2. Фалькевич Б.С. Теория автомобиля. Издание второе, переработанное и дополненное. М.: Машгиз. 1963.
3. Селифонов В.В. Теория автомобиля. Учебное пособие. – М.: ООО "Гринлайт", 2009. – 208 с., илл.
4. Кравец В.Н., Селифонов В.В. Теория автомобиля: учебник для студ. вузов, обуч. по спец. 190201 «Автомобиле- и тракторостроение» (УМО).- М., 2011.
5. Московкин В.В. Система методов для исследования и расчета топливной экономичности и скоростных свойств автомобиля. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М. 1999.
6. Селифонов В.В., Есеновский М.Ю. Выбор конструктивных параметров, определяющих тягово-скоростные и топливно-экономические показатели автомобиля: Методические указания. – М.: МГТУ «МАМИ», 2010.

Об уточнённой постановке задач синтеза алгоритмов автоматического робастного управления техническими системами

к.т.н. Есаков А.Е., к.т.н. доц. Кретов А.В.
Университет машиностроения
ravn@mail.ru

Аннотация. В статье обозначена проблема, приводящая к необходимости постановки задач синтеза алгоритмов автоматического робастного управления техническими системами. Рассмотрена одна из существующих постановок данной задачи, и вынесены рекомендации по её усовершенствованию при различных подходах к формализации множества характерных для объекта управления эксплуатационных ситуаций.

Ключевые слова: *автоматическое управление; робастное управление; процесс управления; алгоритм управления; случайные величины; вероятность; распределение вероятностей; плотность распределения; стохастический подход; детерминированный подход; математическое ожидание; центр распределения.*

Автоматизация технической системы среди прочего подразумевает синтез алгоритма управления.

Определим алгоритм как совокупность представленных в формальном виде предписаний, чьё последовательное выполнение обеспечит достижение цели управления в каждой из допустимых для этой системы эксплуатационных ситуаций. При этом всегда желательно, чтобы алгоритм обеспечивал оптимальное управление, то есть, управление, соответствующее экстремальным значениям выбранных критериев качества.

Естественно, что практическая реализация любого алгоритма прежде всего подразумевает наличие информации, которая характеризует как текущее состояние объекта управления, так и воздействия на него со стороны внешней среды.

Целесообразно различать необходимую и достаточную для реализации оптимального управления информацию. Под необходимой будем подразумевать информацию, без наличия которой оптимальное управление невозможно в принципе. Достаточной же назовём информацию, наличие которой позволяет обеспечить оптимальное управление во всех рассматриваемых эксплуатационных ситуациях.

Получение достаточной информации может быть сопряжено с существенными проблемами. Иногда они связаны с отсутствием или же несовершенством технологий, позволяющих с требуемой степенью точности произвести преобразование информации в строго формализованные данные, которые будут использованы для управления. Однако в большинстве случаев сбору нужной информации препятствуют чисто экономические причины. Создание аппаратных и программных средств, позволяющих осуществлять этот процесс, может потребовать непропорционально больших по отношению к предполагаемой выгоде затрат времени, труда и материальных ресурсов, что негативно отразится на коммерческой эффективности системы автоматизированного или автоматического управления.

Таким образом, во многих случаях доступная информация об объекте управления не является достаточной для реализации оптимального управления. Это обстоятельство порождает задачу синтеза алгоритма робастного управления, то есть, алгоритма, реализация которого при наличии неопределённостей в управляемой системе обеспечивает достижение ею цели управления и качества, сколь это возможно приближенного к наилучшему.

В диссертации [1] была осуществлена одна из возможных постановок задачи синтеза такого алгоритма. Абстрагируясь от объекта и цели управления, фигурирующих в данной работе, можно утверждать, что в общем такая постановка вполне применима и для других случаев.

Обобщённая суть предлагаемого автором состоит в следующем.

При известной цели управления в первую очередь выбирается критерий качества, то есть, величина, которая будет характеризовать качество управления в каждом отдельном процессе.

Теми или иными методами осуществляется построение математической модели объекта управления и его взаимодействия с внешней средой, позволяющей найти числовые значения частного критерия.

В построенной модели выявляются величины $x_1 \ldots x_m$ (параметры эксплуатационных ситуаций), получение информации о значениях которых в самом процессе управления затруднительно. Здесь $m \in \mathbb{N}$ – общее число таких величин.

Известными эмпирико-теоретическими методами математической статистики устанавливаются свойственные этим величинам предельные законы распределения вероятностей в дифференциальной форме: $p_{x_i} = f_i(x_i)$, где x_i – i-ая случайная величина ($i = \overline{1; m}$), а p_{x_i} – плотность её распределения.

В носителе каждого из них выделяется конечный промежуток $(x_{i\min}; x_{i\max})$, такой, чтобы вероятность попадания на него значения случайной величины была равна единице или близка к ней (в случае если плотность распределения отлична от нуля на всей расширенной числовой прямой $\overline{\mathbb{R}} = (-\infty; +\infty)$).

В свою очередь, каждый промежуток разбивается на конечное число $n \in \mathbb{N}$ взаимно равных частей («вложенных» промежутков), пределы которых b_j и c_j определяются следующими формулами:

$$b_j = \frac{nx_{i\min} + (j-1)(x_{i\max} - x_{i\min})}{n}$$

и

$$c_j = \frac{nx_{i\min} + j(x_{i\min} - x_{i\max})}{n},$$

здесь: j – порядковый номер «вложенного» промежутка ($j = \overline{1; n}$).

Для всех «вложенных» промежутков вычисляются значения случайной величины, соответствующие их серединам:

$$\{x_i\}_j = \frac{b_j + c_j}{2}, \tag{1}$$

и в дальнейшем любое реальное значение этой величины, принадлежащее определённым «вложенным» промежуткам, условно приравнивается к ним. Таким образом формируется упорядоченное конечное множество эквивалентных значений случайной величины $\{x_i\}$, которому соотносится упорядоченное конечное множество вероятностей их появления в эксплуатации $\{P_{x_i \in (b_j; c_j)}\}$, вычисляемых интегрированием кривой плотности распределения на соответствующих «вложенных» промежутках (рисунок 1).

Совокупность множеств эквивалентных значений случайных величин и множеств вероятностей их появления в эксплуатации образует тензор эксплуатационных ситуаций.

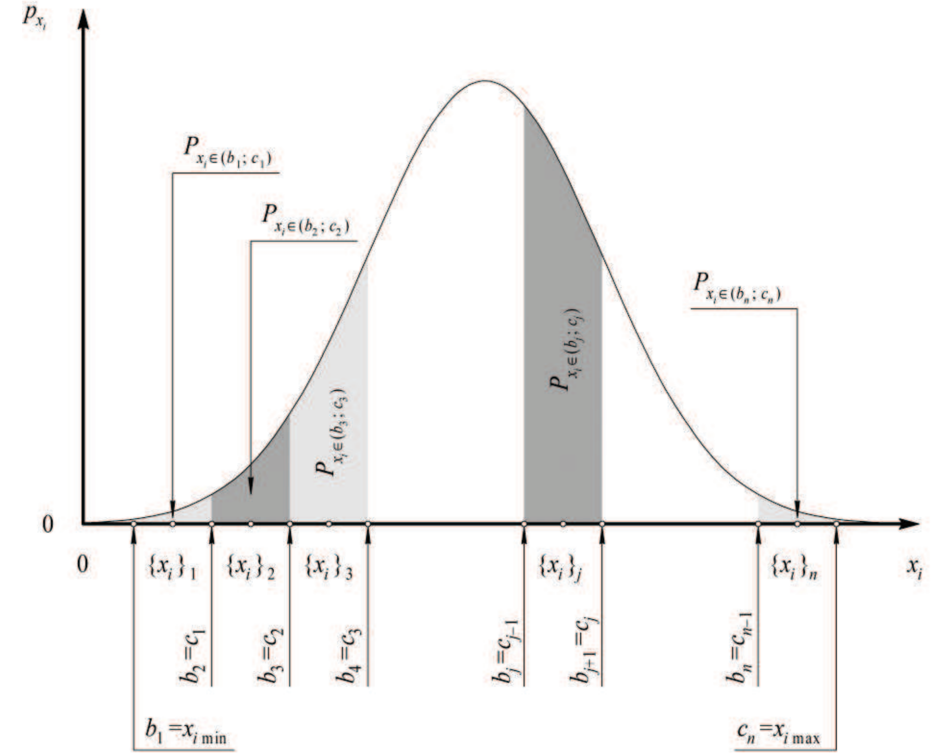

Рисунок 1. Графическая интерпретация формирования множества эквивалентных значений случайной величины и множества вероятностей их появления в эксплуатации на примере нормального распределения Гаусса

Синтезируемый алгоритм представляется в обобщённом виде аналитической зависимостью управляющей величины от параметров управления (например, в виде полинома, где в качестве переменных используются эти параметры). В данную зависимость помимо собственно параметров управления, операций над ними и предикатов должны входить некоторые коэффициенты и степенные показатели, которые именуются параметрами алгоритма. Варьируя эти параметры, можно при помощи построенной математической модели исследовать различные алгоритмы.

Каждый алгоритм исследуется в каждой эксплуатационной ситуации из сформированного тензора, получая в результате ряд оценок, характеризующих обеспечиваемое им качество управления по выбранному частному критерию в различных условиях и режимах эксплуатации.

Наконец, ряды оценок исследованных алгоритмов обобщаются в средние взвешенные критерии качества методом весовых коэффициентов. Причём весовым коэффициентом для каждого значения частного критерия служит вероятность возникновения соответствующей эксплуатационной ситуации, определяющаяся как произведение вероятностей появления характеризующих её эквивалентных значений случайных величин.

Тем самым обеспечивается возможность сравнения алгоритмов и обоснованного выбора среди них того, которому соответствует экстремальное (наибольшее или наименьшее – в зависимости от физического смысла) значение среднего взвешенного критерия.

Как уже было отмечено выше, данная постановка в достаточной степени универсальна. Однако она требует некоторых уточнений, связанных со значениями $\left\{x_i\right\}_j$ в различных случаях.

Действительно, формула (1) справедлива только для таких промежутков $\left(b_j; c_j\right)$, где плотность распределения вероятностей случайной величины x_i не изменяется. В частности, она справедлива на всём носителе $x_i \in (x_{i\min}; x_{i\max})$ любого равномерного распределения (рисунок 2, а) и для средней области $x_i \in (x_{i1}; x_{i2})$ носителя любого трапецеидального распределения (рисунок 2,б), не вырожденного в треугольное распределение Симпсона, когда $x_{i1} = x_{i2}$.

Если же плотность распределения на промежутке $(b_j; c_j)$ изменяется, то выбор эквивалентного значения x_i в его середине не вполне обоснован, поскольку это значение, скорее всего, не будет являться наиболее вероятным, для данного промежутка.

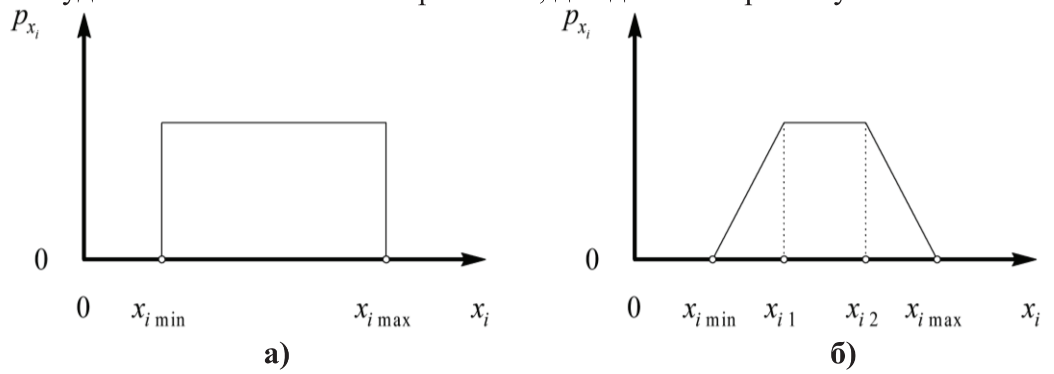

Рисунок 2. Графики плотности равномерного (а) и трапецеидального (б) распределений вероятностей

Для определения такового условно положим, что событие, состоящее в попадании значения x_i на промежуток $(b_j; c_j)$, является достоверным (то есть, $P_{x_i \in (b_j; c_j)} = 1$). Делая такое допущение, мы можем воспринимать этот промежуток как носитель распределения вероятностей, чья плотность описывается частью изначальной кривой распределения. Для данного условного распределения мы можем найти математическое ожидание, которое, являясь по сути средним значением случайной величины, должно использоваться в качестве эквивалентного на данном промежутке.

Таким образом, зная формулу вычисления математического ожидания любого непрерывного распределения, мы, заменив в ней несобственный интеграл собственным путём изменения нижнего и верхнего пределов интегрирования $x_i \to -\infty$ и $x_i \to +\infty$ на $x_i = b_j$ и $x_i = c_j$, соответственно, получим соотношение для формирования множества уточнённых эквивалентных значений случайной величины:

$$\{x_i\}_j = \int_{b_j}^{c_j} x_i \, p_{x_i} \, \mathrm{d}x_i \,. \qquad (2)$$

Сравнивая рисунок 1 с рисунком 3, видим отличия в значениях $\{x_i\}_j$, найденных по изложенной в [1] и предлагаемой здесь методикам (во втором случае они смещены в области большей плотности распределения). В перспективе данные отличия повлияют на результат решения задачи, приведя к созданию алгоритма, обеспечивающего более качественное управление.

С точки зрения необходимого объёма вычислений задача при подобном уточнении увеличивает размерность, поскольку при использовании формулы (2) в общем случае требуется привлечение численных методов, являющихся сравнительно ресурсоёмкими (в смысле их реализации средствами вычислительной техники). В связи с этим актуально любое мероприятие, направленное на уменьшение данного объёма.

В частности, для симметричных распределений такое уменьшение возможно с учётом того, что «симметричными» относительно математического ожидания будут и эквивалентные значения случайной величины, а значит, будет соблюдаться следующе правило:

$$\{x_i\}_{n-j+1} = b_{n-j+1} + c_j - \{x_i\}_j \,. \qquad (3)$$

Правило (3), как несложно понять, даёт возможность сократить число обращений к формуле (4) при формировании множества $\{x_i\}$, производя вычисления по ней лишь для $j \le (n+1)/2$, если n нечётно, или для $j \le n/2$, если n чётно.

Особое значение предлагаемое уточнение имеет при сравнительно небольших числах «вложенных» промежутков.

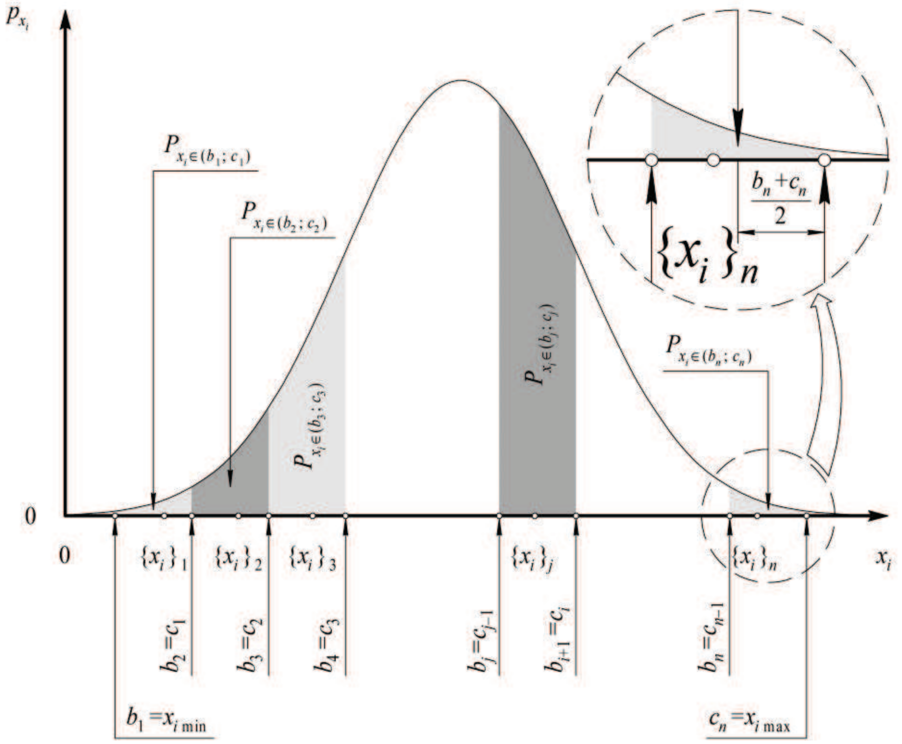

Рисунок 3. Графическая интерпретация формирования множества уточнённых эквивалентных значений случайной величины и множества вероятностей их появления в эксплуатации на примере нормального распределения Гаусса

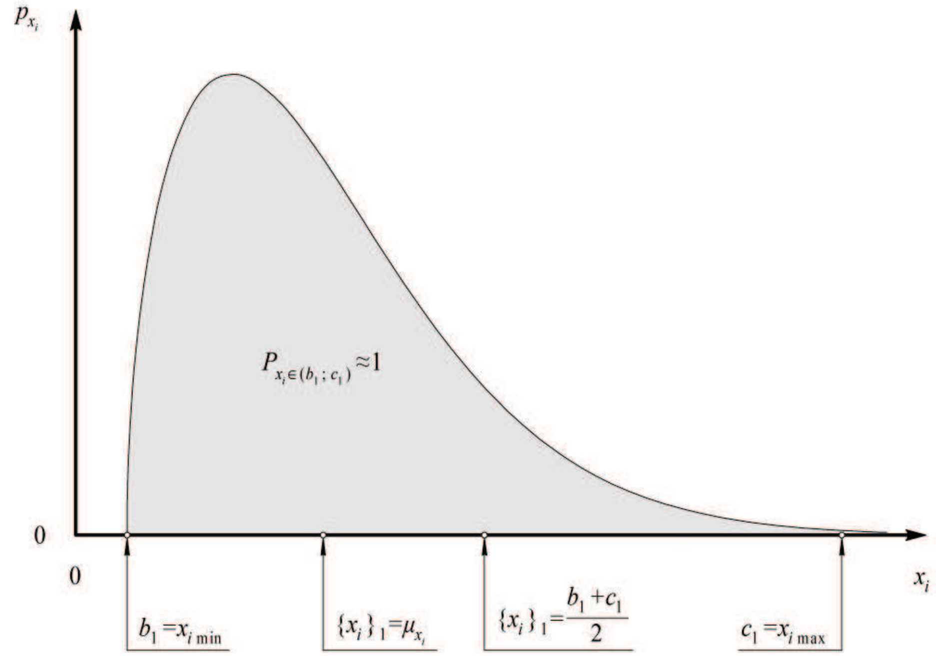

Рисунок 4. Графическая интерпретация определения эквивалентного значения случайной величины и вероятности его появления в эксплуатации по обычной и уточнённой методикам при детерминированном подходе на примере асимметричного распределения Вейбулла-Гнеденко со смещением

С увеличением n соответствующие значения $\{x_i\}_j$, вычисленные по формулам (1) и (2) асимптотически приближаются друг к другу, что нивелирует уточнение, обеспечиваемое использованием второй из них. Однако при этом увеличивается число принимаемых к рассмотрению эксплуатационных ситуаций и растёт объём необходимых вычислений. В связи с этим при разбиении промежутка $(x_{i\min}; x_{i\max})$ по возможности следует ориентироваться на малые значения n, при которых разница между результатами, полученными по формулам (1) и (2), существенна.

Предельный случай в этом смысле имеет место, когда $n=1$, то есть когда стохастический подход при формализации параметра эксплуатационных ситуаций заменяется детерминированным. Тогда, применение формулы (2) имеет смысл, только если этот параметр обладает асимметричным распределением (рисунок 4). В противном случае это нерационально, поскольку для симметричных распределений результат, полученный по заведомо более простой формуле (1) будет совпадать с математическим ожиданием.

В заключение следует отметить, что некоторые законы распределения (например, распределение Коши) не имеют математического ожидания. В этом случае вместо такового следует использовать любой из прочих подходящих показателей центра распределения.

Литература

1. Есаков А.Е. Методика создания алгоритмов для систем управления фрикционными сцеплениями автомобильных автоматических трансмиссий: Дис. … канд. техн. наук. – М., 2010. – 161 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. – М.: КноРус, 2010. – 664 с.
3. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 304 с.
4. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1985. – 640 с.

Расчет и оптимизация весоизмерительного датчика автомобильных весов

д.т.н. проф. Гаврюшин С.С., Непочатов А.В., Годзиковский В.А.

Университет машиностроения, Весоизмерительная компания «Тензо-М»

8(499)263-66-3, gss@bmstu.ru, 8(906)725-55-20, alex.nepochatov@gmail.com, 8(495)745-30-30

Аннотация. В статье рассмотрена возможность применения методов многокритериальной оптимизации при проектировании упругих элементов датчиков силы. Выполнены расчеты и исследования на примере упругого элемента тензорезисторного мембранного датчика силы.

Ключевые слова: автомобильные весы, тензорезисторный датчик, упругий элемент, нелинейное деформирование, гистерезис, сухое трение, многокритериальная оптимизация

Более 70 процентов грузоперевозок в России осуществляется с помощью автомобильного транспорта. Для учета веса грузов, перевозимых автомобилями, используются различные весоизмерительные системы, повышение точности которых является актуальной задачей.

В настоящее время для определения веса автомобиля в основном используются две основные разновидности весоизмерительных систем.

Первая разновидность – это системы, определяющие вес машинный в динамике (рисунок 1а). Системы представляют собой металлическую раму шириной чуть большей автомобиля, монтируемую в дорожное полотно. Автомобиль проезжает по данной конструкции, система измеряет вес каждой оси машины и после обработки результата на компьютере показывает общий вес автомобиля.