

## РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ

Г.С. Вересников, Л.А. Панкова, В.А. Пронина (ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН)

*Рассматриваются оптимизационные задачи параметрического синтеза при проектировании технических объектов в условиях неопределенности параметров с использованием мягких вычислений, относящихся к методам вычислительного интеллекта – одного из ответвлений искусственного интеллекта. В рамках теории неопределенности [1] предложен способ моделирования оптимизируемых параметров с эпистемической неопределенностью – неопределенных параметров. Разработан метод моделирования функций, зависящих от неопределенных и случайных параметров. Разработаны и исследованы оптимизационные модели, в которых целевые функции и ограничения зависят от неопределенных и случайных параметров. На основе полученных теоретических результатов разработан прототип инструментальной программной среды для решения оптимизационных задач параметрического синтеза при проектировании технических объектов в условиях неопределенности параметров.*

*Ключевые слова: теория неопределенности, смешанная неопределенность, инструментальное программное средство, параметрический синтез, проектирование, генетический алгоритм.*

### Введение

Параметрический синтез является одной из наиболее актуальных задач при проектировании технических объектов (ТО). Под параметрическим синтезом понимается процесс определения (синтеза) параметров при заданной структуре проектируемого ТО. Наиболее ответственные решения, особенно на предварительных этапах проектирования ТО, приходится принимать в условиях недостатка исходной информации. Задача осложняется тем, что технические требования к проектируемому ТО часто имеют сложную структуру, трудно формализуемые взаимосвязи, противоречивы.

Для преодоления отмеченных трудностей во многих прикладных областях выработаны методологические подходы к проектированию ТО. Традиционно выделяются взаимосвязанные локальные задачи, в рамках которых с использованием сложившихся на практике методик, математических моделей определяются соответствующие параметры ТО при фиксированных остальных параметрах. Необходимость учета большого объема исходной информации, взаимосвязей между несколькими локальными задачами проектирования ТО, противоречивых технических требований (ТТ) является причиной того, что проектирование ТО представляет собой длительный итерационный процесс, предполагающий решение многокритериальных оптимизационных задач.

В статье проблема параметрического синтеза рассматривается в рамках класса задач непрерывной оптимизации при допущении независимости параметров. В этих задачах формализованы ТТ к ТО — заданы целевые функции и ограничения, которым должны удовлетворять решения.

На начальном этапе проектирования ТО полный набор исходных данных, как правило, не может быть точно определен вследствие того, что значения ряда параметров становятся известны на завершающих этапах проектирования ТО, когда основные проектные решения уже приняты, известен конкретный

состав и тип оборудования, определена технология производства, проведены испытания. Данные о проектируемом ТО нередко являются результатом обработки экспертной или статистической информации, и в этом случае параметры ТО представлены недетерминированными величинами, точные значения которых неизвестны в момент принятия решений.

В связи с этим актуальным направлением исследований является разработка моделей и алгоритмов для синтеза параметров ТО в условиях параметрической неопределенности. Решение задач параметрического синтеза не всегда происходит в условиях только алеторной неопределенности, связанной со случайным характером исследуемых процессов. При недостатке статистических данных имеет место эпистемическая неопределенность, когда информацию о параметрах ТО получают от экспертов. В этом случае для разработки теоретической и алгоритмической основы создания программных средств проектирования ТО целесообразным является использование теорий (рассматривающих моделирование эпистемической неопределенности), в которых предлагаются методы, относящиеся к мягким вычислениям (одно из направлений искусственного интеллекта).

Проблемами параметрической эпистемической неопределенности занимались Zade L., Zimmerman H.-J., Wagenknecht M., Шокин Ю.И., Язенин А.В., Ярушкина Н.Г., Liu B. и др. Исследования, посвященные этим проблемам, обычно носят общетеоретический характер или не рассматривают задачи параметрического синтеза при проектировании ТО. В результате проведенных авторами исследований для моделирования параметров с эпистемической неопределенностью выбрана теория неопределенности Б. Лю [1], в которой в достаточно широком классе функций предоставляется эффективный инструмент для решения оптимизационных задач с входными параметрами с эпистемической неопределенностью. В дальнейшем величину с эпистемической неопределенностью будем называть неопределенной величиной, которая согласно теории неопределенно-

сти задается функцией распределения неопределенности. В теории неопределенности получены аналитические выражения для числовых характеристик целевых функций и ограничений, зависящих от неопределенных входных параметров, интерпретируемых лицом, принимающим решение (ЛПР), в наиболее естественной и привычной для него форме: ожидаемое значение, дисперсия, критические значения (квантили). Аналитические выражения (функции от оптимизируемых параметров) для числовых характеристик целевых функций используются в качестве критериев оптимизации, что существенно сокращает время вычислений по сравнению с применением имитационного моделирования при отсутствии аналитических выражений.

Теория неопределенности не обеспечивает в полной мере решение оптимизационных задач параметрического синтеза при проектировании ТО в условиях неопределенности параметров. В теории неопределенности рассмотрены оптимизационные модели для случая, когда только входные параметры являются неопределенными. Необходима разработка оптимизационных моделей и алгоритмов, в которых учитываются:

- наличие неопределенных оптимизируемых параметров ТО;
- наличие как неопределенных, так и случайных параметров ТО;
- требования ЛПР к решениям по синтезу параметров ТО (к надежности, робастности решений и т. д.).

Необходимость обеспечить ЛПР средствами для синтеза параметров ТО в условиях неточности части исходных данных определяет актуальность разработки теоретической и алгоритмической основы для создания инструментальных программных средств параметрического синтеза при проектировании ТО в условиях неопределенности параметров.

#### Методика решения оптимизационных задач и оптимизационные модели для синтеза параметров ТО в условиях параметрической неопределенности

Формализация задач синтеза параметров ТО начинается с перехода от заданных ТТ к выбору критериев оптимизации — целевых функций, отражающих степень удовлетворения ТТ. Определяются входные и оптимизируемые параметры, а также ограничения, которым должны удовлетворять оптимизируемые параметры.

Входные и оптимизируемые параметры делятся на детерминированные и недетерминированные. Недетерминированные параметры классифицируются по типу неопределенности на случайные и неопределенные.

После получения информации о недетерминированных параметрах формируются функции распределения вероятности и неопределенности.

Далее выбираются оптимизационные модели с числовыми характеристиками целевых функций и ограничений. Если функции ограничений включа-

ют недетерминированные параметры и ограничения должны выполняться при любом значении недетерминированных параметров, выбирается тип ограничений — «жесткие». Если ограничения должны выполняться с заданным значением меры неопределенности или вероятности, выбирается тип ограничений — «мягкие».

Выбранная оптимизационная модель используется для решения задачи синтеза параметров ТО, для чего применяется алгоритм однокритериальной или многокритериальной оптимизации, например, генетический алгоритм, обеспечивающий высокую вычислительную эффективность при значительном числе оптимизируемых параметров и критериев оптимизации [2].

После выполнения оптимизационных расчетов на основе многокритериальной оптимизационной модели производится анализ полученных результатов (Парето-фронта) и выбор решений. Анализируя Парето-фронт, ЛПР выбирает предпочтительную точку (вектор в пространстве целевых функций) и соответствующее Парето-решение (вектор оптимизируемых параметров). В значительном числе многокритериальных задач множество Парето оказывается довольно большим, и выбор в его пределах может быть затруднительным для ЛПР. Для решения этой проблемы предложено множество различных подходов (от эвристических до аксиоматических) и интерактивных человеко-машинных процедур [3].

Разработаны оптимизационные модели с входными и оптимизируемыми неопределенными параметрами.

Оптимизационные модели при наличии неопределенных входных и оптимизируемых параметров с эпистемической неопределенностью имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \min(\max)_{\bar{x}'} [f_1(\bar{x}', \bar{\xi}), \dots, f_m(\bar{x}', \bar{\xi})] \\ g_j(\bar{x}', \bar{\xi}) \leq 0, j = 1, 2, \dots, p \end{cases},$$

где  $\bar{x}'$  — вектор оптимизируемых неопределенных параметров ТО (вектор решений, содержащий неопределенные величины);  $\bar{\xi}$  — вектор входных неопределенных параметров,  $f_i(\bar{x}', \bar{\xi})$  — целевая функция,  $g_j(\bar{x}', \bar{\xi})$  — функция ограничения,  $m, p$  — соответственно количество целевых функций и ограничений.

Функция от неопределенных величин также является неопределенной величиной, которая не может использоваться для оптимизации в исходном виде. В связи с этим осуществляется переход к оптимизационным моделям с числовыми характеристиками целевых функций и ограничений. В результате замены целевых функций и ограничений их числовыми характеристиками формируются оптимизационные модели следующего вида:

$$\begin{cases} \min(\max)_{\bar{x}'} [d_1[f_1(\bar{x}', \bar{\xi})], \dots, d_m[f_m(\bar{x}', \bar{\xi})]] \\ d_j^*[g_j(\bar{x}', \bar{\xi})] \leq 0, j = 1, 2, \dots, p \end{cases}, \quad (1)$$

где  $d_i$  — множество числовых характеристик функции  $f_i$  от неопределенных параметров,  $d_j^*$  — числовая характеристика функции ограничений.

В работе [4] выведены аналитические выражения, которые используются в качестве числовых характеристик целевых функций и ограничений, зависящих от неопределенных входных и оптимизируемых параметров.

Разработаны варианты общей оптимизационной модели с неопределенными параметрами (1) с соответствующими числовыми характеристиками целевых функций и функций ограничений, обеспечивающими возможность решения различных типов задач синтеза параметров ТО. Данные модели позволяют обеспечить оптимальные значения целевых функций в среднем, надежность, робастность решений.

Разработаны оптимизационные модели [5], которые могут использоваться ЛПР при решении задач синтеза параметров ТО в условиях смешанной неопределенности, когда входные параметры могут быть как случайными, так и неопределенными.

Оптимизационные модели при наличии детерминированных оптимизируемых параметров, случайных и неопределенных входных параметров имеют следующий вид (без снижения общности будем рассматривать оптимизационные модели с одной целевой функцией):

$$\begin{cases} \min(\max)_{\bar{x}} [f(\bar{x}, \bar{\xi}, \bar{\omega})] \\ g_j(\bar{x}, \bar{\xi}, \bar{\omega}) \leq 0, j = 1, 2, \dots, p \end{cases},$$

где  $f(\bar{x}, \bar{\xi}, \bar{\omega})$  и  $g_j(\bar{x}, \bar{\xi}, \bar{\omega})$  — соответственно целевая функция и функции ограничений;  $\bar{x}$  — вектор оптимизируемых детерминированных параметров ТО (вектор детерминированных решений);  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  — входные независимые неопределенные параметры с функциями распределения, имеющими обратные функции распределения;  $\omega_1, \dots, \omega_m$  — входные независимые случайные параметры с функциями распределения вероятности.

Предлагается моделировать функцию  $f(\bar{x}, \bar{\xi}, \bar{\omega})$  как неопределенную величину, параметризованную случайными величинами, и называть ее неопределенно-случайной величиной. Тогда числовая характеристика целевой функции  $f(\bar{x}, \bar{\xi}, \bar{\omega})$  определяется в два этапа. Сначала находится характеристика функции от неопределенных параметров, при этом случайные величины рассматриваются как параметры этой характеристики. Затем эта характеристика рассматривается как случайная величина и вычисляется характеристика этой величины, которая и является характеристикой целевой функции  $f(\bar{x}, \bar{\xi}, \bar{\omega})$ .

В качестве числовых характеристик случайных и неопределенных величин могут использоваться математическое ожидание/ожидаемое значение, квантиль для неопределенных и случайных величин, вероятность/степень уверенности непревышения функцией заданной величины. В результате сочетания данных числовых характеристик строятся различные оптимизационные модели, в которых критерии оптимизации зависят от случайных и неопределенных параметров. Способ построения критерия оптимизации (сочетания характеристик случайной и неопределенной величины) зависит от конкретной задачи синтеза параметров ТО, требований к надежности принятых решений и предпочтений ЛПР.

В работе [5] получены аналитические выражения числовых характеристик функций и ограничений, зависящих от неопределенных и случайных параметров и разработаны алгоритмы для их вычисления.

#### Прототип инструментальной программной среды для решения задач параметрического синтеза при проектировании технических объектов в условиях неопределенности параметров

В результате проведенных теоретических и прикладных исследований разработан прототип инструментальной программной среды для решения задач параметрического синтеза при проектировании ТО в условиях неопределенности параметров. Используя эту программную инструментальную среду, проектировщик ТО получает гибкий инструмент для: сбора и обработки данных о ТО; построения оптимизационных моделей; выполнения оптимизационных расчетов.

В инструментальной программной среде итерационный процесс параметрического синтеза при проектировании ТО представляется в виде набора упорядоченной во времени последовательности операций синтеза параметров ТО, выполнение которых приводит к назначению или изменению значений параметров ТО.

Работа с инструментальной программной средой начинается с создания или выбора (созданной ранее) проектировщиком ТО (ЛПР) задачи синтеза параметров ТО.

Далее осуществляется переход к формированию и обработке данных, необходимых

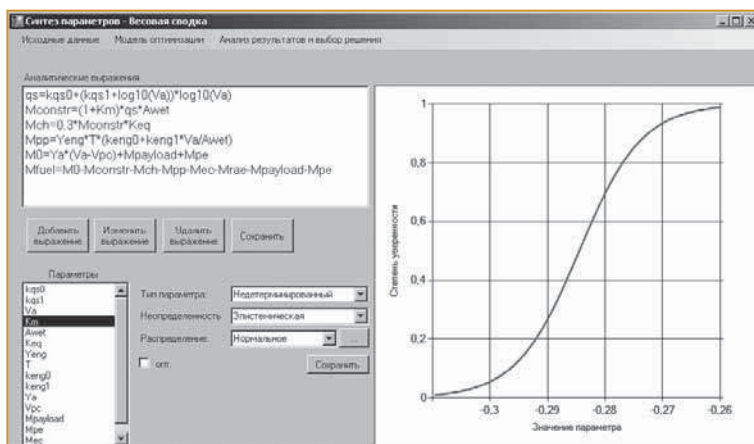


Рис. 1. Пример интерфейса инструментальной программной среды при формировании и обработке данных, необходимых для построения оптимизационных моделей

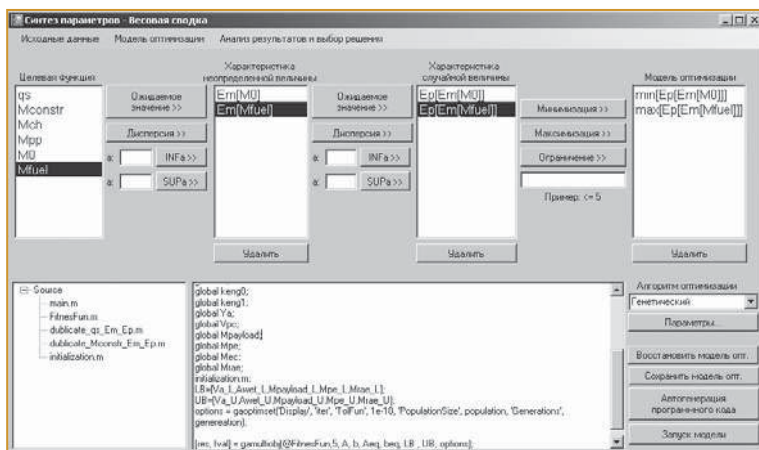


Рис. 2. Пример интерфейса инструментальной программной среды при построении оптимизационной модели

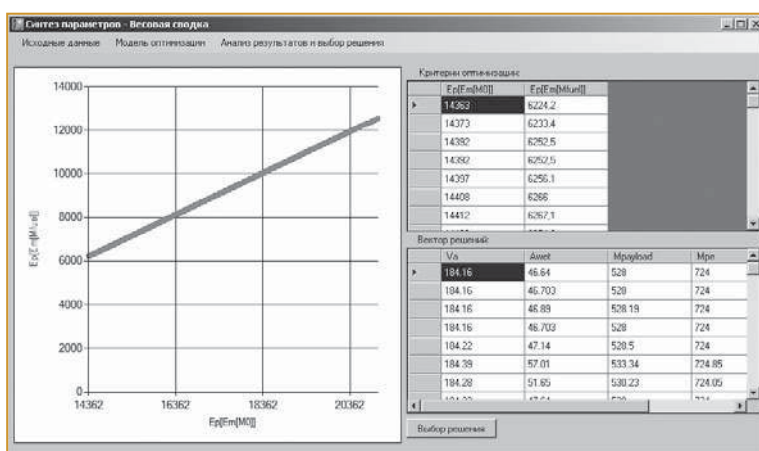


Рис. 3. Пример интерфейса инструментальной программной среды при анализе результатов применения оптимизационной модели и выборе решений

для построения оптимизационных моделей. Пример интерфейса инструментальной программной среды, который используется на этом этапе при решении задачи синтеза весовых параметров (весовой сводки) летательного аппарата (ЛА), представлен на рис. 1.

В рамках выбранной операции синтеза параметров ТО проектировщик сначала формирует или выбирает множество аналитических выражений с детерминированными параметрами. После того как аналитические выражения выбраны, осуществляется их синтаксический анализ. В результате этого анализа проектировщик ТО получает возможность для каждого параметра ТО, автоматически выделенного из аналитических выражений, указать: тип параметра (детерминированный/недетерминированный), тип неопределенности для недетерминированных параметров, задать значения для детерминированных параметров, функции распределения неопределенности или вероятности для недетерминированных параметров, является параметр входным или оптимизируемым, диапазоны изменения оптимизируемых параметров.

Далее производится построение или выбор (созданной ранее) оптимизационной модели с число-

выми характеристиками целевых функций и ограничений. Эта процедура выполняется проектировщиком ТО в интерактивном режиме (рис. 2).

Проектировщик ТО последовательно выбирает из аналитических выражений целевые функции/ограничения, зависящие от неопределенных и/или случайных параметров, числовые характеристики целевых функций/ограничений как неопределенных величин, числовые характеристики целевых функций/ограничений как случайных величин, бинарные отношения ( $\leq$ ,  $\geq$ ) для ограничений, условия оптимизации для числовых характеристик целевых функций (минимизация/максимизация).

В результате построения оптимизационной модели и выбора алгоритма оптимизации генерируется программный код (на языке Матлаб) — реализуется алгоритм (совокупность программных функций) синтеза параметров конкретного вида ТО. Этот алгоритм выполняется непосредственно в прототипе инструментальной программной среды или используется для интеграции в проблемно-ориентированные (узкоспециализированные) программные средства.

После выполнения сгенерированного инструментальной средой программного кода проектировщик ТО получает возможность анализа результатов выполнения оптимизационных расчетов и выбора из альтернативных вариантов полученных решений (рис. 3).

Парето-фронт, представленный на рис. 4 в графической и табличной форме, получен в результате выполнения оптимизационных расчетов с использованием многокритериального генетического алгоритма.

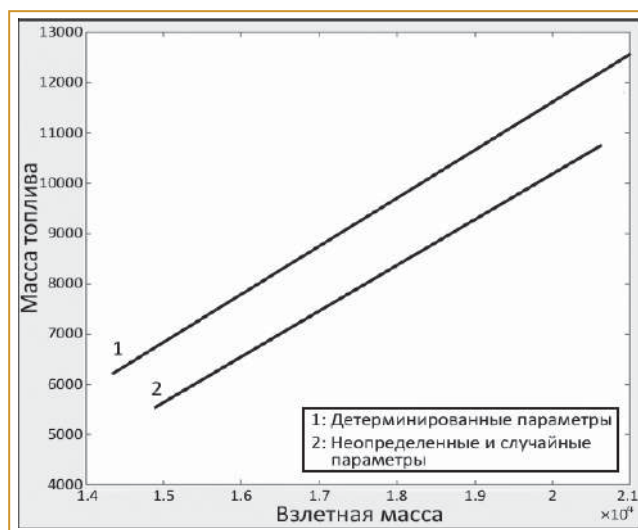


Рис. 4. Парето-фронты для задачи синтеза весовых характеристик ЛА

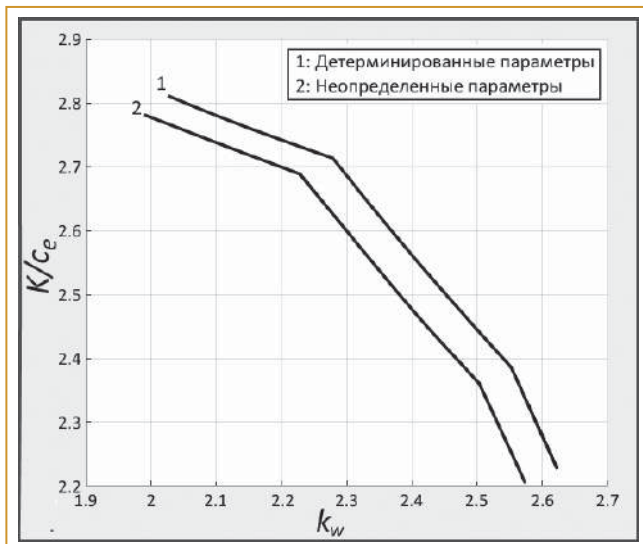


Рис. 5. Парето-фронты для задачи синтеза параметров силовой установки ЛА

Проведенные прикладные исследования с использованием разработанной инструментальной программной среды показали эффективность ее применения для решения задач синтеза параметров при проектировании ТО в условиях параметрической неопределенности. В частности, достигается повышение информативности проектирования ТО и производительности труда проектировщика за счет автоматизации применения полученных в исследованиях теоретических результатов.

С использованием прототипа инструментальной программной среды были созданы модели и алгоритмы для синтеза на предварительном этапе проектирования:

- весовых параметров ЛА [5];
- параметров силовой установки ЛА, удовлетворяющих требованиям по дальности сверхзвукового крейсерского полета и приоритетных тактико-технических требований в дозвуковой области [4, 6].

Рассмотрим результаты применения оптимизационных моделей для синтеза параметров ЛА, в которых в качестве числовых характеристик целевых функций выбраны квантили, обеспечивающие с заданным уровнем надежности (вероятности/уверенности ЛПР) реализацию значений целевых функций (не больше/не меньше квантильных значений).

Использование разработанной двухкритериальной оптимизационной модели с мягкими ограничениями для синтеза весовых параметров ЛА в условиях смешанной неопределенности позволяет получить решения с учетом требований к их надежности. На рис. 4 представлены Парето-фронты, позволяющие найти компромисс между минимальным значением взлетной массы и максимальным значением массы (запаса) топлива.

Парето-фронт, полученный на основе многокритериальной оптимизационной модели с квантилями при неопределенных и случайных параметрах, зна-

чительно отличается от Парето-фронта, полученного на основе оптимизационной модели с детерминированными параметрами. Обеспечение надежности приводит к смещению Парето-фронта в область «худших» значений массы топлива и взлетной массы, как видно из рис. 4.

Использование разработанной двухкритериальной оптимизационной модели для синтеза параметров силовой установки ЛА в условиях эпистемической неопределенности позволяет получить решения с учетом требований к их надежности. На рис. 5 представлены Парето-фронты, позволяющие найти компромисс между максимальным значением отношения аэродинамического качества ЛА к коэффициенту удельного расхода топлива  $K/c_e$  (максимизация этого отношения эквивалентна максимизации дальности сверхзвукового крейсерского полета) и максимальным значением уровня волнового сопротивления  $k_w$  — комплексного параметра, отражающего дозвуковые и сверхзвуковые аэродинамические характеристики ЛА.

Парето-фронт, полученный на основе многокритериальной оптимизационной модели с квантилями при неопределенных параметрах, значительно отличается от Парето-фронта, полученного на основе оптимизационной модели с детерминированными параметрами. Как видно из рис. 5, обеспечение надежности приводит к смещению Парето-фронта в область «худших» значений  $K/c_e$  (отношения аэродинамического качества ЛА к коэффициенту удельного расхода топлива) и  $k_w$  (уровня волнового сопротивления).

В настоящее время для расчета летно-технических и маневренных характеристик ЛА на ранних этапах проектирования, в основном, используются детерминированные методы. Это означает, что в качестве исходных данных выступают детерминированные величины — конкретные значения параметров: аэродинамических характеристик, силовой установки и т. д. На этапе предварительного проектирования ЛА полный набор исходных данных, как правило, не известен. Исходные данные о проектируемом ЛА, зачастую, являются результатом экспертной оценки или же результатом обработки статистической информации, т.е. параметры ЛА не могут быть представлены точными значениями. В этом случае применение традиционных подходов (предназначенных для работы с детерминированными параметрами) к синтезу параметров ЛА не всегда может дать корректный результат с практической точки зрения.

Существуют инструментальные программные средства для решения оптимизационных задач синтеза параметров ТО в условиях алеаторной неопределенности, например, программное обеспечение optiSLang от компании Dynardo [7], программный комплекс pSeven [8]. Авторам статьи неизвестны промышленные инструментальные программные средства для автоматизации проектирования ТО в условиях параметрической эпистемической и смешанной неопределенности.

Развитие разработанных программных средств и расширение задач аэродинамического расчета позволит создать новую программную продукцию для аэродинамического расчета, способную обеспечить проектировщику ЛА большие возможности, чем используемые в настоящее время программы PERFY.7 (ЦАГИ), APP.6 (ALR, Швейцария), в которых отсутствуют средства построения оптимизационных моделей с целевыми функциями и ограничениями, зависящими от недетерминированных параметров с алеаторной и эпистемической неопределенностью.

#### Выводы

Полученные результаты позволили создать теоретическую и алгоритмическую основу решения оптимизационных задач параметрического синтеза при проектировании технических объектов в условиях неопределенности параметров с использованием мягких вычислений, относящихся к методам вычислительно-го интеллекта — одного из ответвлений искусственно-го интеллекта. На основе теории неопределенности, получившей развитие в проведенных исследованиях, разработана и исследована методика решения оптимизационных задач синтеза параметров технических объектов в условиях параметрической неопределенности. Разработаны оптимизационные модели для синтеза параметров технических объектов, в которых целевые функции и ограничения зависят от входных и оптимизируемых неопределенных параметров, входных и/или оптимизируемых неопределенных и случайных параметров. Данные модели позволяют обеспечить оптимальные значения целевых функций в среднем, надежность, робастность решений. Создан прототип инструментальной программной среды, который основан на разработанных моделях и алгоритмах и является универсальным инструментом для решения задач

*Вересников Георгий Сергеевич* — канд. техн. наук, старший научный сотрудник,  
*Панкова Людмила Александровна* — канд. техн. наук, старший научный сотрудник,  
*Пронина Валерия Александровна* — канд. техн. наук, старший научный сотрудник  
 Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.  
 Контактный телефон (495) 334-92-49.

*Человек, которому повезло, — это человек, который делал то, что другие только собирались сделать.*  
 Жюль Ренар

синтеза параметров ТО при наличии недетерминированных параметров с алеаторной и/или эпистемической неопределенностью, позволяет сократить время проектирования и достичь улучшенных показателей качества проектируемого ТО.

#### Список литературы

1. Liu B. Uncertainty Theory. 4-nd edition // Berlin, Springer-Verlag. 2015. 487 p.
2. Jamwal P.K., Xie S.Q., Hussain S. Three-Stage Design Analysis and Multicriteria Optimization of a Parallel Ankle Rehabilitation Robot Using Genetic Algorithm // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2015. vol. 12(4). pp. 1433-1446.
3. Ногин В.Д. Сужение множества Парето: аксиоматический подход. М.: Физматлит. 2015. 236 с.
4. Veresnikov G.S., Pronina V.A., Pankova L.A. Preliminary design with the epistemic uncertainty of parameters // Advances in System Science and Applications. 2018. v. 18. № 3. pp. 154-164.
5. Veresnikov G.S., Pankova L.A., Pronina V.A. Models of uncertain-random programming // Advances in Systems Science and Applications. 2019. v. 19. № 2. pp. 8-22.
6. Veresnikov G.S., Pronina V.A., Pankova L.A., Ogorodnicov O.V., Ikryanov I.I. Determining maneuverable aircraft parameters in preliminary design under conditions of uncertainty // Procedia Computer Science. 2017. v. 112. pp. 1123-1130.
7. Староверов Н. Обзор Dynardo optiSLang. URL:www.ansysadvantage.ru/fileadmin/archive/20/ANSYS-DVANTAGE-Rus-20-03.pdf, 2014.
8. Бурнаев Е. и др. Многодисциплинарная оптимизация, анализ данных и автоматизация инженерных расчетов с помощью программного комплекса pSeven // CAD/CAM/CAE Observer. 2014. № 4 (88). с. 56-61.

#### Использование Internet вещей для отслеживания уровня заполнения и позиционирования мобильных контейнеров

Pepperl+Fuchs представляет датчик IoT, предназначенный для замера уровней заполнения различного вида емкостей при помощи ультразвука. Данные записываются в заданные интервалы и выгружаются в Internet вместе с данными геолокации. Автономный беспроводной датчик работает от аккумулятора, благодаря чему его можно использовать в мобильных емкостях.

Благодаря решению Wilsen.sonic.level компания Pepperl+Fuchs разработала модель датчика, которая подходит для использования в беспроводных сетях нескольких типов. Например, существует версия изделия с интерфейсом GSM (2G) для общедоступных мобильных сетей.

Другая версия изделия оснащена интерфейсом LoRaWAN, который предназначен для частных маломощных беспроводных сетей. Все эти радиointерфейсы используются для передачи данных датчиков в Internet. В зависимости от выбранного стандарта беспроводной связи можно установить связь с соответствующим удаленным узлом в Internet, который будет принимать данные, полученные от датчика. Например, устройства LoRaWAN могут отправлять свои данные телеметрии в сеть и на сервер приложения любого оператора сети LoRa.

При использовании стандарта общедоступной мобильной беспроводной связи GSM промежуточное ПО Wilsen.service действует как защищенный удаленный узел, предназначенный для приема и передачи данных телеметрии датчика.

Системное решение, реализованное в Wilsen.service, не только обрабатывает задачи декодирования и перенаправления данных датчика, но также позволяет безопасно и удобно осуществлять управление устройствами. Это особенно удобно, если в будущем планируется использование большого числа датчиков IoT и необходимо максимально автоматизировать вход в беспроводную сеть и назначение пользователей. Более того, решение для управления устройствами Wilsen позволяет автоматически задавать параметры приложения датчиков IoT, наряду со структурированным выходом обновлений, которые обеспечивают актуальность даже большого числа датчиков IoT, установленных на объектах. Концепция WILSEN позволяет создать модульную систему IoT, в которую можно добавлять отдельные компоненты, например модули датчиков, узлы сети, промежуточное ПО и технологии обработки данных.

[Http://www.pepperl-fuchs.com](http://www.pepperl-fuchs.com)