

2 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Понятие методики исследования

Методика – это совокупность подходов, способов и приемов проведения научных исследований. Она отвечает на вопрос: как и каким образом проводить исследование.

Методика, которая относится ко всему исследованию и представляет стержневые способы и приемы, проходящие через все исследование, называется *общей методикой*. Для отдельных опытов могут потребоваться специфические способы исследования. В таких случаях разрабатываются *частные методики*. Методика исследований определяет оборудование, приборы, количество опытов (повторностей), план работы, затраты времени и средств. Правильная методика – залог успеха исследования.

Приборное обеспечение исследования

Задачей научного исследования является установление закономерности развития изучаемого явления. При этом мы ищем связи, лежащие в основе их развития. Для большинства технических исследований закономерности представлены величинами, полученными в результате измерений.

В общем случае *измерение* – это последовательность экспериментальных и вычислительных операций, осуществляемая с целью нахождения физической величины, характеризующей некоторый объект или явление. В более узком смысле измерение – есть сравнение изучаемой величины с ее значением, принятым за единицу. Измерение завершается оценкой его погрешностей.

Измерения классифицируются:

по признаку *количество однотипных измерений* - на разовые (однократные) и многократные (неоднократные). Последние, в свою очередь, делятся на равноточные, неравноточные, дискретные, непрерывные;

по признаку *отношение к измеряемой величине* - на прямые (непосредственные) и косвенные (опосредованные);

по признаку *связь измерений* - на синхронные (по времени или по пути) и несинхронные.

Измеряемые величины, а также основные инструменты и приборы для измерений, используемые в исследованиях по механизации сельского хозяйства приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Контролируемые величины и аппаратура для их измерения

Определяемые величины	Аппаратура
Геометрические: длина, высота, глубина, ширина, углы, профили, площади, объемы	Мерительные ленты, линейки, щупы, штангенинструменты; светодальномеры, микрометры, нутромеры, глубиномеры, миниметры, оптиметры, интерферометры, индикаторы, проекторы, микроскопы, пневматические и электрические измерительные приборы; планиметры, профилометры, тензометры; счетчики объемов, уровнемеры, расходомеры; специальные датчики и регистрирующие устройства.
Кинематические: скорость, ускорение, колебания, повторяемое движение	Измерители пути, углов поворота, времени, линейной и угловой скоростей; стробоскопы, тахометры, счетчики оборотов; ускорениемеры; частотомеры и амплитудомеры; специальные датчики и регистрирующие устройства.
Динамические: масса, импульс, сила, работа, момент, мощность	Весы, динамометры, тормозные устройства, манометры, барометры, индикаторы, работомеры; специальные датчики и регистрирующие устройства.

Продолжение таблицы 2.1

Определяемые величины	Аппаратура
Некоторые другие величины: время, световые величины, цвет, температура; электрические, химические и структурные свойства твердых, жидких и газообразных тел; излучение; звуковые величины	Часы, секундомеры, вибрационные и электронные устройства; фотометры, дымомеры, люксметры; калориметры, хроматографы, спектрометры; термометры, термоэлементы, пирометры, омметры, вольтметры, амперметры, ваттметры, гальванометры, газоанализаторы, полярографы, почвенные плотнометры, твердомеры (Бринеля, Роквелла), вискозиметры, пенетрометры, оптические микроскопы, электронный микроскоп, ультразвуковые приборы, радиометрическая аппаратура (счетчики, камеры, приемники со счетными устройствами и автоматической записью); шумомеры, детономеры, звукоанализаторы.

Чем глубже техническое исследование, чем большие проблемы оно решает, тем совершеннее и точнее должны быть способы измерений и измерительная аппаратура. Большую часть перечисленной аппаратуры производит промышленность, но для специфических измерений исследователь должен сам конструировать приборы, используя в готовом виде лишь отдельные узлы заводских приборов. Основные тенденции в развитии способов измерения: повышение точности измерений, применение бесконтактных приборов, регистрация непрерывно изменяющихся величин, применение приборов с такими значениями сил трения, которыми можно пренебречь, уменьшение затрат времени и труда на выполнение измерений.

Прежде чем рассмотреть вопрос выбора приборов для исследования напомним ранее уже высказанное положение об ошибках (погрешностях) измерений. Под ошибками (погрешностями) измерений понимают отклонение результатов измерений от истинных значений измеряемых величин. Различают систематические, случайные и грубые погрешности (ошибки) измерений. Систематические ошибки обусловлены главным образом погрешностями средств измерений и несовершенством методов измерений. Влияние систематических ошибок стремятся уменьшить внесением поправок или умножением показаний приборов на поправочный коэффициент. Случайные ошибки обусловлены рядом не контролируемых обстоятельств. Оценки случайных ошибок осуществляются методами математической статистики. Уменьшить их можно увеличением количества повторностей. Грубые погрешности (ошибки) измерений, называемые также промахами обусловлены неисправностью средств измерений, неправильным отчетом показаний. При обработке результатов измерений промахи отбрасываются (если причина установлена) или выбраковываются статистическими методами.

2.2 Ошибки средств измерения

Под ошибкой понимается отклонение метрологических свойств или параметров средств измерения от номинальных значений, влияющих на погрешность результатов измерений получаемых при помощи этих средств.

Составляющие этих погрешностей, зависящие от средств измерения называются инструментальными ошибками. Они выражаются в форме абсолютных ошибок

$$\Delta = X - a \approx a_{\text{обр}} - a, \quad (2.1)$$

где Δ – ошибка;

X – истинное значение измеряемой величины;

a – показание прибора;

$a_{\text{обр}}$ – показание эталонного прибора.

или относительных или приведенных (в процентах от верхнего предела измерений, в долях или единицах измеряемой величины).

$$\Delta_1 = \pm \frac{\Delta}{X} \quad \text{или} \quad \Delta_2 = \pm \frac{\Delta}{X} \cdot 100\%. \quad (2.2)$$

К последнему типу ошибок можно отнести и предельную ошибку, под которой понимают случайную наибольшую ошибку при правильном пользовании исправным прибором.

$$X = a \pm \Delta_{\text{пр}}. \quad (2.3)$$

Зная предельную абсолютную ошибку $\Delta_{\text{пр}}$ можно вычислить предельную относительную ошибку. Чем больше значение измеряемой величины, тем меньше относительная ошибка, поэтому относительную предельную ошибку в справочниках обычно относят к наибольшему значению величины, которое можно получить при измерениях данным прибором. Погрешности средств измерения при нормальных условиях применения прибора называются основными. Те же, что вызваны отклонением условий работы от нормальных – дополнительными погрешностями. Для каждого типа прибора устанавливаются пределы допустимых погрешностей в соответствии с классом точности прибора.

Класс точности

Класс точности - это обобщенная характеристика средств измерений, служащая показателем, установленных для них Госстандартом пределов основной и дополнительной погрешностей. Введение классов точности облегчает стандартизацию средств измерений. Существующие обозначения класса точности – способ выражения пределов допустимых погрешностей. Если пределы погрешностей даны в виде приведенной погрешности, т. е. в процентах от верхнего предела измерений, диапазона измерений или длины шкалы прибора,

а также в виде относительной погрешности, т. е. в процентах от действительного значения величины, то класс точности обозначают числом, соответствующим значению основной погрешности. Например, класс точности 0,1 соответствует основной погрешности 0,1 % таблица 2.2.

Таблица 2.2 Предельные ошибки при различных способах измерений

Способ измерения, инструмент, прибор	Предельная ошибка в % к верхнему (наибольшему) пределу измерений
Стальная 20-метровая лента	0,20 – 0,30
Планиметры линейные и полярные	0,40 – 0,70
Интерферометры	1,00 – 10,00
Угломеры оптические	0,5 – 2,00
Светодальномеры	0,01 – 0,02
Тахометры центробежные	0,40 – 2,50
Стробоскопы	0,10 – 1,00
Ртутные манометры	1,00 – 2,50
Весы:	
торговые и автомобильные	0,80 – 1,20
технические	0,10 – 0,20
аналитические	0,0001 – 0,01
Динамометры тяговые:	
пружинные	1,00 – 3,50
гидравлические	0,70 – 2,00
электрические (датчики без усилителя)	0,20 – 0,50
Тормоза:	
балансирные	0,40 – 1,00
гидравлические	1,50 – 2,50
пневматические	1,50 – 4,00

Продолжение таблицы 2.2

Способ измерения, инструмент, прибор	Предельная ошибка в % к верхнему (наибольшему) пределу измере- ний
Фотоэлектрические датчики	0,40 – 2,00
Стандартные секундомеры	0,40 – 0,70
Термопары (без усилителя)	0,50 – 2,50
Фотометры	0,05 – 2,00
Спектрометры	0,50 – 5,00
Газоанализаторы с поглощением	0,50 – 5,00
Хроматографические газоанализаторы	0,80 – 2,00
Дифференциальные калориметры	0,01 – 1,00
Стандартные вискозиметры	1,00 – 4,00
Ртутные технические термометры	0,30 – 2,00
Полупроводниковые термометры	0,10 – 1,00
Твердомеры ударного действия	7,00 – 15,00
Запись осциллографом при усилении	1,50 – 4,50
Магнитофонная запись при частотной модуляции	2,00 – 5,00
Пневматические и масляные калибраторы	1,00 – 8,00

Многие показывающие приборы - амперметры, манометры и др. нормируются по приведенной погрешности, выраженной в процентах от верхнего предела измерений. В таких случаях применяется ряд 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. При нормировании по относительной погрешности обозначение класса точности заключают в кружок. Для гирь, мер длины и приборов, для которых предел погрешностей выражают в единицах измеряемой величины, класс точности

принято обозначать номером: 1-й, 2-ой и т. д. – в порядке снижения.

Понятие точности измерений

Точность измерений есть характеристика качества измерения, отражающая степень близости результатов измерений к истинному значению измеряемой величины. Чем меньше результат измерения отличается от истинного значения измеряемой величины, то есть чем меньше погрешность, тем выше точность измерений независимо от того является ли погрешность систематической, случайной или содержит ту и другую составляющую. Иногда в качестве количественной оценки точности измерений указывают погрешность. Однако погрешность - понятие, противоположное точности и логичнее в качестве оценки точности измерений указывать обратную величину относительной погрешности (без учета ее знака). Пример: если относительная погрешность равна $\pm 10^{-5}$, то точность равна 10^5 .

Точность разовых измерений оценивают только по предельной ошибке. При неоднократных измерениях до их начала следует пользоваться предельной ошибкой (для подбора аппаратуры и представления о возможностях измерения) а после измерений оценивать их точность по наибольшей возможной статистической ошибке.

Понятие точности опыта

Под опытом следует подразумевать совокупность разовых измерений различных величин в одних и тех же условиях. Например, урожайность. Чтобы определить урожайность нужно выполнить два прямых измерения: определить массу зерна с делянки путем ее взвешивания на весах и определить площадь делянки, замерив ее рулеткой, и одно косвенное (опосредованное) измерение - деление массы на площадь.

Таким образом, в случае, когда опыт состоит из нескольких качественно различных измерений-аргументов, каждое из которых дает какую-то ошибку, то точность опыта оценивают на основании предельной (наибольшей) ошибки опыта. Предельную относительную ошибку опыта обычно вычисляют на основании следующих правил:

1. Ошибка суммы заключена между наибольшей и наименьшей из относительных ошибок слагаемых. Практически берут или наибольшую относительную ошибку, или среднюю арифметическую.

2. Ошибка произведения или частного деления равна сумме относительных ошибок сомножителей или соответственно делимого и частного.

3. Ошибка n -ой степени какого-либо основания (значения величины) в n раз больше относительной ошибки основания.

4. Ошибка синуса и косинуса равна произведению абсолютного значения котангенса измеренного угла или соответственно тангенса на предельную абсолютную ошибку угла, выраженную в радианах.

5. Ошибка тангенса и котангенса равна частному от деления двойной абсолютной ошибки угла (в радианах на синус двойного угла). Во всех случаях установления точности опыта точность вычислений результата должна определяться точностью измерений.

Определение ошибок функции по ошибкам аргументов

В большинстве случаев технических исследований приходится непосредственно измерять не искомую величину, а некоторые другие величины, связанные с ней известными математическими соотношениями (формулами, которые определяются законами данного явления, и дают возможность из результатов непосредственных измерений вычислить искомую величину, не производя ее измерений). В таких случаях оказывается, что ошибка получаемого значения

искомой величины зависит не только от ошибок, допущенных при непосредственных измерениях, но и от вида той формы, которая связывает искомую величину с величинами непосредственно измеренными. Известно, что предельную относительную ошибку можно вычислить по формуле:

$$\frac{\Delta_{\Pi}(\mathbf{a})}{\mathbf{a}} = \pm d[\ln f(\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{w})]. \quad (2.4)$$

где определяемая величина (\mathbf{a}) является функцией переменных ($\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{w}$), то есть предельная относительная ошибка величины \mathbf{a} равна дифференциалу ее натурального логарифма, причем следует брать сумму абсолютных значений всех членов такого выражения.

Пример: Коэффициент внутреннего трения жидкости η определяется методом капиллярной трубки. Для вычисления η применяется формула Пуазейля

$$\eta = \frac{\pi p r^4 t}{8 l v}. \quad (2.5)$$

где p – давление, под которым находится жидкость;

r - радиус капилляра;

l - его длина;

t - время, в течение которого вытекает жидкость;

v - объем жидкости.

Значения этих величин и ошибки их измерений приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 Абсолютные и относительные ошибки измерений

Измеряемая величина	Приближенное значение	Абсолютная ошибка наблюдений	Относительная ошибка
p	20 мм рт. ст.	$\pm 0,1$ мм рт. ст.	0,0005
r	1 мм	$\pm 0,01$ мм	0,01
l	10 см	$\pm 0,1$ мм	0,001
t	25 с	$\pm 0,1$ с	0,004
v	5 см ³	± 1 мм ³	0,0002

По этим данным требуется вычислить относительную ошибку в определении η . Логарифмируя (2.5) имеем

$$\ln \eta = \ln \pi + \ln p + 4 \ln r + \ln t - \ln 8 - \ln l - \ln v, \quad (2.6)$$

Берем дифференциал этого выражения:

$$d \ln \eta = d \ln p + 4 d \ln r + d \ln t - d \ln l - d \ln v. \quad (2.7)$$

Выполняя дифференцирование (учитывая, что производная функции $y = f \ln x = \frac{1}{x}$) в правой части берем сумму абсолютных значений всех членов (все ошибки складываются). После преобразований имеем

$$\frac{d\eta}{\eta} = \frac{dp}{p} + 4 \frac{dr}{r} + \frac{dt}{t} + \frac{dl}{l} + \frac{dv}{v}, \quad (2.8)$$

Подставляя в правую часть этого выражения, найденные выше относительные ошибки всех измерений, получаем

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \pm(0,0005 + 4 \cdot 0,01 + 0,001 + 0,004 + 0,0002),$$

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \pm 0,0457 \text{ или } \frac{\Delta \eta}{\eta} = \pm 4,6\%.$$

В данном случае мы видим, что наибольшее влияние на ошибку результата оказывает ошибка в измерении радиуса капилляра r . Желая повысить точность определения коэффициента внутреннего трения опытным методом, следует, прежде всего, уменьшить ошибку в измерении r .

Выбор количества опытов рассмотрим после изучения основных положений математической статистики.

2.3 Определение затрат времени на исследования

Вначале устанавливают количество основных факторов и подбирают аппаратуру, устанавливают количество серий опытов m . Под серией подразумевается группа опытов,

проводимых при изменении значений одного или нескольких одновременно регистрируемых факторов.

Количество серий опытов определяется по формуле

$$\mathbf{m} = \frac{\mathbf{n}_{\phi_0}}{\mathbf{n}_{\phi_c}}, \quad (2.9)$$

где \mathbf{m} - количество серий опытов;

\mathbf{n}_{ϕ_0} - количество основных факторов;

\mathbf{n}_{ϕ_c} - количество синхронно или одновременно регистрируемых факторов.

Общее количество опытов составит:

$$\mathbf{N}_{oi} = \sum_{i=1}^{i=m} \mathbf{p}_i \mathbf{n}_{oi} \mathbf{z}_i, \quad (2.10)$$

где \mathbf{p}_i - повторность опыта;

\mathbf{n}_{oi} - число опытов в i -серии при изменении одного из основных факторов;

\mathbf{z}_i - число градаций других основных факторов.

При этом общее количество измерений составляет:

$$\mathbf{N}_u = \sum_{i=1}^{i=m} \mathbf{p}_i \mathbf{n}_{oi} \mathbf{z}_i \mathbf{q}_i, \quad (2.11)$$

где \mathbf{q}_i - количество измерений в каждом опыте i -ой серии.

Затраты времени на опыты определяются из выражения

$$\mathbf{T}_u = \sum_{i=1}^{i=m} \mathbf{p}_i \mathbf{n}_{oi} \mathbf{z}_i \mathbf{t}_i, \quad (2.12)$$

где \mathbf{t}_i - время проведения опыта.

Трудоемкость опытов определяют как произведение времени затрачиваемого на сам опыт на количество работников η_p занятых в опыте:

$$\Omega_n = \sum_{i=1}^{i=m} (\eta_p \mathbf{t}_i \mathbf{p}_i \mathbf{n}_{oi} \mathbf{z}_i), \text{ чел/час.} \quad (2.13)$$

Фактический срок проведения исследования должен включать еще время на подготовку опытов. Практика показывает, что подготовка опытов требует примерно столько же времени, сколько и сами опыты, а иногда и больше.