Рисунок 3. Оптимальная схема уменьшения диапазонов неопределенности проектных параметров

При разбиении модели проектирования на этапы по критерию достоверности необходимо учитывать, что при переходе с уровня на уровень результаты могут быть получены с определенной точностью по отношению к уровню точности предшествующего уровня проекта.

Если принять во внимание коническую схему построения модели проектирования, то установленный критерий достоверности позволяет нормировать число сечений условного конуса для достижения требуемой точности характеристик готового изделия [6, с.84].

Такая схема построения позволяет рассматривать проектирование, как дискретный процесс уменьшения доверительных диапазонов проектных параметров Pr_i , совокупность которых задает на каждом уровне проекта некоторую область неопределенности, которая, в свою очередь, является исходной для следующего этапа проектирования.

1. Синицын С.А. Концепция моделирования обтекаемых обводов высокоскоростного наземного транспорта // Наука и техника транспорта. – 2011. - №3. - с.52-55.
2. Панченко В.А. Моделирование солнечных теплофотозлектрических модулей // Электротехнологии и электрооборудование в АПК, 2019, 2 (35), с. 71 – 77.
3. Панченко В.А., Дубровин В.С. Механика, теоретическая механика, техническая механика, РУТ, Москва, 2018, 192с.
4. Панченко В.А., Синицын С.А., Дубровин В.С. Выполнение сборочных моделей и рабочей конструкторской документации средствами САПР Компас-3D. РУТ, Москва, 2018, 164с.
5. Погорелов И.А., Гурский Ф.А., Панченко В.А. Разработка трекера для солнечных модулей. Инновации в сельском хозяйстве. 2018, №2(27), с.226-231.
6. Гусарова О.Ф., Панченко В.А., Синицын С.А. Инженерная компьютерная графика. РПУТ, Москва, 2020, 149с.

Синицын С.А.

Проектирование как процесс уменьшения величин доверительных диапазонов проектных параметров

*Российский университет транспорта (РУТ(МИИТ))
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/trnio-11-2021-45

Аннотация

В статье рассмотрены основные принципы реализации иерархического процесса проектирования сложных технических объектов по доверительным диапазонам проектных параметров. Диапазонная схема позволяет учитывать все возможные значения проектных параметров, которые с заданной вероятностью содержатся внутри доверительного диапазона. Форма закона распределения параметров может существенно влиять на размеры доверительных диапазонов, максимальные величины которых соответствуют

равновероятному распределению. Под достоверным понимается решение, которое содержится в границах доверительного диапазона. Величины доверительных диапазонов соседних уровней проектирования должны перекрываться по принципу взаимного вложения.

Ключевые слова: техническое проектирование, проектные параметры, доверительные диапазоны, многоэтапное проектирование, достоверная модель, математическая модель, векторная оптимизация.

Abstract

The article discusses the basic principles of the implementation of the hierarchical process of designing complex technical objects for the confidence ranges of design parameters. The range scheme allows you to take into account all possible values of design parameters that are contained within the confidence range with a given probability. The shape of the distribution law of parameters can significantly affect the size of the confidence ranges, the maximum values of which correspond to an equiprobable distribution. A reliable solution is understood to be within the confidence range. The values of the confidence ranges of adjacent design levels should overlap on the principle of mutual nesting.

Keywords: technical design, design parameters, confidence ranges, multi-stage design, valid model, mathematical model, vector optimization.

В задачах технического проектирования можно реализовать две схемы, каждая из которых правильно отражает суть процесса создания новой техники и может быть применена на практике.

Одна из них широко известна и применяется в задачах оптимального проектирования [1, с.7]. По этой схеме процесс проектирования реализуется последовательным уточнением характеристических параметров $\{Pr_i\}$. В начале процесса задается множество основных проектных параметров, которые принято называть управляющими $\{Z_i\}$. В конце – определяется множество оптимальных параметров $\{Pr_i^*\}$. Причем количество оптимальных параметров значительно превышает число управляющих проектных параметров, определяемых техническим заданием. Весь процесс можно представить обобщенным векторным уравнением:

$$\overline{Pr}^* = f(\overline{Z}). \quad (1)$$

Важной особенностью параметрической схемы является монотонное увеличение количества характеристик при переходе от этапа к этапу проектирования [2, с.48].

Вторая схема разработана для реализации проектирования как процесса последовательного уточнения доверительных диапазонов проектных параметров, число которых известно заранее на каждом этапе.

В диапазонной схеме каждое решение задачи проектирования характеризуется множеством параметров:

$$\overline{Pr}^*(Pr_1^*, Pr_2^*, \dots, Pr_n^*). \quad (2)$$

Так же известно, что каждый проектный параметр должен быть определен в конце этапа с заданной точностью:

$$\delta \overline{Pr}^*(\delta Pr_1^*, \delta Pr_2^*, \dots, \delta Pr_n^*), \quad (3)$$

причем числовые значения оптимальных проектных параметров должны принадлежать области достоверных решений:

$$\overline{Pr}^* \in \Delta \overline{Pr}^*. \quad (4)$$

Под достоверными здесь понимаются решения которые включены в границы доверительных диапазонов каждого проектного параметра данного уровня проектирования [3, с.37]. Достоверное решение удастся гарантированно получить, если некоторый совокупный доверительный диапазон точности модели перекрывает по величине диапазон достоверности модели следующего этапа проектирования.

По последней схеме процесс проектирования предлагается реализовывать в фиксированном n -мерном параметрическом пространстве:

$$\overline{Pr}(\overline{Pr}_1, \overline{Pr}_2, \dots, \overline{Pr}_n). \quad (5)$$

с постоянным числом компонентов вектора $\overline{Pr}$.

Тогда еще до начала проектирования на некотором этапе, в пространстве вектора $\overline{Pr}$ можно выделить первоначальную область [4,с.54], которая определена по каждой компоненте вектора $\overline{Pr}$ доверительными диапазонами или интервалами неопределенности проектных параметров:

$$\Delta\overline{Pr}^{(0)}(\Delta\overline{Pr}_1^{(0)}, \Delta\overline{Pr}_2^{(0)}, \dots, \Delta\overline{Pr}_n^{(0)}). \quad (6)$$

Процесс проектирования развивается в пространстве вектора $\overline{Pr}$ путем последовательного уменьшения доверительных диапазонов проектных параметров $\Delta\overline{Pr}_i^{(j)}$.

Таким образом, множество проектных параметров $\{Pr_i^*\}$ должно принадлежать области $\Delta\overline{Pr}^{(0)}$, что является необходимым условием достоверности процесса проектирования:

$$\overline{Pr}^* \in \Delta\overline{Pr}^{(0)}, \quad (7)$$

А также на каждом последующем этапе проектирования должны быть определены параметры, удовлетворяющие условию [5,с.124]:

$$\overline{Pr}_j \in \Delta\overline{Pr}^{(j)}. \quad (8)$$

То есть параметры j -го состояния должны быть определены в границах доверительного диапазона данного этапа проектирования. Тогда параметры, вычисленные с заданной точностью $\delta\overline{Pr}_i^*$, будут считаться достоверными [6,с.228].

В связи с этим каждый этап проектирования можно моделировать обобщенными математическими соотношениями с соответствующими ограничениями:

$$\begin{aligned} \overline{Pr}^{(1)} &= \text{Mod}^{(1)}(\overline{Pr}^{(1)}, \overline{Pr}^{(0)}, \bar{Z}, \bar{\zeta}), \\ \overline{Pr}_i^{(1)} &\in \Delta\overline{Pr}_i^{(1)} \\ \overline{Pr}^{(2)} &= \text{Mod}^{(2)}(\overline{Pr}^{(2)}, \overline{Pr}^{(1)}, \bar{Z}, \bar{\zeta}), \\ \overline{Pr}_i^{(2)} &\in \Delta\overline{Pr}_i^{(2)} \\ &\dots\dots\dots \\ \overline{Pr}^{(m)} &= \text{Mod}^{(m)}(\overline{Pr}^{(m)}, \overline{Pr}^{(m-1)}, \bar{Z}, \bar{\zeta}), \\ \overline{Pr}_i^{(m)} &\in \Delta\overline{Pr}_i^{(m)} \end{aligned} \quad (9)$$

где $\text{Mod}^{(j)}$ - ситуационная модель j -го состояния;

$\Delta\overline{Pr}_i^{(j)}$ - область ограничений параметров принятия решений j -го состояния.

В проектировании по доверительным диапазонам точечные значения проектных параметров всегда определены в доверительных диапазонах, величины которых уменьшаются при переходе от этапа к этапу (рис.1). Такой подход позволяет сохранить с некоторой вероятностью множество достоверных решений, вполне пригодных для последующих стадий разработки изделия.

Рисунок 1. Точечные реализации параметров внутри диапазонов

Таким образом, процесс проектирования следует рассматривать, как непрерывное преобразование доверительных диапазонов множества проектных параметров $\overline{Pr}$, направленное в сторону их уменьшения вплоть до величин заданной точности завершённого проекта.

Каждый доверительный диапазон содержит множество точечных значений проектного параметра. Кроме того математическая модель этапа проектирования включает множество проектных параметров, не все диапазоны которых могут быть уменьшены при переходе к следующему этапу. Здесь возникает вопрос о свойствах такой модели, ее пригодности для проектирования на данном этапе. Могут ли один или несколько диапазонов достоверности, величины которых не изменились, давать суждение о непригодности модели для проектирования. Рассмотрение процесса проектирования в плане преобразований диапазонов связано со значительными трудностями работы на множествах. Здесь необходимы эквивалентные меры и характеристики, которые однозначно характеризовали бы модели в плане их адекватности процессу проектирования и позволяли бы выполнять проектирование в соответствии с техническим заданием и критериями оптимальности.

Степень адекватности математической модели процессу проектирования отражает уровень соответствия модели объекту разработки на данном этапе его конкретизации. Точное решение такой задачи возможно при наличии физического образца изделия, но такой подход экономически не целесообразен, поскольку во много раз удорожает процесс разработки изделия. Модель этапа проектирования имеет блочную структуру, компоненты которой могут обладать различной физической природой и сравнивать их между собой можно на основе безразмерных критериев, например энергии или информации.

Информационный критерий сравнения наиболее универсален, поскольку не зависит от физической природы модуля математической модели и формируется на основе энтропии, как меры неопределенности любых независимых величин, в нашем случае, проектных параметров.

1. Сеницын С.А., Гусарова О.Ф. Информационные характеристики доверительных диапазонов параметров ситуационных моделей// Оригинальные исследования.т.9. 2019. №4. С.4-12.
2. Панченко В.А., Дубровин В.С. Механика, теоретическая механика, техническая механика, РУТ, Москва, 2018, 192с.
3. Панченко В.А., Сеницын С.А., Дубровин В.С. Выполнение сборочных моделей и рабочей конструкторской документации средствами САПР Компас-3D. РУТ, Москва, 2018, 164с.
4. Гусарова О.Ф., Панченко В.А., Сеницын С.А. Инженерная компьютерная графика. РРУТ, Москва, 2020, 149с.
5. Левчук Т.В., Дубровин В.С., Панченко В.А. Механика, теоретическая механика и прикладная механика. РУТ, Москва, 2021, 190с.
6. Погорелов И.А., Гурский Ф.А., Панченко В.А. Разработка трекера для солнечных модулей. Инновации в сельском хозяйстве. 2018, №2(27), с.226-231.