1. ЛЕСОТАКСАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ИНСТРУМЕНТЫ

В настоящее время существует два подхода к измерительному процессу: классический и информационный. В большинстве задач лесного дела выполняют основные предпосылки классического подхода:

1) измеряемая величина предполагается неизменной на протяжении времени измерений и характеризуется одним (точечным) значением, для которого можно указать интервал неопределенности, т. е. ошибку измерений;

2) время измерения практически не ограничено;

3) предполагается, что внешние условия и факторы, влияющие на результат измерения, учтены полностью [13].

2.1. Измерительные шкалы, системы измерений и принципы измерений

Измерения, выраженные числом, относятся к одной из 4 измерительных шкал [2]:

1) номинальная шкала – применяется тогда, когда признаки (идентичные) подсчитывают без оценки их качественного значения. Например, число типов леса подсчитываем на плане лесонасаждений, число деревьев определенной породы считаем без измерения их диаметров, высот и т. д. При обработке можно использовать статистики – моду, χ^2 – квадрат Пирсона;

2) порядковая шкала – признаки группируются по порядку в систему или ряд. Интервалы такой шкалы, как правило, неравные. Например, сортировка бревен, сортиментов, классификация качественных признаков растущих деревьев и т. д. При обработке таких данных ни среднее значение, ни среднеквадратическое отклонение не могут характеризовать совокупность. Допустимые статистики: мода (наибольшая частота), медиана (средняя), χ^2 – квадрат (различия), коэффициент ранговой корреляции;

3) интервальная шкала – предусматривает равные интервалы. Начало отсчета не находится на нуле, но более или менее фиксировано. Это различные температурные шкалы, разделение процесса по времени, на дни, недели, месяцы, годы. Интервальная шкала определяет истинное количество, поэтому при обработке допустимо применение средней, варианты, коэффициента корреляции;

4) шкала отношений – имеет равные интервалы и начало – нуль. Фундаментальные измерительные системы для длины, веса, времени и получаемые от них объемы, запасы, абсолютная температура, влажность основываются на данной шкале. В лесной таксации мы в основном имеем дело со шкалой отношений. Допустимо применение различных статистик для оценки показателей.

Непосредственно измеряемыми являются только 3 измерения: длина, вес (физическая масса), время.

Остальные данные (площадь, объем и т. д.) получаются на основе этих трех основных измерений, например $1м^3$ – длина $1 \times 1 \times 1$ м (т. е. остальные – производные).

В истории человечества применялись различные единицы измерения. В настоящее время в мире используются две системы измерений: а) метрическая; б) британская система (в странах, использующих английский язык).

В то время как лесное хозяйство многих стран применяет метрическую систему (1 м, 1 м^3 и т. д.), лесная торговля США, Англии и даже в Центральной Европе используют Британскую систему (дюйм, фут и т. д.).

Метрическая система принята в СССР в 1926 г., в Индии – в 1960 г., в Англии в последнее 20-тилетие переводятся таксационные таблицы в метрическую систему. Соотношение метрической и британской систем измерений представлено в таблице.

Таблица

Соотношение метрической и британской систем измерений

Таксационные показатели	Британская система	Метрическая система
Диаметр дерева	1 дюйм	2,54 см
Высота дерева	1 фут	30,48 см
Длина	1 ярд	91,44 см
Длина	1 миля	1,6 093 км
Площадь	1 акр	0,40 469 га
Запас, объем	1 куб фут	0,0 283 м^3
Объем	1 куб. ярд	0,7 645 м^3

В метрологии с давних пор принято различать прямые, косвенные и совокупные измерения. Подобное различие принято и в лесной таксации (Н. П. Анучин, 1982).

При ***прямом измерении*** результат получается непосредственно в процессе измерения: измерение диаметров, высот деревьев и т. д. При ***косвенном*** – результат, который получается на основании известной зависимости между измеряемой величиной и величинами – аргументами. Последние находят в результате прямых, а иногда косвенных или совокупных измерений. Например, запас древостоя непосредственно измерить нельзя, а его можно оценить косвенно:

$$M = GHF, \qquad (2.1)$$

где M – запас древостоя, м^3; G – сумма площадей сечений древостоя, м^2; HF – видовая высота древостоя, м.

При ***совокупных измерениях*** результат находят путем решения системы уравнений, коэффициенты в которых получены обычно прямыми измерениями. В последнее время совокупные измерения делят на:

1) *на собственно совокупные* – одновременно измеряют несколько одноименных величин (диаметры на относительных высотах – результат – сбег ствола);

2) *совместные* – измеряют несколько разноименных величин – диаметры, высоты по стволу, результат – выход сортиментов.

Совместные измерения основываются на известных уравнениях, отражающих существующие в природе связи между свойствами объектов (величинами), а совокупные – на уравнениях, отражающих произвольное комбинирование объектов с измеряемыми свойствами. Поэтому совместные измерения можно рассматривать как обобщение косвенных, а совокупные – обобщение прямых измерений.

Примером совместного измерения может быть определение объема ствола срубленного дерева по сложной формуле среднего сечения:

$$V = l(\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + ... + \gamma_n) + \gamma_{вер}. \qquad (2.2)$$

2.2. Лесотаксационные приборы и инструменты

2.2.1. Мерные вилки. Толщина стволов или его частей, а также заготовленных круглых сортиментов измеряется мерной вилкой, реже – складным метром.

Современные электронные мерные вилки Mantax Digitech и Mantax Computer Caliper – электронные мерные вилки, повышающие эффективность работы благодаря точному автоматическому считыванию величин со шкалы, которые отображаются на экране и могут передаваться в карманный компьютер (рис. 2.2).

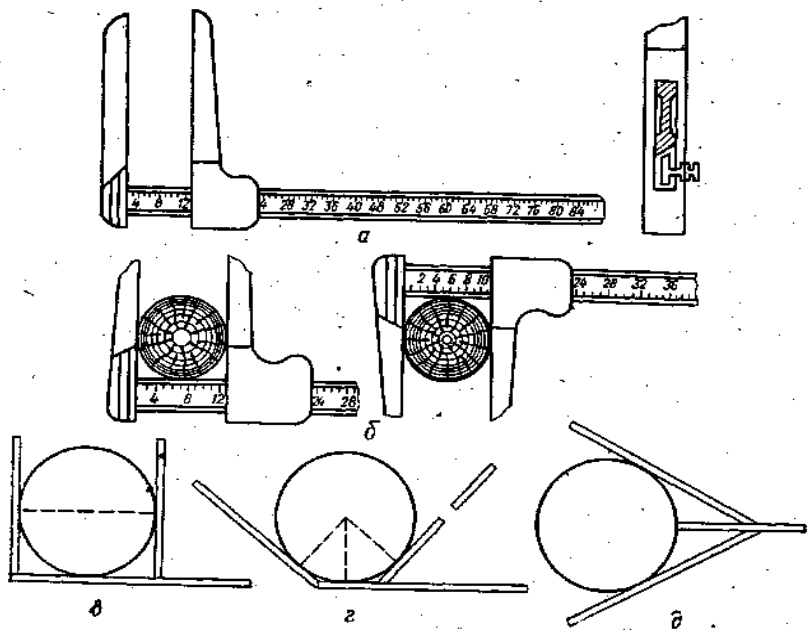

Рис. 2.1. Мерные вилки:
а – общий вид; *б* – измерение диаметра при различных положениях вилки; *в, г, д* – типы мерных вилок

Рис. 2.2. Мерные вилки Mantax Digitech

и Mantax Computer Caliper

Возможность установки в мерную вилку-компьютер различного программного обеспечения позволяет эффективно решать различные задачи. Вилка-компьютер рассчитана на совместное использование с другими электронными полевыми инструментами: приемником сиг-налов GPS и высотомером для определения положения в пространстве и измерения высоты дерева соответственно. Подключение к обычно-му компьютеру позволяет вести дальнейшую обработку и хранение данных на компьютере, возможно также прямое подключение мерной вилки к принтеру или модему.

Толщину круглых сортиментов измеряют преимущественно в тонком верхнем конце (торце) мерной скобой (рис. 2.3) или рулеткой.

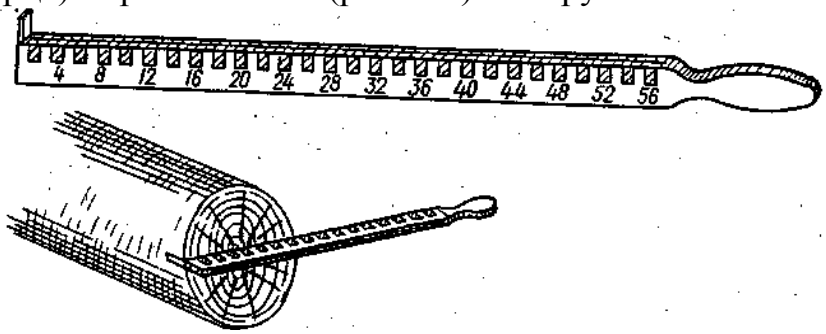

Рис. 2.3. Мерная скоба и обмер ею диаметров бревен

Определение толщины ствола на разных высотах, недоступных для непосредственного измерения на расстоянии, производится дендрометрами различных конструкций.

2.2.2. Высотомеры. При таксации деревьев на корню необходимо измерять как их общую высоту *H*, так и высоту частей. Для этого применяются специальные приборы – высотомеры, конструкция которых основана на тригонометрическом, геометрическом или оптическом принципах (В. К. Захаров, 1967; Н. П. Анучин, 1982) [1, 6, 7].

Портативен и удобен в работе построенный на тригонометрическом принципе маятниковый высотомер Макарова (рис. 2.4).

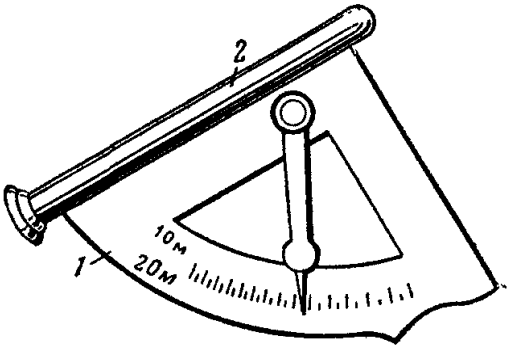

Рис. 2.4. Общий вид высотомера Макарова

Если дерево расположено на наклонной поверхности, то отмерив базис по горизонтальному положению 10 или 20 м, визируют на вершину дерева и

делают отсчет согласно указаниям маятника, затем визируют на основание дерева, повернув высотомер на 180°.

Оба отсчета складывают и получают высоту дерева, не делая добавок на высоту глаза наблюдателя.

Если дерево находится на возвышенности, измеряют базис по горизонтальному положению до основания дерева, визируют вначале на его вершину, а затем на основание. Разность отсчетов дает высоту дерева без добавок на высоту глаза наблюдателя.

На геометрическом принципе построены высотомеры нескольких конструкций: зеркальный высотомер (рис. 2.5), высотомер Вейзе (рис. 2.6), безбазисный высотомер Христена и др. На этом же принципе основано использование мерной вилки в качестве высотомера (рис. 2.7).

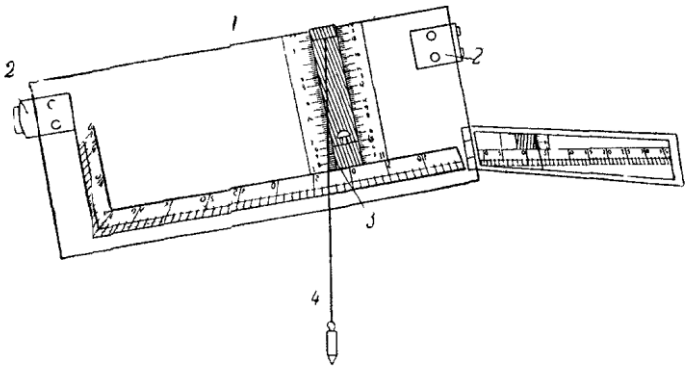

Рис. 2.5. Общий вид зеркального высотомера

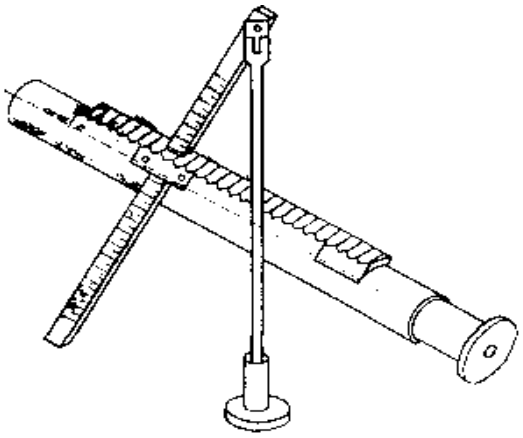

Рис. 2.6. Высотомер Вейзе

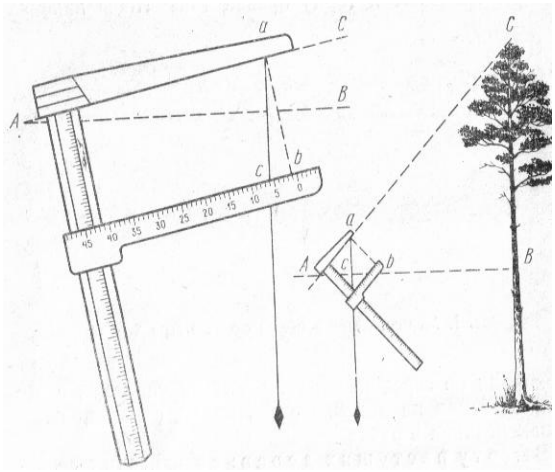

Рис. 2.7. Использование мерной вилки

Теоретическое обоснование высотомера Христена (рис. 2.8) базируется на подобии двух пар треугольников. Преимущества высотомера Христена: а) не требует измерения базиса; б) позволяет с одного положения измерять высоты многих деревьев; в) дает возможность определять высоты как на горизонтальной, так и на пониженной и повышенной поверхностях без дополнительных вычислений; г) почти вдвое экономится.

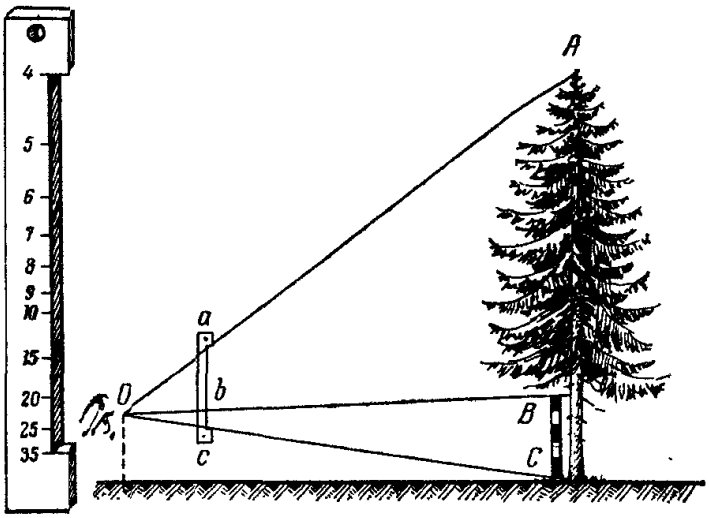

Рис. 2.8. Схема измерения высоты дерева с использованием безбазисного высотомера Христена

Современные зарубежные высотомеры Haglof Electronic Clino-meter, Suunto PM-5/1520, Vertex III – это электронные высотомеры профессионального уровня, позволяющие измерять расстояния, высоты и углы, не придерживаясь фиксированного расстояния до объекта (рис. 2.9).

Рис. 2.9. Высотомеры Haflof Electronic Clinometer (HEC), Suunto PM-5 и Vertex

2.2.3. Полнотомеры. Полнотомер В. Биттерлиха представляет линейку длиной 1 м и прицел 2 см (могут быть и другие конструкции, но соотношение выреза на прицельной рамке к длине бруска составляет $a : b = 1 : 50$ (рис. 2.10). При работе с прибором закладываются реласкопические пробные площади, радиус которых увеличивается с увеличением диаметра деревьев.

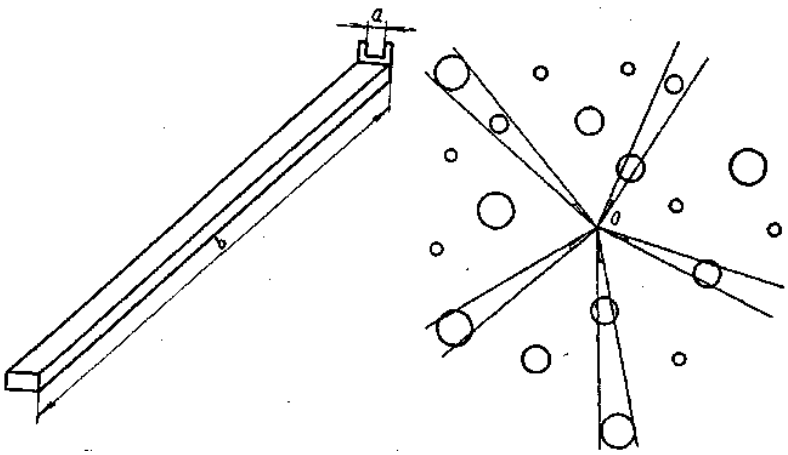

Рис. 2.10. Прибор В. Биттерлиха (Winkelzahlprobe):
слева – схема прибора; справа – определение суммы площадей сечений

Из отсчетов, полученных в нескольких кругах, закладываемых в разных частях таксируемого насаждения, устанавливают среднеарифметическое число деревьев N:

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \ldots + N_n}{n}, \tag{2.3}$$

где n – количество деревьев.

Количество учтенных деревьев равно сумме площадей поперечных сечений Σg всех деревьев, имеющихся на 1 га таксируемого древостоя, выраженной в квадратных метрах ($N = \Sigma g$).

Н. П. Анучин в 1982 г. создал таксационный прицел с прозрачной клиновидной призмой, при работе с ним учитываются деревья со сдвигом изображения менее диаметра ствола.

2.2.4. Приростной и возрастной бурава. Приростной бурав Пресслера (рис. 2.11) предназначен для исследования роста и состояния деревьев. Для этого из ствола растущего дерева высверливают кусочки древесины в виде цилиндриков (кернов). Исследование кернов, полученных при бурении деревьев, позволяет определить их возраст и радиальный прирост, влияние загрязнителей, удобрений, повреждений и других внешних воздействий.

Рис. 2.11. Приростной бурав фирмы Halgof

2.3. Ошибки измерений

При получении и обработке лесоводственной информации возможны следующие ошибки (К. Е. Никитин, А. З. Швиденко, 1978):

1) наблюдений и измерений;

2) инструментов и приборов;

3) моделирования;

4) вычислительных операций [13].

Любые наблюдения и измерения могут содержать определенную точность и соответствующую ошибку, так как истинного значения измеряемой величины мы не может точно знать.

Ошибки измерений и наблюдений, можно подразделить на следующие виды:

1) грубые ошибки – обычно неверная запись результата; контроль – повторная проверка записи другими исполнителями;

2) систематические ошибки всегда имеют один знак: «плюс» (в случае преувеличения) или «минус» (в случае преуменьшения). Они могут быть вызваны неисправностью прибора, неверным справочным материалом, недостатком метода, несоответствием математической модели и т. д. Так, если мерная вилка имеет большой люфт, то диаметры деревьев занижаются; разорванная и склепанная мерная лента дает завышенную длину линий; простая формула срединного сечения (формула Губера) занижает объем стволов и т. д. Систематические ошибки постоянной величины дают смещение, значение которого увеличивается с увеличением числа измерений (ошибки аккумулируются непрерывно). Систематическую ошибку можно исправить, внеся в результаты измерений или вычислений соответствующую поправку;

3) случайные ошибки неизбежны и чаще всего неустранимы. Они порождаются многочисленными факторами и присутствуют всегда, даже при очень точных измерениях. Случайные ошибки установить в каждом отдельном случае трудно, поэтому они учитываются только в среднем. При этом следует иметь в виду: ошибки с разными знаками равновероятны; при большом числе наблюдений сумма случайных ошибок приближается к нулю; большие ошибки встречаются реже, чем малые, и тем реже, чем они больше; чем меньше отклоняются значения отдельных измерений друг от друга, тем точнее среднее арифметические и тем ближе оно к истинному среднему.

Ошибки или отклонения измерений и вычислений x определяют по формуле:

$$x = M_{\text{ср}} - M_i, \tag{2.4}$$

где $M_{\text{ср}}$ – среднее значение показателя; M_i – измеренное значение.

Случайные ошибки характеризуются так называемым среднеквадратическим отклонением, которое может определяться для малого (формула 2.5) и большого (формула 2.6) числа наблюдений по соответствующим формулам:

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}; \tag{2.5}$$

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{\sum x^2}{n}}; \tag{2.6}$$

где n – число наблюдений.

Для оценки точности определяется также средняя ошибка m среднеарифметической величины по формуле

$$m = \pm\frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \tag{2.7}$$

Приведенные формулы имеют большое практическое значение, так как, зная среднеквадратическое отклонение и задаваясь определенной точностью, можно определить число необходимых наблюдений, которое равно:

$$n = \pm\frac{\sigma^2}{m^2}. \tag{2.8}$$