

# ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

**Т.И. Булдакова**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5/1

E-mail: buldakova@bmstu.ru

**Ключевые слова:** технические требования, область работоспособности, допусковая область, аппроксимация.

**Аннотация:** В докладе обсуждена важная проблема оценки работоспособности проектируемых объектов на основе требований технического задания. Рассмотрены особенности областей работоспособности, отражающих степень выполнения технических требований. Обсуждены существующие подходы и отмечена их вычислительная сложность. Проанализирована оценка работоспособности путем построения допусковой области. Предложены перспективы применения предложенного метода к оценке работоспособности объектов.

## 1. Введение

Качество функционирования любого объекта характеризуется множеством выходных параметров  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ , где  $m$  – количество выходных параметров. Поэтому в техническом задании ТЗ задаются конкретные требования к основным выходным параметрам (технические требования).

Требуемые соотношения между выходными параметрами и техническими требованиями (ТТ) называют условиями работоспособности, которые предварительно приводят к виду:  $y_j \leq TT_j, j = 1, \dots, m$ .

Условия работоспособности имеют определяющее значение при проектировании объекта, так как задачей проектирования становится выбор проектного решения, в котором наилучшим образом выполняются все условия работоспособности, в том числе во всем заданном диапазоне изменения внешних параметров (параметров внешней среды) [1-4].

Степень выполнения условий работоспособности оценивают с помощью оценок, которые носят название запасов работоспособности:  $z_j = a_j \left( \frac{TT_j - y_{j\text{ном}}}{\delta_j} - 1 \right)$ . Здесь  $a_j$  – весовой коэффициент;  $y_{j\text{ном}}$  – номинальное значение  $j$ -го выходного параметра;  $\delta_j$  – некоторая априорно задаваемая величина, характеризующая разброс  $j$ -го выходного параметра.

Тогда областью работоспособности является допустимая область изменения внутренних (управляемых) параметров, при нахождении в которой выходные параметры будут иметь значения, не выходящие за пределы наложенных на них ограничений, носящих название условий работоспособности [5, 6].

## 2. Существующие подходы к оценке области работоспособности

Для получения информации в виде множества граничных точек области работоспособности обычно применяют два подхода.

Первый из них предполагает дискретный поиск координат граничных точек области работоспособности, например, с использованием сеточных методов, основанных на обходе области работоспособности по ее контуру. Второй подход основан на непрерывном способе поиска граничных точек с использованием метода  $2^n$ -звезды или метода секущих.

В обоих случаях возможны два варианта – когда отсутствует математическая зависимость, связывающая выходные параметры  $Y$  проектируемого объекта с управляемыми параметрами  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , в пространстве которых строится область работоспособности, и когда такая зависимость имеется [7].

Однако, оба существующих подхода характеризуются значительными вычислительными трудностями, связанными с расчетами вероятностных характеристик, и предполагают непрерывную процедуру поиска вдоль границ области работоспособности.

### 3. Оценка работоспособности путем построения допусковой области

Альтернативным подходом является оценка области работоспособности при оптимизации допусков на управляемые параметры [8].

Пусть область работоспособности в пространстве управляемых параметров непустая и ограниченная. Границы области работоспособности  $XP$  задаются уравнениями  $y_j(X) = TT_j$ ,  $j = 1, \dots, m$ . На рис. 1 приведен пример области работоспособности в двумерном пространстве управляемых параметров для случая трех выходных параметров.

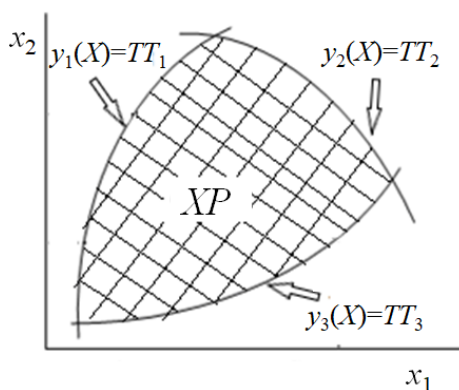


Рис. 1. Область работоспособности в пространстве управляемых параметров.

Для практического использования сведения об области работоспособности должны быть представлены в удобной форме, при которой проверка работоспособности объекта в любой точке пространства управляемых параметров является простой и наглядной. Поэтому целесообразно применить аппроксимацию области работоспособности, например, в виде многогранника, вписанного в область  $XP$  (рис. 2). Таким образом, приходим к задаче оптимизации допусков.

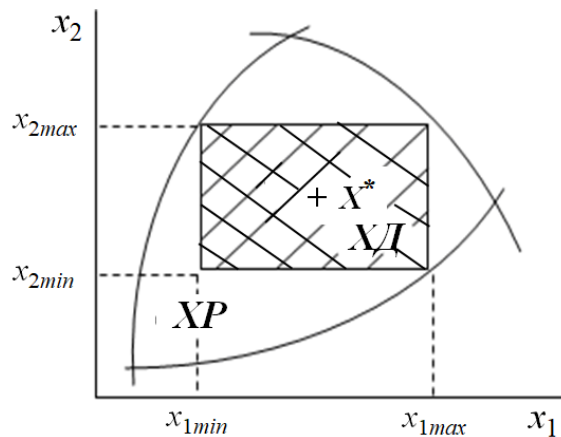


Рис. 2. Область работоспособности и вписанная в нее допусковая область.

Оптимизация допусков заключается в построении многогранника  $XD$  в  $n$ -мерном пространстве управляемых параметров на основе следующих положений:

- многогранник вписан в область работоспособности, то есть  $XD \subseteq XP$ ;
- многогранник ориентирован таким образом, что все его ребра параллельны координатным осям;
- многогранник должен быть оптимальным в смысле критерия либо максимизации длины наименьшего из его ребер, либо максимизации его объема.

Длины ребер построенного многогранника представляют собой допуски, а координаты вершин равны предельно допустимым значениям  $x_{imax}$  и  $x_{imin}$  управляемых параметров  $x_i$ :  $XD = \{X \in XP \mid x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax}, i \in [1:n]\}$ .

Центральная точка многогранника  $X^*$  оказывается точкой, максимально удаленной от границ области работоспособности. Поэтому задачу оптимизации допусков, в которой определяется центральная точка  $X^*$ , называют также задачей центрирования. Эту задачу обычно решают путем предварительного нормирования управляемых параметров  $x_i$  с последующим вписыванием допусковой области, имеющей форму гиперкуба с максимально возможными размерами, в нормированную область работоспособности.

Построение допусковой области в виде многогранника дает сведения о допустимых диапазонах изменения управляемых переменных, что удобно использовать на практике. Нарушение допустимого диапазона по какой-либо координате пространства управляемых параметров является условием нарушения работоспособности объекта.

Отметим еще одно применение рассмотренного подхода. В процессе многоуровневого нисходящего проектирования сложных объектов допусковая область  $i$ -го уровня становится областью работоспособности на более низком  $(i+1)$ -ом иерархическом уровне. В свою очередь, это приводит к задаче оптимального преобразования технических требований на выходные параметры в технические требования на элементы.

## 4. Заключение

Рассмотренный подход к оценке работоспособности проектируемых объектов путем построения допусковой области можно распространить на компьютерное моделирование и оценивать адекватность математических моделей путем построения их областей адекватности [9]. Этот подход будет полезен для оценки

работоспособностей моделей цифровых двойников или при разработке математического обеспечения систем автоматизированного проектирования.

Другим применением рассмотренного подхода является его распространение на существующие (а не проектируемые) сложные системы. В этом случае важной является задача оценки функционального состояния системы (то есть ее работоспособности). Эту задачу также можно решать аналогично построению допусковой области [10, 11].

## Список литературы

1. Норенков И.П. Автоматизированные информационные системы. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 342 с.
2. Балакирев В.С., Большаков А.А. Надежность и диагностика автоматизированных систем. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2018. 144 с.
3. Buldakova T. Approaches to the Development of Complex Systems Models // 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). Samara, Russia, 2019. P. 374-378, doi: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976542.
4. Булдакова Т.И. Подходы к разработке моделей сложных систем // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XXI Международной конференции / Под редакцией С.А. Никитова, Д.Е. Быкова, С.Ю. Боровика, Ю.Э. Плешивцевой. 2019. С. 216-220.
5. Булдакова Т.И., Суятинов С.И. Идентификация и исследование сложных систем. Саратов: Издательство СГТУ, 2009. 108 с.
6. Булдакова Т.И., Суятинов С.И. Разработка адекватных моделей в технологии цифровых двойников // Автоматизация. Современные технологии. 2019. № 8. С. 367-373.
7. Саушев А.В., Широков Н.В., Давыдов В.С., Шерстнев Д.А. Определение области работоспособности на основе алгоритма непрерывного поиска ее граничных точек // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 9 (63). doi: 10.23670/IRJ.2017.63.087.
8. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. М.: Высшая школа, 1986. 304 с.
9. Булдакова Т.И. Геометрическая интерпретация областей адекватности математических моделей объектов // Математические методы в технологиях и технике. 2022. № 3. С. 105-108.
10. Булдакова Т.И., Соколова А.В., Халайджи А.К. Мониторинг состояния человека-оператора киберфизической системы // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. 2020. № 10. С. 20-27.
11. Suyatinov S.I. Criteria and method for assessing the functional state of a human operator in a complex organizational and technical system // 2018 Global Smart Industry Conference (GloSIC). Chelyabinsk, Russia, 13-15 Nov. 2018. P. 1-6. doi: 10.1109/GloSIC.2018.8570088.