непересечения, задаются свойства последовательного позиционирования объекта:

* – родительский блок по высоте;
* – родительский блок по длине;
* – расстояние до родительского блока по длине;
* –дочерний блок по высоте;
* –дочерний блок по длине.

При последовательном создании объектов, в соответствующих маркерах отмечается опирание на уже созданные объекты: по высоте снизу вверх, по длине с кормы в нос. Для исключения двойной привязки вводится маркер привязанного объекта, заполняемый автоматически при привязке дочернего объекта S (*slave*) в блоке родительского объекта H (*host*). Маркер хранит в себе ссылку на ранее созданный оператором объект. Объектная привязка к блоку по высоте выполняется в обязательном порядке для всех объектов, кроме первого, так как он является главным родительским объектом. Объектная привязка блоков по длине выполняется для всех блоков, размещённых на одном и том же блоке.

Объектная привязка по длине может быть реализована без фактического совпадения носовой точки родительского объекта и кормовой точки дочернего объекта. В случае разведения родительского и дочернего объектов вводится расстояние между объектами .

### Определяемые переменные

#### Надводный борт

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

#### Пропорции золотого сечения

Размеры блоков надстройки выбирается пропорционально размерам надводной части корпуса в соответствии с принципами «золотого сечения». Ограничением ряда пропорций является допустимая погрешность Формула пропорций для определения длины блока:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

Формула пропорций для определения высоты блока:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

#### Параметры кубического полинома

Аппликата максимума, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

Абсцисса максимума, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

Аппликата огибающей силуэта на кормовом перпендикуляре:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

#### Технические характеристики блока надстройки

Аппликата размещения блока надстройки:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (16) |

Длина нижнего основания i-го блока надстройки, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (17) |

Длина верхнего основания i-го блока надстройки, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (18) |

Высота i-го блока надстройки, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

Площадь проекции i-го блока надстройки на диаметральную плоскость, м2:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

Статический момент по оси абсцисс нижнего основания i-го блока надстройки относительно , м2:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (21) |

Статический момент по оси абсцисс верхнего основания i-го блока надстройки относительно , м2:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (22) |

Абсцисса геометрического центра тяжести i-го блока надстройки, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (23) |

Аппликата геометрического центра тяжести i-го блока надстройки, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

Верхняя кормовая точка блока, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

Верхняя носовая точка блока, м:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

Функция огибающей силуэта:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (27) |

Коэффициенты в функции полинома (27):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (28) |
|  | (29) |
|  | (30) |
|  | (31) |

Максимально допустимая длина мёртвой зоны:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (32) |

Функция верхней границы зоны видимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (33) |

Коэффициенты функции зоны видимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (34) |
|  | (35) |

## Функциональные ограничения

### Условия порядка и непересечения

#### Объектная привязка к блоку по высоте

При привязке дочернего блока сверху к родительскому блоку, аппликата размещения дочернего блока не оптимизируется и приравнивается к верхней точке родительского блока:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (36) |

Вводятся следующие ограничения для характеристик ведомого объекта:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (37) |
|  | (38) |

#### Объектная привязка к блоку по длине

При привязке дочернего блока сверху к родительскому блоку, абсцисса размещения дочернего блока не оптимизируется и приравнивается к носовой точке родительского блока, а также устанавливается связь углов наклона стенок надстройки:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (39) |
|  | (40) |

### Ограничения по функциональным требованиям к кораблю

#### Возможность построения блока

Соотношение между углами при основании и высотой, описывающими архитектурный элемент, должно быть таким, чтобы он не превращался в «невозможную» фигуру:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (41) |

#### Объём надстройки

Объём надстроек должен быть не меньше задаваемого коэффициентом их развитости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

Для двухмерной задачи функция имеет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

Данное ограничение касаются блоков надстройки, в свойства которых добавлена обитаемость.

#### Статический угол крена при порыве ветра

Кренящий момент при ветровом давлении не должен вызывать статический угол крена больший, чем 15 градусов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

#### Свободные от надстройки участки ВП

В носу и в корме должны быть свободные от надстроек участки верхней палубы заданной протяжённости для размещения вооружения и оборудования.

Данные ограничения касаются блоков надстройки, являющихся крайне носовым и крайне кормовым блоками надстройки, размещёнными непосредственно на верхней палубе (ВП), то есть на основном блоке надстройки (Корпус). Носовой блок должен удовлетворять условию:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (45) |

Кормовой блок должен удовлетворять условию:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (46) |

#### Высоты дымовой трубы и мачт

Высота дымовой трубы ограничена диапазоном значений:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (47) |

Высота фок-мачты ограничена диапазоном значений:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (48) |

Высота грот-мачты ограничена диапазоном значений:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (49) |

#### Видимость с ходового мостика

«Мёртвая зона» видимости не должна превышать допустимой в соответствии с требованиями Конвенции СОЛАС-74 [1, Ч.V, Правило 22, п. 1]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (50) |

Данное условие выполняется, если блоки надстройки, расположенные впереди от ходового мостика, не попадают в минимально допустимый сектор обзора. То есть, крайнее носовое возвышение этих блоков надстройки не должно превышать максимально допустимую, которая находится по определяемой функции по формуле (33):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (51) |

#### Размещение фазированной антенной решётки (ФАР)

Для размещения ФАР на i-ом блоке надстройки, площадь блока надстройки, на котором размещается ФАР, должна быть больше или равна 20 м2.

Кроме того, для размещения ФАР необходимо выдерживать требование по высоте i-го блока надстройки

|  |  |
| --- | --- |
|  | (52) |
|  | (53) |

#### Задымление надстроек

Блок (блоки) надстройки, расположенные за дымовой трубой, не должен задымляться, то есть их высота должна быть ниже высоты дымовой трубы (F):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (54) |

### Ограничения технической эстетики

#### Относительная абсцисса центра визуальной массы

Относительная абсцисса центра визуальной массы, отождествляемая с относительной абсциссой центра тяжести проекции надводной части корабля на диаметральную плоскость, должна находиться в определённых пределах:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (55) |

## Критерий эффективности

Критерием задачи формирования силуэта будет функция цели типа:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (56) |

Функция представляет собой кубический полином вида

Коэффициенты в выражении определяются из следующих условий:

* ордината огибающей силуэта корабля на носовом перпендикуляре равна высоте надводного борта;
* максимальная ордината огибающей силуэта равна заданной величине;
* максимальная ордината огибающей силуэта достигается в заданной абсциссе;
* ордината огибающей силуэта корабля на кормовом перпендикуляре равна заданной доле максимальной ординаты.

# Некоторые пояснения к алгоритму

## Ввод данных

### Ввод исходных данных

#### Ввод оператором

* L (длина)
* B (ширина)
* T (осадка)
* H (высота борта)
* Delta (коэффициент общей полноты)
* K\_DS (коэффициент развитости надстроек)
* GM (МЦВ)
* t’
* q’
* p’

#### Переменные, значение которых заведено, но может быть изменено оператором

Pw = 1200 (давление ветра)

θ = 15 (максимальный угол крена от действия ветра)

#### Определение постоянных величин

FB, GS\_L, GS\_H, t, q, p по формулам (10)…(15)

a0, a1, a2, a3, L\_v по формулам (28)…(32)

### Применяемые классы

#### Класс блоков

Оптимизируемые переменные класса:

* X (абсцисса базисной точки блока)
* Z (аппликата базисной точки блока)
* A\_F (угол наклона носовой стенки)
* A\_A (угол наклона кормовой стенки)
* K\_L (коэффициент длины)
* K\_H (коэффициент высоты)
* LMH\_l (расстояние до блока привязки)

Логические свойства класса блока:

* habitability (обитаемость);
* phased array placement (PAP) (размещение ФАР);
* foremast (фок-мачта);
* mainmast (грот мачта);
* funnel (дымовая труба);
* wheelhouse (рулевая рубка);

Пространственное позиционирование:

* HBH (привязка к блоку по высоте)
* HBL (привязка к блоку по длине);
* SBH (привязка блока сверху);
* SBL (привязка блока с носа).

В переменные класса также устанавливаются следующие определяемые параметры по формулам (17)…(24):

* a (нижнее основание);
* h (высота блока);
* b (верхнее основание);
* S (площадь);
* Ma (момент нижнего основания);
* Mb (момент верхнего основания);
* x\_g (абсцисса центра тяжести);
* z\_g (аппликата центра тяжести).

#### Класс оптимизируемой непрерывной переменной (Optimization continuous class (OCC))

Переменные класса:

* AV – принятое значение;
* V\_max – максимальное значение;
* V\_min – минимальное значение;
* IV – переменное значение;

#### Класс оптимизируемой дискретной переменной (Optimization descrete class (ODC))

Переменные класса:

* AV – принятое значение;
* Var(vi) – вектор возможных значений;
* IV – переменное значение;

### Общие пояснения

В первую очередь, оператором вводятся и определяются параметры основного корпуса корабля, которому присваиваются свойства класса блоков. Его позиционирование является независимым. Ввод этого блока является обязательным.

Оператору предлагается ввести первый блок.

Начинается цикл ввода блоков надстройки. Каждому блоку надстройки присваиваются свойства класса блоков.

В первую очередь определяется позиционирование в соответствии с п. 2.3.1 по формулам (36)…(40).

Далее определяется каждая из оптимизируемых переменных блока одним из трёх вариантов: постоянная, оптимизируемая непрерывная и оптимизируемая дискретная. Если переменная определена как постоянная, её значение вводится оператором. Если переменная определена как оптимизируемая непрерывная, то ей присваиваются свойства класса непрерывной переменной. Если переменная определена как оптимизируемая дискретная, то ей присваиваются свойства класса дискретной переменной. С этого момента и до конца процесса оптимизации участвующее во всех формулах значение переменной является IV (переменное значение), а в конце алгоритма оптимизации при выводе результата используется значение AV (принятое значение).

После определения оптимизируемых переменных, вводятся логические свойства блока.

Далее оператору предлагается ввести другой блок.

Если оператор заканчивает ввод блоков, происходит проверка на необходимость оптимизации: есть ли характеристики, определённые как OCC или ODC. Если нет, то выводится сообщение об ошибке, так как алгоритму оптимизации нечего оптимизировать.

## Оптимизация

### Шаг оптимизации

Для каждой переменной, определённой как оптимизируемая непрерывная или оптимизируемая дискретная, производится переназначение значения IV в соответствии с формулами (5) и (9) соответственно.

Начинается цикл, в котором пересчитываются все определяемые значения.

### Проверка функциональных ограничений

Последовательно производится проверка всех функциональных ограничений в соответствии с п. 2.3, а именно по формулам: (41), (43), (44)…(49)(50) и (51)…(55). Если какая-то из проверок не пройдена, то начинается новый шаг оптимизации.

Если все проверки пройдены, то рассчитывается критерий эффективности системы SD и сравнивается с лучшим значением SDB. Если новое значение лучше (меньше), то значение SDB обновляется на SD и алгоритм начинается заново.

Алгоритм продолжается до тех пор, пока значение показателя M не достигает значения 10 000.

## Вывод результата

Выводятся последовательно все определяемые значения по п. 2.2, все значения всех блоков, а также последнее значение лучшего критерия эффективности.