

ВЫБОР ДОПУСТИМОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Б.В.Цитович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры СМИС

При разработке методик выполнения измерений (МВИ) необходимо решить ряд задач, в том числе тех, которые определяют соответствие МВИ ряду основополагающих требований. К таким требованиям относятся:

- обеспечение точности измерений;
- обеспечение экономичности измерений;
- обеспечение представительности (валидности) результатов измерений;
- обеспечение безопасности измерений.

При метрологической экспертизе также необходимо проверять МВИ на соответствие этим требованиям.

Разработку МВИ в настоящее время регламентирует ГОСТ 8.010-99 (Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения). В этом документе дано следующее определение: **методика выполнения измерений** — совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с известной погрешностью. В соответствии с этим определением под методикой выполнения измерений подразумевается документ, регламентирующий измерительную процедуру, которая обеспечивает получение требуемого результата.

В соответствии с ГОСТ 8.010-99 документы, регламентирующие МВИ, должны включать:

- требования к погрешности измерений или (и) приписанные характеристики погрешности измерений;
- требования к обеспечению безопасности выполняемых работ.

Вопросы обеспечения представительности (валидности) результатов измерений косвенно отражаются такими содержательными элементами, как операции при выполнении измерений, а также операции обработки и вычислений результатов измерений. Вопросы обеспечения экономичности измерений в стандарте непосредственного отражения не нашли, однако требования экономичности в любых процессах являются очевидными, даже если они непосредственно не сформулированы.

Экономичность измерений – не абсолютное требование. По этому критерию можно сравнивать только такие конкурирующие МВИ, которые гарантируют необходимую точность измерений. При оценке экономичности измерений учитывают производительность и себестоимость измерительной процедуры, необходимую квалификацию оператора, наличие конкурирующих средств измерений (СИ), цену универсальных СИ, стоимость разработки и изготовления нестандартизованного СИ, возможность многоцелевого использования данных СИ и др.

Обеспечение **представительности** (валидности) результатов измерений можно рассматривать в двух аспектах:

- обеспечение представительности результата при измерении определенной физической величины, принадлежащей объекту измерений;
- обеспечение представительности результатов измерений при измерительном контроле или исследовании свойств одного объекта либо группы однотипных объектов.

Понятие «представительность результатов измерений» имеет разное содержание при многократных измерениях одной и той же физической величины и при измерении номинально одинаковых физических величин, принадлежащих одному объекту или группе однотипных объектов.

При измерениях одной и той же ФВ с многократными наблюдениями фактически рассматривают **представительность многократной реализации конкретной методики выполнения измерений**. Если отвлечься от возможных методических погрешностей, достоверность результата связана с числом наблюдений при измерениях – чем больше (в разумных пределах) наблюдений в серии, тем достовернее статистические оценки средних значений и границ случайной погрешности и тем более четко проявляются систематические составляющие погрешности измерений. Представительность результата измерений при многократных наблюдениях одной и той же физической величины зависит также от выбранной доверительной вероятности. Уровень представительности тем выше, чем больше вероятность накрытия истинного значения полученной интервальной оценкой.

Представительность измерений может оказаться неудовлетворительной из-за методических погрешностей, например, при измерении с однократными или многократными наблюдениями одной и той же физической величины неидеального объекта. Так, попытка измерения станковым прибором «диаметра» номинально цилиндрической детали в среднем сечении при наличии седлообразности реальной поверхности приведет к измерению высоты некоторой точки образующей этой поверхности над плоскостью рабочего стола. И если погреш-

ность формы будет значительной, то большой окажется и методическая погрешность измерения. Результат измерений окажется неточным из-за методической составляющей погрешности и недостаточно представительным из-за несоответствия реального объекта измерения и модели объекта, положенной в основу методики выполнения измерений.

При измерительном контроле одного объекта либо группы однотипных объектов представительными могут считаться только те результаты, которые адекватно отражают исследуемые свойства объекта или группы объектов.

Насколько адекватно выбрана модель исследуемого объекта, как реализована экспериментальная модель объекта в ходе измерительного контроля, насколько правомочно распространение ограниченной измерительной информации на все исследуемое множество номинально одинаковых физических величин – вопросы, на которые должны ответить специально проводимые исследования.

При измерительном контроле, основанном на измерениях ряда номинально одинаковых физических величин одного объекта **представительными можно считать те результаты, которые с достаточной полнотой характеризуют исследуемый объект.**

Примерами соответствия "один объект – одна ФВ" являются масса тела, сопротивление резистора, температура плавления вещества. Ситуацию "один объект – множество номинально одинаковых физических величин" можно рассмотреть на примере таких геометрических параметров детали, как расстояние между номинально плоскими гранями или "диаметры" номинально цилиндрической поверхности в разных сечениях.

Отличаются (пусть незначительно) коэффициенты преломления одной оптической детали, локальные плотности неоднородного материала, параметры твердости поверхности на разных участках после одинаковой термообработки и т.д.

Такая неидеальность объекта измерения может привести к нарушению представительности результатов, например из-за не обнаруженных при измерении экстремальных значений номинально одинаковых физических величин объекта. Так, если реальная поверхность шейки вала имеет конусообразную форму, то в продольном направлении можно ограничиться измерением двух крайних сечений, а при бочкообразности необходимо добавить еще и среднее сечение.

В подобном случае представительность результатов зависит не только от числа и расположения контрольных сечений, но и от значения методических погрешностей измерений и обеспечивается только при их удовлетворительных (пренебрежимо малых) значениях. Очевидно, что в такой ситуации необходимо комплексное решение двух частных задач: обеспечение представительности (требуемой точности и модельного соответствия) *каждого результата измерений* и обеспечение *представительности (валидности) всех результатов* для достаточно полной характеристики объекта измерения.

Правильный выбор контрольных точек (контрольных сечений) позволяет получить адекватную модель контролируемого объекта.

Множество номинально одинаковых физических величин на множестве однородных объектов – массы однотипных деталей в партии, геометрические размеры их одинаковых поверхностей, твердость их одинаковых поверхностей,

напряжения номинально одинаковых батареек, фокусные расстояния номинально одинаковых линз. Для таких параметров объектов серийного и массового производства часто применяют не сплошной, а выборочный измерительный контроль (его также называют «статистическим»). Результаты контроля параметров выборки распространяют на партию объектов.

Обеспечение представительности измерений номинально одинаковых физических величин, принадлежащих разным объектам, включает две очевидные составляющие: *представительность результатов измерений каждого из объектов* и *представительность выборки из партии объектов*.

При рассмотрении безопасности измерений следует анализировать опасности, связанные с измеряемым объектом, а также те, которые могут нести средства измерений. Объект измерений всегда несет на себе множество физических величин, причем некоторые из них могут быть опасными для оператора. Опасны явления, связанные с такими измеряемыми величинами, как высокое давление, механические и электрические напряжения, сила электрического тока, радиоактивность и многие другие. Источниками опасности в применяемых средствах измерений могут быть используемые для измерительных преобразований подвижные механические элементы, высокие давления и электрические напряжения, когерентные пучки оптических частот и другие энергетически насыщенные явления.

Обеспечение экологической безопасности – сравнительно новое требование, которое отсутствовало в предыдущей версии стандарта. Экологически вредные воздействия могут быть связаны, например, с накоплением в окружа-

ющей среде вредных веществ, которые используют при измерениях или которые входят в состав средств измерений, подлежащих утилизации. Для подготовки к измерениям часто используют такие вещества, как растворители, их не следует «сбрасывать» в окружающую среду. Утилизация разбитых ртутных термометров, сломанных дефектоскопов с источниками радиоактивного излучения и множества других средств измерений может оказаться серьезной задачей.

Точность измерений является необходимым условием для использования их результатов. Несоблюдение этого условия делает невозможным получение **действительного значения** измеряемой физической величины и бессмысленным проведение измерений. В соответствии с РМГ 29-99 (Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения) **действительное значение физической величины** – значение физической величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Как видно из определения, действительное значение физической величины – понятие, которое приобретает конкретный смысл только после постановки задачи измерений. Для одного и того же параметра объекта измерений оно может существенно различаться в зависимости от поставленной задачи, например, точность аттестации однозначной меры значительно выше требуемой точности ее приемочного контроля.

Если близость результата измерения к истинному значению измеряемой физической величины оценивать погрешностью измерений, то для характери-

ки действительного значения физической величины следует ввести понятие пренебрежимо малой погрешности. Пренебрежимо малой погрешностью измерений можно считать такую, которая не приведет к недопустимому искажению измерительной информации. Это характеристика качественная, а для количественной оценки пренебрежимо малой погрешности следует решить достаточно сложные задачи введения и применения специальных критериев.

Обеспечение точности измерений (в рамках оценки погрешностей) заключается в установлении требуемого соотношения допустимой погрешности измерений $[\Delta]$ и предельного значения реализуемой в ходе измерений погрешности Δ :

$$\Delta \leq [\Delta].$$

В РМГ 29-99 есть термин **предельная погрешность измерения в ряду измерений** (*предельная погрешность*) – максимальная погрешность измерения (плюс, минус), допускаемая для данной измерительной задачи. В примечании к определению сказано, что «во многих случаях погрешность $3S$ принимают за предельную, то есть $\Delta_{пр} = \pm 3S$. При необходимости за предельную погрешность может быть принято и другое значение погрешности, где S – средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений в ряду измерений (*средняя квадратическая погрешность измерений*)».

Некорректность заключается в том, что в этом определении с примечаниями фактически смешаны допустимая погрешность измерений (устанавливаемая норма) и реализация погрешности при измерениях, для которой S используется как одна из возможных статистических оценок.

Для предельного значения реализуемой в ходе погрешности в ГОСТ 8.010-99 есть специальный термин с соответствующим определением. **Приписанная характеристика погрешности измерений** – характеристика погрешности, приписываемая любому результату совокупности измерений, полученному при соблюдении требований и правил данной методики.

В данной статье для однозначного понимания далее будем использовать термины «допустимая погрешность измерений» (норма, в которую необходимо уложиться для получения действительного значения измеряемой физической величины) и «предельное значение реализуемой погрешности» (граница реализуемой погрешности измерений, установленная с выбранной доверительной вероятностью).

Поскольку цель любого измерения – получение такого значения измеряемой ФВ, которое достоверно представляло бы ее истинное значение (действительное значение ФВ), необходимо установить связь между измерительной задачей и соответствующей этой задаче допустимой погрешностью измерений.

РМГ 29-99 определяет измерительную задачу как *задачу, заключающуюся в определении значения физической величины путем ее измерения с требуемой точностью в данных условиях измерений*. Кроме того, там же содержится термин **объект измерения** – *тело (физическая система, процесс, явление и т.д.), которое характеризуется одной или несколькими измеряемыми физическими величинами*.

Однако классификация измерительных задач в РМГ 29-99 отсутствует, а в результате назначение допустимых погрешностей измерений приходится рассматривать для каждой измерительной

задачи индивидуально. Очевидно, что для разработки типовых решений при назначении допустимых погрешностей измерений необходимо предложить классификацию измерительных задач.

Анализ возможных измерительных задач осуществлялся с позиций необходимой точности измерений. Исходя из ожидаемого использования результатов измерений сформулированы следующие типовые задачи:

- измерительный приемочный контроль заданного параметра;
- сортировка объектов на группы по заданному параметру;
- арбитражная перепроверка результатов приемочного контроля;
- идентификация заданного параметра, принадлежащего известному ряду;
- измерения при ориентировочной оценке заданного параметра;
- измерения параметров при проведении научного исследования.

В принципе возможны и другие формулировки, но абсолютное большинство измерительных задач сводится к перечисленным.

Все эти задачи можно разбить на два принципиально различных класса:

- корректно поставленные (корректные) задачи;
- некорректно поставленные (некорректные) задачи.

Уровень корректности или некорректности задачи измерений будем определять в зависимости от того, установлена ли в их условиях норма исходной неопределенности измеряемой физической величины. Если такая норма присутствует, полноту информации можно считать достаточной для априорного назначения допустимой погрешности измерений.

Корректно поставленными (корректными) задачами измерений можно счи-

тать те, в условиях которых норма исходной неопределенности измеряемой физической величины установлена, например, путем ограничения ее предельных значений, указанием номинального значения физической величины с предельными отклонениями, указанием ее номинального значения и поля допуска. Исходная неопределенность измеряемой физической величины может быть установлена в неявном виде, например, описанием допустимого рассеяния для определенного диапазона однородных величин.

К некорректно поставленным (некорректным) будем относить те задачи измерений, в условиях которых не установлена норма исходной неопределенности измеряемой физической величины. Норма неопределенности фактически отсутствует при однопредельном нормировании величины по типу A_{\max} или B_{\min} . Нормы отсутствуют у объектов естественного происхождения, их нет у ряда экспериментальных изделий и процессов. В подобных ситуациях условия задачи не обеспечивают достаточной полноты информации для априорного назначения допустимой погрешности измерений и возникает необходимость в дополнительной информации. Дополнительная информация может включать искусственно введенные ограничения параметров (нормы неопределенности). Можно также предложить значения допустимой погрешности измерений, логически обоснованные иными причинами (доводами).

Для того чтобы проконтролировать правильность решения задачи измерений с позиций обеспечения точности, необходимо:

- установить необходимую норму точности измерения;

- убедиться, что точность измерения соответствует установленной.

Порядок действий при решении некоторых конкретных задач измерения может быть изменен. В частности, при решении некорректных задач можно использовать метод проб и ошибок, то есть установить требуемую норму точности в ходе выполнения предварительных измерений. Анализ получаемых результатов позволит корректировать реализуемую точность измерений и добиться ее соответствия необходимой норме точности.

Если в качестве нормы точности принять допустимую погрешность измерения $[\Delta]$, то ее значение будет зависеть от формулировки поставленной задачи измерений. Типовые задачи могут быть представлены в разных вариантах.

К корректно поставленным (корректным) задачам можно отнести задачи, связанные с измерительным приемочным контролем параметра, сортировкой объектов на группы, арбитражной перепроверкой результатов приемочного контроля, а также с идентификацией номинального значения параметра, принадлежащего известному ряду значений. Условия этих задач содержат достаточно полную информацию для априорного назначения допустимой погрешности измерений. В каждой из них непосредственно или опосредованно установлена норма исходной неопределенности измеряемой физической величины, а значит, можно априори назначить такую допустимую погрешность измерений, которая будет пренебрежимо малой по сравнению с нормой исходной неопределенности параметра (изменяемой величины).

Нормой исходной неопределенности параметра может быть, например, допуск параметра, включая «групповой

допуск» при сортировке объектов на группы, погрешность измерительного приемочного контроля в задаче арбитражной перепроверки его результатов. При идентификации номинального значения параметра известна градация ряда, которая не является непосредственно нормой исходной неопределенности измеряемой физической величины, но ограничивает неопределенность ее возможных значений.

Исходная неопределенность параметра может быть стохастической либо детерминированной. Например, для задачи *измерительного приемочного контроля* партии объектов по заданному параметру, если нормированы его предельные значения (задан допуск параметра), стохастическую неопределенность параметра можно характеризовать полем его практического рассеяния. Поскольку такая «зона неопределенности» в большинстве случаев неизвестна, за норму неопределенности принимают допуск параметра, который ограничивает рассеяние параметров годных объектов контроля.

Рассмотрим возможные пути выбора (назначения) допустимой погрешности измерения $[\Delta]$ для различных вариантов корректно поставленных измерительных задач.

Если известна норма исходной неопределенности параметра, которая имеет стохастический характер, и погрешности измерений также являются стохастическими (доминирует случайная составляющая), можно предложить традиционное для метрологической практики соотношение

$$[\Delta] = (1/5 \dots 1/3)T_A,$$

где $[\Delta]$ – допустимая погрешность измерений;

T_A – норма исходной неопределенности измеряемого параметра.

Как пример рассмотрим измерительный приемочный контроль конкретного параметра, ограниченного двумя нормированными предельными значениями – наибольшим (A_{max}) и наименьшим (A_{min}). Если T_A – допуск параметра:

$$T_A = A_{max} - A_{min}$$

то допустимая погрешность измерений не должна превышать 1/3 части допуска параметра (T_A):

$$[\Delta] \leq T_A/3.$$

Если принять, что распределение контролируемого параметра на множестве реальных объектов случайно и случайная погрешность измерительного приемочного контроля Δ в предельном случае равна допустимой погрешности $[\Delta]$:

$$\Delta = [\Delta],$$

то возможное одностороннее искажение поля допуска T_A' из-за наложения на допуск T_A погрешности приемочного контроля Δ , которая равна допустимой погрешности $[\Delta]$, можно определить по правилу сложения дисперсий случайных величин:

$$T_A' = \sqrt{T_A^2 + [\Delta]^2}.$$

Элементарные расчеты показывают, что искажение поля допуска для принятого соотношения $[\Delta]$ и T_A не превысит 5 %. Такое искажение в технической практике вполне допустимо, следовательно, выбранное значение $[\Delta]$ может считаться пренебрежимо малым по срав-

нению со значением допуска T_A контролируемого параметра. Рассматривается именно одностороннее искажение поля допуска, поскольку один контролируемый параметр не может одновременно выходить за две границы поля допуска.

Такое же допущение о стохастическом характере погрешности измерений и стохастической неопределенности измеряемого параметра положено в основу всех аналогичных задач при назначении пренебрежимо малой допустимой погрешности измерений по отношению к норме, ограничивающей неопределенность измеряемого параметра.

Аналогами рассмотренной задачи можно считать измерения, проводимые при **сортировке** объектов на группы по заданному параметру, вне зависимости от числа групп сортировки. Сортировка объектов на две (годные – брак) и на три группы (годные – брак исправимый – брак неисправимый) практически совпадает с задачами измерений при приемочном контроле. Сортировка объектов на N групп (при $N > 3$) отличается только необходимостью введения допуска параметра в пределах одной группы («группового допуска»), который играет такую же роль как допуск параметра при приемочном контроле.

При **сортировке объектов на N групп** по заданному параметру допустимую погрешность назначают в зависимости от минимального «группового допуска» параметра (T_{gp}):

$$[\Delta] \leq T_{gp}/3.$$

При сортировке объектов по заданному параметру **на две** (годные – брак) или **на три группы** (годные – брак исправимый – брак неисправимый) групповой допуск равен допуску контролируемого параметра и задача практически

совпадает с задачей приемочного контроля. В этом случае принимают

$$[\Delta] \leq T/3.$$

При **арбитражной перепроверке** результатов приемочного контроля интересующей нас нормой, ограничивающей неопределенность измеряемого параметра, является погрешность измерений параметра при его приемочном контроле (Δ_{np}), которая согласно уже приведенным допущениям имеет стохастический характер. По аналогии с ранее рассмотренной задачей измерительного приемочного контроля предельно допустимая погрешность измерений $[\Delta]_a$ не должна превышать $1/3$ часть погрешности измерений параметра при его приемочном контроле (Δ_{np}):

$$[\Delta]_a \leq \Delta_{np}/3.$$

Следует подчеркнуть, что, если результаты измерений будут использованы для арбитражной перепроверки результатов приемочного контроля, в качестве нормы исходной неопределенности контролируемого параметра используют не допуск параметра, а погрешность, с которой осуществлялся приемочный контроль. В результате допустимая погрешность должна быть примерно на порядок меньше значения допуска параметра: $(T_A/3) \cdot 1/3 = T_A/9$.

К корректным задачам можно отнести также выбор допустимой погрешности измерений (измерительных операций) при **поверке средства измерений**. Измерительные операции при поверке средства измерений можно рассматривать как операции измерительного приемочного контроля (контроля погрешности средства измерения). В таком случае нормой, ограничивающей стохастиче-

скую неопределенность измеряемого параметра, является допустимая погрешность поверяемого средства измерения в контрольной точке. При поверке средства измерений в нормальных условиях погрешность измерения (погрешность поверки) не должна превышать $1/3$ основной погрешности поверяемого средства измерений $\Delta_{\text{си}}$, если погрешности поверяемого СИ имеют случайный характер:

$$[\Delta] \leq \Delta_{\text{си}}/3.$$

Следует учитывать, что основные погрешности средств измерений могут нормироваться одним постоянным значением (для однозначных мер, приборов с аддитивной статической характеристикой и т.п.) либо переменными значениями, отличающимися в разных точках диапазона (для многозначных мер, приборов с мультипликативной статической характеристикой и др.). В последнем случае допустимые погрешности поверки могут назначаться либо в виде одного минимального значения, либо переменными, разными для разных точек диапазона поверяемого средства измерений.

Таким образом, измерения параметра при приемочном контроле, сортировке на группы, при арбитражной перепроверке результатов приемочного контроля, поверке средства измерений представляют собой тривиальные измерительные задачи, в ходе решения которых допустимую погрешность измерений определяют исходя из традиционного в метрологии соотношения

$$[\Delta] = (1/5 \dots 1/3)V,$$

где $[\Delta]$ – допустимая погрешность измерений;

V – норма исходной неопределенности измеряемого параметра.

Необходимо также отметить, что, если в исходной неопределенности измеряемого параметра и/или в погрешности измерений присутствуют значимые систематические составляющие, предложенное соотношение может оказаться неприемлемым. В таком случае необходимо выявить эти систематические составляющие и либо довести их до пренебрежимо малых значений, либо назначать допустимые погрешности измерений с учетом выявленных систематических составляющих.

К корректно поставленным задачам измерений мы отнесли также задачи, связанные с **идентификацией номинального значения параметра**, принадлежащего известному ряду значений. Задача заключается в различении физической величины, для которой задано номинальное значение, чтобы выделить ее из ближайших к ней значений (идентификация величины). Обычно ряды номинальных значений регламентируют нормативной или другой технической документацией (номинальные диаметры и шаги резьб, модули зубчатых колес и т.д.). При идентификации номинального значения параметра исследователь имеет дело с детерминированной исходной неопределенностью.

Градация ряда в некоторой рассматриваемой области значений не является нормой исходной неопределенности измеряемой физической величины, но ограничивает неопределенность ее возможных значений. Фактически неопределенность измеряемой физической величины нормируется допуском соответствующего параметра, но для идентификации объекта значение этого допуска не имеет принципиального значения. Если в основу выбора допустимой погрешно-

сти измерений положить градацию измеряемых физических величин в интересующем операторе диапазоне, то за норму исходной неопределенности можно принять ступень градации либо ее часть. Если ступень градации в рассматриваемом диапазоне симметрично распределить относительно номинальных значений, каждое из отклонений не превысит доли соответствующей ступени градации. Например, при измерении внутренних диаметров колец подшипников качения в диапазоне 20...100 мм с градацией размеров через 5 мм за норму исходной неопределенности можно принять ступень градации ($B = 5$ мм), а допустимую погрешность измерения $[\Delta]$ взять из традиционного соотношения

$$[\Delta] = (1/5 \dots 1/3)B.$$

При этом диапазон допустимых погрешностей измерения составит примерно 1...1,6 мм. При измерении наружных диаметров метрических резьб в диапазоне от 2 до 4 мм погрешность измерений должна обеспечить достоверную дифференциацию размеров через 0,5 мм, и если взять ее примерно втрое меньше ступени градации нормированных величин, ее округленное в меньшую сторону значение будет равно 0,16 мм.

К некорректно поставленным задачам измерений мы отнесли задачи измерительного приемочного контроля величин, нормированных одним предельным значением по типу A_{max} или B_{min} , измерения физических величин объектов естественного происхождения, параметров изделий и процессов при проведении экспериментальных исследований.

В условиях задачи *измерительного приемочного контроля* объекта по параметру, ограниченному одним предельным значением (сверху или снизу) по типу $R_{max} = 0,5$ мм или $L_{min} = 50$ мм,

норма исходной неопределенности измеряемой физической величины не установлена. В результате полнота информации недостаточна для априорного назначения допустимой погрешности измерений. Формально допустимая неопределенность (допуск T_Q) измеряемой величины, нормированной по типу A_{max} , равна

$$T_A = A_{max} - 0 = A_{max},$$

а измеряемой величины, нормированной по типу B_{min} равна

$$T_B = \infty - B_{min} = \infty,$$

что ни в одном случае не может рассматриваться как норма исходной неопределенности для назначения допустимой погрешности измерений с использованием традиционных соотношений.

Дополнительная информация может включать искусственно введенные ограничения параметров (норму неопределенности), например, назначают некоторый условный допуск параметра (нормирующий допуск T_{norm}) с полем допуска, ориентированным "внутри" параметра. После назначения допуска задача сводится к тривиальной:

$$[\Delta] \leq T_{norm}/3.$$

Нормирующий допуск параметра часто можно назначить по аналогии с допусками наиболее грубо ограниченных параметров аналогичного вида, например, для размеров деталей – с неуказанными допусками размеров, оговоренными общей записью в технических требованиях.

Можно также непосредственно предложить решения, логически обоснован-

ные иными причинами (доводами). Например, можно установить погрешность измерений из экономических соображений, затем принять ее за допустимую ($[\Delta] = \Delta_{\text{экон}}$). При этом контрольную границу смещают "внутрь" контролируемого параметра на ступеньку, равную выбранному значению допустимой погрешности $[\Delta]$. В результате контрольная граница параметра H_k устанавливается по типу:

$$H_k = Q_{\max} - \Delta, \text{ или } H_k = J_{\min} + \Delta.$$

При экономическом обосновании допустимой погрешности измерений в первую очередь следует учесть себестоимость измерений, а также стоимость потерь из-за неправильно забракованных годных объектов контроля. Очевидно, что чем дороже обходится ложный брак, тем меньше должна быть допустимая погрешность измерений. Строгая экономическая оценка в подобных ситуациях практически невозможна.

Еще один вид некорректно поставленных задач связан с *измерениями физических величин объектов естественного происхождения*, а также ненормированных искусственных величин. Оценка ненормируемой величины подразумевает использование измерительной информации для принятия управляющих решений, например: насколько тепло одеваться, можно ли положить некоторую массу случайно собранных объектов в пакет с ограниченной "грузоподъемностью", войдет ли объект в ограниченное пространство, и др.

Если в ходе подобных измерений осуществляют ориентировочную оценку ненормируемой физической величины, можно назначить практически любую допустимую погрешность в разумных пределах. В таком случае измерение, как

правило, осуществляют с произвольной погрешностью, которая реализуется с помощью первой доступной методики выполнения измерений. Реализуемую в процессе измерений погрешность принимают за допустимую. Формальное описание выбора допустимой погрешности измерений сводится к зависимости

$$[\Delta] = \Delta.$$

При необходимости уточняют задачу измерения, например: если результаты измерений приближаются к некоторым пороговым значениям, оценивают возможные последствия искажения значения измеряемой физической величины из-за реализуемых погрешностей измерений с разными значениями. Такую задачу иногда можно рассматривать как аналог измерительного приемочного контроля объекта по параметру, ограниченному одним предельным значением (сверху или снизу). Трансформация задачи возможна, если следует однозначно ответить на вопросы о переходе температуры за точку затвердевания жидкости (например, замерзания воды), о возможности установки объекта в ограниченное пространство, близкое к его габаритам, о применимости средства для измерений физической величины на границе диапазона и т.д.

Некорректными можно считать задачи измерений при проведении экспериментального *научного исследования*, когда необходимо выяснить пределы колебаний исследуемой физической величины или определить характер ее изменения при управляемом или контролируемом изменении аргументов в ходе исследования. Изменение исследуемой физической величины под воздействием управляемых факторов обычно имеет детерминированный характер, но наряду

с этим всегда включает стохастические составляющие характера.

При измерении параметра в процессе научного исследования допустимую погрешность измерений определяют исходя из конкретной цели исследований. А общая цель измерений при экспериментальном исследовании – настолько точно зафиксировать результаты измерений, чтобы различать детерминированные и стохастические изменения исследуемой физической величины.

Для получения некоторой точки исследуемой зависимости эксперимент многократно повторяют. Для повторных экспериментов характерно многократное воспроизведение номинально одинаковых физических величин, рассеяние которых обычно имеет стохастический характер, из-за нежелательных малых воздействий, не устранимых именно ввиду их малости. При этом рассеяние результатов эксперимента R , зафиксированных измерениями, складывается из рассеяния многократно воспроизводимой физической величины (R_Q) и удвоенной погрешности измерений 2Δ .

$$R = R_Q * 2\Delta,$$

где $*$ – знак объединения (комплексирования) членов уравнения, поскольку они могут складываться алгебраически, геометрически и т.д.

Частные задачи, решаемые в ходе исследований, могут состоять как в нахождении соотношения рассеяния результатов эксперимента и погрешности измерений (R и Δ), так и в определении количественных и качественных оценок рассеяния при многократном воспроизведении исследуемой физической величины.

При исследовании точности воспроизведения номинально одинаковых фи-

зических величин задачу можно ограничить оценкой малости размаха R_Q измеряемых физических величин. Примеры номинально одинаковых физических величин на одном объекте – толщина пластины, высота цилиндра и т.д., их «одинаковость» важна при исследовании точности техпроцесса. «Одинаковость» величин на множестве номинально одинаковых объектов (диаметры шариков в партии, присоединительные размеры колец для подшипника качения одного типоразмера, массы одинаковых деталей и др.) свидетельствует о стабильности техпроцесса.

Если при исследовании необходимо убедиться, что рассеяние параметра исследуемого объекта R_Q при его многократном воспроизведении не превышает некоторого заранее заданного значения R_{norm} , исходя из того, что

$$R' \leq R_Q + 2\Delta,$$

а также, что известны оценка погрешности измерения Δ и размах результатов измерений R' , можно определить оценку предельного значения R_Q :

$$R_Q = R' - 2\Delta,$$

и проверить соблюдение соотношения $R_Q \leq R_{norm}$.

Если анализ полученных в ходе исследований данных покажет, что $R' \approx 2\Delta$, это будет означать, что интересующее нас значение рассеяния исследуемого параметра объекта R_Q внесло пренебрежимо малый вклад в размах результатов измерений R' :

$$R_Q \ll 2\Delta.$$

Такая ситуация дает количественную оценку R_Q на уровне порядка, и если

она обеспечивает возможность применения полученных результатов и, тем самым достижение цели исследований, то можно принять

$$[\Delta] = \Delta.$$

Для повышения уровня определенности оценки R_Q следует существенно уменьшить значение погрешности измерения Δ так, чтобы добиться соотношения $R' \approx R_Q$, что формально можно записать как $2\Delta \approx 0$, или $\Delta \ll R_Q$.

Если в цели исследований входит выявление вида и числовых характеристик распределения исследуемой случайной величины, которое имеет стохастический характер (рассеяние экспериментальных результатов при многократном воспроизведении номинально одинаковых величин), необходимо построить гистограмму и полигон распределения исследуемой случайной величины. Для этого следует выявить реальное поле практического рассеяния (R_Q) многократно воспроизводимой физической величины. Однако, поскольку в ходе исследований мы фактически получаем оценку R' , которая отличается тем, что включает погрешность измерений Δ , значит, надо добиться, чтобы эта погрешность не оказывала значительного искажающего воздействия.

Для этого реализуют метод последовательных приближений, выбирая все более точные методики измерений $\Delta_2 < \Delta_1$, затем $\Delta_3 < \Delta_2$ и далее до Δ_n , пока не получат соотношение

$$\Delta_n \approx (1/10)R',$$

после чего Δ_n принимают за допустимое значение погрешности измерения:

$$[\Delta] = \Delta_n.$$

Если целью исследований является выявление характера и параметров изменения исследуемой физической величины при управляемом или контролируемом изменении аргументов в ходе исследования, необходимо поставить задачи измерений *множества разных величин*. Изменение исследуемой физической величины под воздействием управляемых факторов обычно имеет детерминированный характер, но наряду с этим всегда включает стохастические составляющие. Поэтому новая задача включает в себя предыдущую (оценка точности воспроизведения номинально одинаковых физических величин в каждой исследуемой точке) и вторую задачу – различение отдельных измеряемых величин для построения исследуемой зависимости.

Искомое детерминированное изменение исследуемой физической величины под воздействием управляемых факторов может быть непрерывным либо дискретным, явно выраженным либо малозаметным, что сказывается на постановке конкретной измерительной задачи. В любом случае при исследовании детерминированного изменения величины необходимо назначить такую допустимую погрешность измерений, которая была бы пренебрежимо мала по сравнению с исследуемым изменением величины (ε_Q):

$$[\Delta] \ll \varepsilon_Q.$$

К требуемому соотношению, как и в предыдущем случае, приходят методом последовательных приближений, при необходимости выбирая очередную МВИ с меньшими погрешностями по сравнению с предыдущей: $\Delta_1 > \Delta_2 > \Delta_3 \dots > \Delta_n$, после чего Δ_n принимают за допустимое значение погрешности измерения.

При исследовании характера изменения величины под действием управляемого аргумента можно добиться желаемого соотношения, увеличивая диапазон изменений исследуемой величины. При этом точность измерений может быть не слишком высокой, но приходится компенсировать начальную неопределенность информации увеличением числа экспериментов, расширением их диапазона и т.д.

При исследовании детерминированного дискретного изменения физической величины под действием контролируемых переменных аргументов необходимо назначить такую допустимую погрешность измерений, которая была бы значительно меньше шага изменения исследуемой величины (ε_{IQ}):

$$[\Delta] \leq \varepsilon_{IQ}/3.$$

Аналогичное решение предлагалось для задачи идентификации номинального значения параметра, принадлежащего известному ряду значений. Некорректность новой задачи заключается в отсутствии детерминированной исходной неопределенности, поскольку значение дискретного изменения неизвестно и его надо определить в ходе исследований.

Подводя итог рассмотрению примеров назначения (выбора) допустимой погрешности измерения, можно отметить, что для каждой из поставленных задач он имеет свои особенности и всегда основан на определении значения погрешности, пренебрежимо мало влияющей на результат измерения.