Н. П. Анучин

ЛЕСНАЯ ТАКСАЦИЯ

ИЗДАНИЕ 5-Е, ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов лесохозяйственных и лесоинженерных специальностей вузов

МОСКВА
«ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»
1982

УДК 630*5 (075.8)

Анучин Н. П. Лесная таксация: Учебник для вузов.— 5-е изд., доп.— М.: Лесн. пром-сть, 1982.— 552 с.

Четвертое издание учебника вышло в свет в 1977 г. В пятом издании отражены достижения в области таксационной техники, происшедшие за истекшее время. Большое внимание уделено установлению точности отдельных таксационных методов и выявлению их производственного значения. Рассматриваются таксационные измерения и приборы, способы лесной таксации, таксация растущих деревьев при помощи объемных таблиц, таксация насаждений, а также таксация древесного прироста, перечислительная и выборочная таксация леса. Описываются сортиментация леса, таксация лесных массивов и лесного фонда.

Для студентов и аспирантов лесотехнических вузов. Табл. 75, ил. 118, библиогр.— 45 назв.

Рецензент *д-р с.-х наук И. И. Гусев* (Архангельский лесотехнический институт)

А $\frac{3901000000-097}{037(01)-82}$ 1—82

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года», принятые XXVI съездом КПСС, предусматривают постепенный переход к ведению лесного хозяйства на принципах непрерывного и рационального лесопользования, улучшение качественного состава лесов и более полное использование лесосырьевых ресурсов в европейской части страны без ущерба окружающей среде.

При решении поставленных задач необходимо располагать информацией о наших лесах, их породном составе, древесных запасах, возрастном распределении древостоев, динамике роста и других биологических и технических характеристиках. Такого рода информацию о лесах получают при проведении в натуре лесоучетных работ. Согласно «Основам лесного законодательства Союза ССР и союзных республик», утвержденным в 1977 г. Верховным Советом СССР, лесоучетные работы являются государственным мероприятием, подлежащим проведению по единой системе для всех лесов Советского Союза. Методы их осуществления рассматриваются в курсе лесной таксации.

В цикле лесохозяйственных знаний лесная таксация — одна из профилирующих дисциплин. В последние десятилетия в теории и практике лесной таксации достигнут значительный прогресс. Визуальная оценка леса стала сочетаться с массовыми таксационными измерениями. Описательные характеристики леса заменяются числовыми выражениями. При таксационных измерениях используют новые, более совершенные приборы и инструменты, позволяющие находить таксационные величины при незначительной затрате труда.

Одним из главных достижений в области лесных измерений является разработка прицельного, или углового, метода определения площади оснований деревьев, образующих отдельные древостои. Названный таксационный показатель находят прицельным методом — путем косвенного измерения, выполняемого полуавтоматическим способом.

Участки леса, выделяемые в процессе его таксации, представляют собой множества деревьев, варьирующих в своих размерах и находящихся в сложной взаимосвязи. Рассматривая их как статистические совокупности взаимодействующих объектов, можно для их познания применить теорию множеств, теорию вероятностей и законы вариационной статистики.

Математическо-статистический подход к лесу с учетом его биологических свойств позволил поставить лесную таксацию как науку на более высокую ступень развития. Такой подход к лесу открыл возможность для широких обобщений и выявления весьма важных закономерностей в росте и развитии леса. Применение теории корреляции, дисперсионного анализа и других новейших достижений вариационной статистики позволило разделить общее варьирование таксационных показателей на варьирование между отдельными категориями древостоев и варьирование внутри их. Посредством методов вариационной статистики найдены математические выражения и выведены соответствующие формулы, определяющие по доступным измерению таксационным показателям другие таксационные величины, не доступные для непосредственного измерения.

При осуществлении таксационных измерений получают массовую информацию об отдельных древостоях, занимаемой ими площади, имеющихся в них древесных запасах, их качестве и ходе роста. Систематизация, обработка и нахождение итогов всей этой информации сопряжены с большой счетной работой. При ее выполнении в последнее время широко используют электронные вычислительные машины. Их применение обусловило внесение соответствующих изменений в большинство разделов лесной таксации. Сама первичная информация о параметрах древостоев, получаемая непосредственно в лесу, потребовала иных записей и другого оформления. Теория, базирующаяся на сложных математических выражениях, в современных условиях обращается в источник практической информации. Благодаря использованию электронных вычислительных машин в итоге обработки таксационных материалов получают детальные лесохозяйственные и лесопромышленные расчеты, всесторонне характеризующие лесные сырьевые ресурсы.

Широкое использование материалов аэрокосмической фотосъемки, дешифрируемых посредством современной аппаратуры, позволило применять новые методы таксации леса. Сочетание результатов дешифрирования аэрокосмических снимков с последующей наземной таксацией является основой современной техники учета леса.

В пятом издании учебника более полно отражены перечисленные достижения в области таксационной техники, вместе с этим даны традиционные таксационные теория и техника, не утратившие своего производственного значения в данное время. Раздел учебника «Сортиментация леса» пополнен новым материалом. Расширен раздел «Таксация лесных массивов и лесосечного фонда».

ВВЕДЕНИЕ

Растительный покров земли, состоящий из множества деревьев, произрастающих во взаимодействии между собой и окружающей средой, называется лесом.

Лес — источник получения древесины, имеющей в народном хозяйстве и строительстве весьма разнообразное применение. Вместе с тем он играет огромную роль в прижизненном состоянии как важнейший природный фактор. Лес регулирует водный режим почв, предупреждает их смыв и наводнения рек, защищает сельскохозяйственные поля от иссушающего влияния ветров и, помимо того, имеет санитарное и гигиеническое значение.

В связи с изложенным лес является объектом хозяйственной деятельности. Началу организации хозяйства и установления соответствующего порядка в лесу предшествует приведение его в известность и всесторонний учет, предусматривающий разделение леса по древесным породам, возрасту, условиям произрастания, наличию запасов древесины и другим характеризующим его показателям.

Технические действия, направленные на всесторонний учет леса, оценку процессов лесовыращивания, выявление сырьевых ресурсов и определение объемов деревьев и заготовляемой лесопродукции, называются таксацией леса.

Слово «таксация» происходит от латинского taxatio, что означает «оценка». Отсюда, таксировать лес — это значит его оценивать. Здесь имеется в виду материальная оценка леса, сводящаяся к определению объема целых деревьев и их частей, запаса насаждений (т. е. количества древесины в них), возраста и прироста отдельных деревьев и целых насаждений.

Лесная таксация как наука изучает методы измерения объемов деревьев, объемов заготовленной лесной продукции, запасов отдельных насаждений и целых лесных массивов, прироста отдельных деревьев и насаждений (древостоев).

Научную дисциплину, изучающую методы измерения или учета леса, в странах Западной Европы чаще всего называют дендрометрией. В буквальном переводе на русский язык этот термин означает измерение деревьев.

В условиях нашего лесного хозяйства объектом учета обычно являются обширные лесные массивы, разделяемые на отдельные участки, состоящие из множества больших совокупностей деревьев.

Соответственно этому центральной задачей рассматриваемого курса является разработка методов учета этих множеств, количественная и качественная оценка древесных запасов и прироста древостоев. Такое содержание научной дисциплины наиболее полно отражает название «Лесная таксация».

В США и Великобритании рассматриваемый курс носит наименование «Forest Mensuration», что означает «Лесные измерения». Это название подчеркивает, что главным в рассматриваемом курсе является измерение. Однако в отличие от термина дендрометрия в данном случае речь идет о более разнообразных измерениях, названных лесными.

Оставляя принятое у нас название курса «Лесная таксация», следует иметь в виду, что лесные измерения в этом курсе должны являться главнейшей темой. Дальнейший прогресс в технике учета леса тесно связан с заменой визуальных оценок более точными измерениями, опирающимися на меру и число.

Для организации хозяйства в лесу в первую очередь необходимо привести лес в известность, т. е. установить площадь и пространственное расположение отдельных лесных участков, занятых насаждениями, различающимися по породам, возрасту, продуктивности и качественному состоянию.

При решении всех этих вопросов широко используется таксационная техника.

Лесная таксация — одна из основных дисциплин, на которой базируется построение лесного хозяйства.

Из лесохозяйственного цикла научных дисциплин она наиболее разработана. Это обстоятельство обусловлено тем, что лесная таксация имеет дело с измерениями, дающими объективную оценку изучаемым предметам и при решении своих задач широко использует средства математики. Вместе с тем лесная таксация как наука имеет свои методы и свою теорию. Она является фундаментом всех лесохозяйственных дисциплин. В любой из них те или иные сравнительные оценки роста леса, выявление его состояния, различного рода расчеты и прогнозы осуществляются путем использования методов лесной таксации.

Рационально поставленное лесное хозяйство для повседневного разрешения вопросов, связанных с выращиванием леса, уходом за ним и рубкой, требует данных о запасах древесины, строении насаждений, их состоянии и приросте.

При проектировании лесохозяйственных мероприятий, например выборе участка в рубку, назначении мер ухода за лесом, составлении планов проведения посева и посадки леса, выборе участков для осушения, при разработке вопросов о противопожарных мероприятиях и др. в качестве первичных основных технических документов используют таксационные описания и планы лесонасаждений, составляемые после проведения таксационных работ в лесу.

Одновременно с лесохозяйственной характеристикой при таксации леса каждому участку дают лесопромышленную оценку, сводящуюся к определению запаса леса, выходу промышленных сортиментов (товаров) и выявлению условий эксплуатации. При проведении таксационных работ оценивают также водоохранное, защитное значение леса и определяют влияние лесного массива и отдельных его частей на успешность ведения сельского хозяйства и выращивание отдельных культур.

Данные, получаемые лесной таксацией, в конечном итоге используют для экономического обоснования строительства новых заводов и фабрик, реконструкции и расширения существующих, для выбора места и направления вновь строящихся транспортных путей, капитального строительства предприятий лесной и бумажной промышленности, размещения лесозаготовок на территории лесного массива и разработки методов, обеспечивающих рациональную разделку деревьев на лесосеке.

Лесная таксация связана со многими научными дисциплинами. Так, в вопросах изучения законов роста отдельных деревьев и целых насаждений она тесно соприкасается с ботаникой, дендрологией и лесоводством; для характеристики условий местопроизрастания, определяющих различную продуктивность лесов, она использует данные почвоведения; при выявлении выходов отдельных лесных товаров или сортиментов таксация основывается на материалах, рассматриваемых в курсе лесного товароведения; для качественной характеристики древесины она изучает пороки древесины, рассматриваемые в курсе древесиноведения и лесной фитопатологии; при учете запасов леса на значительных территориях и разграничении их по хозяйственной ценности необходимы знания по геодезии и аэрофотографии.

В настоящее время, помимо наземных способов, при таксации леса широко используют средства авиации и аэрофотосъемки. Содержание этого способа тесно связано с предметом лесной таксации.

Особенно тесно лесная таксация связана с лесоустройством. Лесоустройство представляет собой систему хозяйственных изысканий, расчетов и действий, направленных на всестороннее изучение лесов, их учет и разработку комплекса мероприятий по организации лесного хозяйства в изучаемом лесном массиве. Составляемый при лесоустройстве перспективный план ведения хозяйства в первую очередь основывается на данных лесной таксации. При решении вопросов, где, как и сколько рубить, какие лесные участки требуют ухода за лесом, где создавать культуры в устраиваемом лесном массиве и др., прежде всего используют таксационные описания.

Большие задачи стоят перед лесной таксацией в связи с промышленным освоением лесов. Намечено увеличить лесозаготовки в отдаленных многолесных районах. Леса здесь изучены еще недостаточно. В ближайшие годы потребуется резко увеличить в них объем таксационных работ, используя при этом новейшие достижения таксационной техники.

Выяснив задачи, решаемые при таксации леса, рассмотрим вопрос о содержании курса «Лесная таксация».

Решение задач, стоящих перед лесной таксацией, связано с различного рода измерениями, которые проводят с помощью специальных таксационных инструментов и приборов. Рассмотрение принципов устройства и конструкции этих инструментов и приборов составляет особую главу курса.

Древесные стволы, взятые в целом, а также отдельные их части имеют некоторое сходство с правильными стереометрическими телами. В связи с этим в курсе лесной таксации изучается применение законов и правил стереометрии для решения таксационных вопросов, связанных с определением объемов стволов и их частей.

При определении объема деревьев могут быть два случая: первый, когда требуется найти объем срубленного дерева, и второй, когда нужно найти объем растущего дерева. Определить объем срубленного дерева проще, так как его можно непосредственно измерить на всем его протяжении. При нахождении объема растущего дерева для установления его диаметров на различной высоте приходится применять иные приемы, так как измерить непосредственно диаметры на всем протяжении стоящего дерева невозможно.

При массовой таксации чаще всего приходится иметь дело не с отдельными деревьями, а с их совокупностью — насаждением. Для таксации насаждений применяют особые приемы.

В современых условиях задачу лесной таксации нельзя ограничить нахождением общего объема, или запаса, насаждения. Этот запас надо разграничить на части, имеющие разное применение в промышленности и хозяйстве. Такого рода разграничение называют определением выхода отдельных сортиментов.

В лесном хозяйстве очень важно знать, как изменяются во времени размеры растущих деревьев и количество (запас) древесины в насаждениях или, иными словами, величину прироста отдельных деревьев и целых насаждений. Изучение способов учета прироста является одной из задач курса лесной таксации.

Учет леса, или его таксацию, чаще всего приходится производить на больших лесных территориях, включающих различные виды земель и площадей, занятых разными насаждениями.

Разграничение огромных лесных территорий или лесных массивов на отдельные, более мелкие хозяйственные единицы, деление их на кварталы и однородные в хозяйственном отношении участки, учет в них запасов древесины и выхода сортиментов осуществляют при лесоустройстве. Поэтому полное освещение перечисленных вопросов является обязательным для курса «Лесоустройство». Соответственно изложенному в курсе лесной таксации принято следующее деление его на разделы:

I. Таксационные измерения и способы таксации; II. Таксация лесной продукции; III. Таксация растущих деревьев при помощи объемных таблиц; IV. Таксация насаждений; V. Перечислительная и выборочная таксация леса; VI. Сортиментация леса; VII. Таксация древесного прироста; VIII. Таксация лесных массивов и лесосечного фонда.

Раздел первый

ТАКСАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И СПОСОБЫ ТАКСАЦИИ

Глава I

МЕТОДЫ ЛЕСНОЙ ТАКСАЦИИ

Лесная таксация, как и любая область научных знаний, руководствуется диалектико-материалистической методологией. Подходя к задаче материальной оценки леса, она рассматривает его не как случайное, изолированное одно от другого скопление деревьев, а как единое целое, все компоненты которого — деревья, кустарники, травянистая растительность, почва — органически связаны между собой и взаимообусловлены как совокупность растений, находящихся в определенном взаимодействии друг с другом и с окружающей средой, т. е. атмосферой, почвой, животным миром.

Согласно закону диалектики лесная таксация рассматривает все процессы, происходящие в лесу, как непрерывное движение, обновление и развитие. В таком сложном комплексе, как лес, одни компоненты возникают и развиваются, другие отмирают и разрушаются. Например, в молодом лесу, вступающем в фазу сильного роста, происходит смыкание крон и в то же время вытесняется и отмирает травяной напочвенный покров.

Развитие леса происходит поступательно, по восходящей линии — от старого качественного состояния к новому, от простого к сложному, от низшего к высшему. Ярким примером такого развития леса может быть процесс, началом которого является заселение древесными породами-пионерами территории, на которой раньше леса не было. Возникающий лес с течением времени, пройдя все стадии развития, окажется иного состава, будет по своему строению более сложным, и его таксационные показатели окажутся иными, чем на первых фазах развития.

Законы диалектики позволяют нам шире и глубже уяснить сущность процессов развития и роста леса.

В едином биологическом процессе развития насаждения мы обнаруживаем раздвоение и борьбу противоположностей, выражающуюся в том, что часть деревьев ежегодно изменяет свои размеры (прирастает), а часть ежегодно отмирает. Эти две стороны единого процесса развития насаждения являются противоречивыми его частями, указывают на единство противоположностей и наличие в этом процессе взаимоисключающих тенденций.

В задачу таксации входят установление и оценка происходящих в лесу количественных и качественных изменений, выражающихся в ежегодном отпаде (отмирании) части деревьев и приросте остающихся. Этот биологический закон следует рассматривать как процесс движения, развития. В оценке этого явления возможны две точки зрения.

С одной из них это явление рассматривают как простое уменьшение или увеличение числа деревьев, запаса насаждения и прочих показателей. Такую оценку динамики развития насаждений следует признать метафизической, сводящей процесс развития насаждений к круговому повторению.

Со второй и единственно правильной точки зрения динамику развития насаждений (прирост и отпад) рассматривают как единство противоположностей. Эта точка зрения на процесс развития вытекает из диалектико-материалистической теории.

Используя диалектический метод как основу при научных таксационных исследованиях и теоретических обобщениях, вместе с этим следует отметить, что при решении отдельных технических задач лесная таксация опирается на специальную методику, вытекающую из особенностей этой дисциплины. В частности, в лесной таксации широко используется теория вероятностей и вариационная, или математическая статистика, изучающая свойства и законы множеств.

При решении таксационных вопросов мы производим специальные наблюдения или замеры тех или иных таксационных величин. Такие наблюдения называются опытом, или **экспериментом**.

Общий результат ряда наблюдений может быть выражен резюмирующим выводом, который в переводе на математический язык называется формулой.

Применимость полученного вывода бывает ограничена лишь наблюденными явлениями. Если наблюдения многократно повторяются, если величины, входящие в вывод или формулу, подвергаются все новым и новым планомерным изменениям, то применимость вывода может расширяться. Чем больше число сделанных наблюдений, тем больше вероятность, что и будущие наблюдения будут подчиняться установленному выводу.

Если применимость вывода или формулы находит все более широкое подтверждение, то мы высказываем этот вывод или формулу как *общий закон*.

Установление возможно большего числа общих законов в науке — главнейшая задача исследования. Чем больше число разных наблюдений, которые охватываются найденным законом природы, тем более общим является этот закон, тем больше делается для нас вероятность достигнуть доступного объяснения явлений природы.

Формулы и законы, характеризующие динамику таксационных величин, чаще всего обладают сравнительно невысокой точностью и ограниченной сферой применения. В связи с этим принято их называть таксационными закономерностями.

Рассмотренный способ установления закономерностей называется прямым индуктивным методом. Он является главным приемом таксационных исследований.

Но есть еще иной путь. Исследователь составляет себе некоторое предположение. Это предположение называют гипотезой о каком-нибудь явлении. На основании этой гипотезы исследователь чисто логически (чаще всего, опираясь на математические расчеты) выводит, каковы должны быть определенные явления, чтобы согласоваться с предложенной гипотезой.

Гипотеза считается правильной, если все наблюдаемые факты ее подтверждают, ее следует считать опровергнутой, если встречаются явления, которые нельзя привести с ней в согласие. Совокупность логических следствий, которые могут вытекать из определенных предпосылок, называется теорией.

Рассмотренный путь исследования называется дедуктивным методом. История развития лесной таксации показывает, что дедуктивный метод в прошлом оказался малоэффективным.

Однако следует иметь в виду, что каждое исследование, основанное на массовых наблюдениях (обширная индукция), неизбежно в себе содержит дедуктивный элемент. После первых наблюдений обычно исследователь предположительно намечает общую закономерность в изучаемом явлении, верность которой он затем испытывает посредством дальнейших опытов и наблюдений.

Последующие испытания предварительно сделанной гипотезы называются косвенным индуктивным методом. Поэтому логическая сущность индукции состоит в редукции, т. е. в сведении логического заключения к предпосылкам, вытекающим из опыта.

Гипотеза, которая помогает планомерной организации опытов, имеющих целью или подтверждение уже найденных истин, или отыскание новых, называется рабочей гипотезой.

Подведение какого-нибудь явления под известную закономерность в природе есть в то же время объяснение этого явления. Таким путем устанавливается связь между данным явлением и другими известными или привычными нам явлениями.

Каждое насаждение представляет собой множество особей. В связи с этим, рассматривая теоретические основы таксации насаждений, проф. М. Продан [44] приходит к выводу, что для познания последних менее эффективен формально-дедуктивный метод математики. Лучшее определение таксационных показателей, закономерностей строения насаждений и установление ошибок таксации обеспечивают методы математической статистики.

Отдельные участки леса, состоящие из более или менее однородных объектов (деревьев), находящихся в сравнительно одинаковых условиях, представляют собой совокупности, т. е. множества. Лесная таксация, имея дело с разными совокупностями, довольно часто характеризует их одним числом, тесно связанным с данной совокупностью и способным в определенной степени заменить ее. Простейшей типической величиной, характеризующей определенные совокупности, является среднеарифметическая.

Характеризуя средними величинами те или иные таксационные совокупности, мы неизбежно сталкиваемся с вопросом о размерах отклонений отдельных объектов от средних величин и наличии закономерностей в распределении этих отклонений. Решение этих вопросов прежде всего позволяет определить, когда найденные средние величины действительно являются типическими. Вместе с этим, зная закономерности распределения отклонений от типических средних величин, мы можем судить о том, как часто встречаются в изучаемой совокупности отдельные объекты с определенными отклонениями. Например, при определении ряда таксационных величин нередко требуется установить, какие ошибки в их нахождении весьма вероятны и какие маловероятны. Следовательно, во всех таксационных вопросах, когда речь идет о нахождении типических средних, приходится в той или иной форме сталкиваться с понятием о вероятности.

В вариационной статистике вероятностью наступления того или иного события (явления) называется отношение числа благоприятствующих этому событию или явлению случаев к числу всех возможных случаев. Вопросы о вероятностях и их закономерностях рассматриваются теорией вероятностей.

Таким образом, научная постановка таксационных вопросов тесно связана с изучением теории вероятностей. Изменение какого-нибудь количественного признака (диаметра дерева, его высоты и др.) у отдельных деревьев одной породы, находящихся в примерно одинаковых условиях, можно уподобить той разнице в размерах измеряемого предмета, которая получается в результате неизбежных случайных ошибок. Роль таких случайных ошибок здесь играют самые разнообразные влияния внешней среды, разница в питании и освещении деревьев и т. д.

Изучение условий, вызывающих отклонения от типических средних величин (например, отклонения диаметров и высоты отдельных деревьев от средних диаметра и высоты данного насаждения), позволяет сделать вывод, что факторы, обусловливающие различные отклонения, очень многочисленны. Каждое из этих отклонений может быть весьма незначительным, но вместе взятые они дают более заметные величины.

Теория вероятностей объясняет закономерность распределения ошибок в измерениях. Это распределение характеризует закон нормального распределения, являющийся основой методов вариационной статистики (рис. 1).

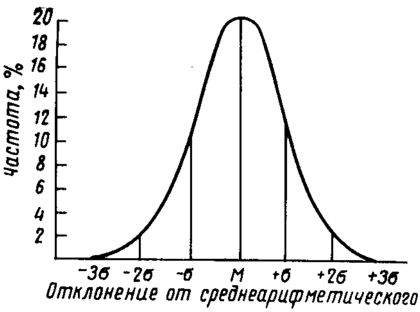


Рис. 1. Кривая нормального распределения

Закон нормального распределения может быть также применен при изучении отклонений биологических признаков.

Статистические ряды могут отклоняться от нормального распределения. При помощи теории вероятностей производится анализ, облегчающий выявление причин, вызывающих отклонения от закона нормального распределения изучаемых статистических рядов.

Одной из основ математической статистики является закон больших чисел, заключающийся в следующем: чем больше число наблюдаемых случаев, тем больше вероятность, что результаты наблюдения приближаются к истинному значению искомой величины.

Важность этого закона прежде всего объясняется тем, что он позволяет на основании опыта определить вероятность изучаемого явления. Найдя на основании большого числа наблюдений отношение числа изучаемых объектов (например, числа деревьев определенных размеров) к числу всех наблюдений (общему числу деревьев), можно принять его за вероятность, характеризующую встречаемость деревьев данных размеров во всей совокупности (множестве) деревьев.

Использование названных выше разделов математической науки дает нам возможность, заменив сложные приемы более простыми, ввести в технику таксации различные упрощения.

Опираясь на математические приемы и с их помощью выявляя причинные связи, не нужно забывать и самой биологии леса. Поэтому анализ изучаемого явления с помощью математики надо сочетать с анализом биологической стороны вопроса.

Закон больших чисел как объективный реальный закон действует всюду, где налицо множественность причин и следствий. Он позволяет обнаружить влияние общих причин и устранить влияние частных и в конечном счете дает возможность установить соотношение между общим и частным. Следовательно, закон больших чисел помогает вскрыть закономерности происходящих в лесу массовых процессов. Многочисленные отклонения от среднего или общего, вызываемые случайными причинами, происходят и в ту и в другую сторону от средней величины, поэтому они взаимно погашаются и уничтожаются.

Закон больших чисел лежит в основе используемого в лесной таксации выборочного метода (подробнее об этом см. в главе XIV). Так как невозможно обмерить все деревья на обширной территории, ограничиваются частичным их обмером, и результаты его распространяют на всю изучаемую территорию.

При нахождении способов определения объемов деревьев и запасов насаждений лесная таксация изучает обусловливающие их величины. Такими величинами будут высота, диаметр и показатель формы древесных стволов, а также установленные между ними соотношения. Все эти величины в пределах одного и того же насаждения весьма различны, поэтому необходимо установить средние значения и степень изменчивости этих величин.

Решить подобные задачи можно методами вариационной статистики. Для оценки соотношений между таксационными показателями целесообразно использовать теорию корреляции. Значение последней особенно возросло в связи с разработкой метода множественной корреляции, или дисперсного анализа, дифференцирующего на соответствующие категории вариационные отклонения.

Как свидетельствует история развития лесной таксации, в поисках наиболее правильных решений таксационных задач выявились два направления. Первое из них сводилось к отысканию таких общих формул, применение которых позволило бы во всех случаях найти объемы и форму отдельных деревьев и запасы насаждений. Однако это направление не дало положительных результатов, так как большое разнообразие природных условий и большая изменчивость размеров и форм деревьев лишало возможности заранее установить для них общие математические формулы.

Наиболее целесообразным оказался метод массовых наблюдений. При этом методе сначала производят большое число наблюдений в натуре, характеризующих те или иные таксационные показатели. Материал анализируют, классифицируют, затем делают соответствующие выводы и устанавливают для определенных условий таксационные нормативы.

Метод массовых наблюдений и установление на их основе средних величин содействовали развитию и разработке таксационной теории. В результате применения этого метода установлены соотношения между отдельными таксационными показателями и намечены закономерности в изменениях объемов деревьев и запасов насаждений.

Из всего изложенного явствует, что *объектом лесной таксации является изучение множества взаимодействующих между собой деревьев и разных категорий древостоев.*

Для познания законов множеств первостепенное значение имеет статистический метод. Для решения таксационных вопросов он стал применяться лишь в начале 20-х годов текущего века. Этот метод открыл путь для установления таксационных нормативов, опирающихся на прочный научный фундамент.

В связи с изложенным в развитии лесной таксации как науки намечаются два периода. Первый период имеет длительность свыше 100 лет. Начало ему было положено в конце XVIII в., и он завершился к началу 20-х годов XX в.

За этот период на основе отдельных и массовых наблюдений были составлены объемные таблицы, определяющие объемы деревьев разных размеров. В это же время были разработаны таблицы хода роста древостоев, отражающие динамику роста и развития отдельных категорий леса.

Наличие этих таблиц и ряда других характеристик леса облегчило решение таксационных задач и в свое время явилось большим вкладом в таксационную науку.

Когда устанавливали в первый период развития лесной таксации нормативы и средние показатели для характеристики множеств, закономерности и свойства последних все же не были известны. Вопрос об ошибках определения множеств по отдельным наблюдениям также не был разработан. Короче говоря, применяя на практике выборочный метод таксации, теоретическую сторону этого метода еще не изучили. Восполнить эти пробелы представилось возможным после того, когда таксационные исследования стали опираться на теорию вероятностей и математическую статистику.

Начало этому периоду развития лесной таксации было положено в 20—30-х годах текущего века. В свете теории вероятностей, учения о множествах, закономерностях варьирования изучаемых величин и свойствах средних показателей коренным образом изменилось представление о лесе как массовом явлении. Это обстоятельство и дает основание 20—30-е годы текущего века считать началом нового периода в развитии лесной таксации, характерной чертой которого является использование современных средств математики.

Таким образом, на современном этапе развития лесная таксация исходит из результатов наблюдений в природе. Опираясь на методы вариационной статистики и изучая в лесу изменчивость тех или иных таксационных показателей, устанавливают число наблюдений, гарантирующих получение выводов с определенной степенью точности. При обработке собранных данных не ограничиваются установлением средних величин. Исходя из соответствующих признаков, собранный материал делят на однородные категории и в пределах этих категорий стремятся найти связь и зависимость между составляющими их компонентами. Найденную связь выражают соответствующими математическими формулами, которые служат основанием для последующих обобщений, вывода закономерностей и общих правил.

Лесная таксация при обработке результатов измерений использует различные математические расчеты и математический анализ; при многих графических построениях и изучении полученных кривых она, в частности, использует методы аналитической геометрии.

Чтобы найти в том или ином участке леса запас древесины и его дифференцировать по соответствующим категориям, обычно в этом участке закладывают пробную площадь. Последняя является частью, предназначенной для характеристики участка в целом.

При таксации леса уточненный запас древесины находится посредством срубаемых моделей. Последние, являясь частью от всей совокупности деревьев, служат эталоном, определяющим особенности этой совокупности.

При глазомерной таксации леса таксатор осматривает таксируемый лес вдоль маршрутных линий (визиров) и результаты своего осмотра, характеризующие относительно узкие полоски леса, распространяет на всю его толщу, заключенную между двумя параллельными таксационными маршрутами. В этом случае, как и в предыдущих, по осмотренной части леса определяется целое, т. е. составляется таксационная характеристика лесных площадей, лишь частично осмотренных таксатором.

Аналогичным методическим приемом мы пользуемся и при определении прироста отдельных насаждений и целых их совокупностей. В этом случае берутся пробы на прирост у модельных деревьев и полученные результаты измерения прироста распространяются на большие множества деревьев. При таком решении вопроса снова целое определяется по части.

Из разных разделов таксационной техники число примеров, иллюстрирующих нахождение целого по части, могло бы быть увеличено. Однако и рассмотренные случаи позволяют заключить, что характерной чертой, пронизывающей все разделы таксационной техники, является определение целого по части, подвергаемой более тщательному измерению. Такой способ познания изучаемого предмета, основанный на несплошном наблюдении, называется выборочным. Он широко используется во многих отраслях науки и техники. Научным базисом несплошных наблюдений, или выборочного метода изучения предметов и явлений, служит теория вероятностей и сопряженная с ней математическая, или вариационная, статистика.

Вопрос о соответствии, или репрезентативности (представительности), между результатами несплошного (выборочного) и сплошного наблюдения решают, опираясь на названные науки.

Репрезентативность, или соответствие части целому, достигается путем правильной организации несплошного наблюдения. Теория этого процесса составляет сущность названных математических дисциплин.

Ошибки таксации леса, или допущенное отклонение от репрезентативности, находятся посредством законов теории вероятностей и математической статистики. Современная таксация леса во всех своих разделах опирается на эти научные дисциплины.

При решении целого ряда задач в лесной таксации прибегают к графическим построениям. При этом следует отметить, что в последнее время в научно-исследовательских таксационных работах не ограничиваются построением графиков в прямоугольных координатах с равномерным их масштабом. Между таксационными показателями чаще всего наблюдаются криволинейные зависимости. Анализ этих зависимостей значительно упрощается, когда кривые линии мы преобразуем в прямые. Это преобразование легче произвести путем построения графиков в координатах с логарифмическими осями.

В лесной таксации к графическим построениям приходится прибегать для нахождения промежуточных значений таксационных величин и установления наиболее вероятных математических связей между таксационными показателями. Путем построения графиков легче обнаружить ошибки в таксационных измерениях и вместе с этим легче отобрать типичные наблюдения и отбросить нехарактерные. Ниже изложены некоторые математические предпосылки к построению графиков.

Отыскание промежуточных значений переменной по ряду известных величин называется интерполяцией. Интерполяция является своеобразным чтением числовых значений между строками таблицы. Лесная таксация имеет дело с большими множествами переменных величин. Для определения конкретных значений последних приходится часто прибегать к интерполяции.

Определение переменной, находящейся за пределами заданного ряда величин, называют экстраполированием.

В ряде случаев при решении таксационных задач, кроме интерполяции, приходится прибегать и к экстраполированию. При интерполировании всегда предполагается, что в рассматриваемом интервале переменная имеет плавное изменение. Другими словами, исходят из непрерывности как самой функции, так и первой и второй ее производных.

Если можно ограничиться точностью двух-трех значащих цифр, то в очень многих случаях интерполяцию выгоднее всего выполнить графически. Для этого изображают пары значений аргумента и функции точками, наносимыми в прямоугольные координаты, а затем соединяют эти точки плавной кривой. После этого остается только «снять» с чертежа искомые значения функции или аргумента.

Построение и применение графика существенно облегчается при использовании координатной бумаги, наиболее распространенным видом которой является миллиметровая. Результаты, получаемые графической интерполяцией, как и всякой другой, тем более надежны, чем гуще расположены точки, изображающие пары данных значений аргумента и функции, и чем точнее известен ход изменения функций от одной такой точки до другой.

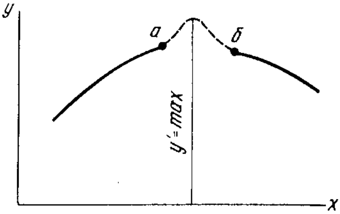


Рис. 2. Максимум в интервале между двумя точками функции

Если в интервале между двумя точками функция имеет максимум (рис. 2), а мы о нем ничего не знаем, то интерполяция приводит к неверным результатам.

Проще всего произвести графическую интерполяцию, когда графиком является прямая линия (линейная интерполяция). В этом случае достаточно нанести на чертеж две, по возможности, более удаленные друг от друга точки и провести через них прямую. Поэтому в более сложных случаях, когда значения искомой функции с равномерными делениями координатных осей располагаются по кривой линии, задачу стремятся свести к случаю прямолинейного графика надлежащим преобразованием масштаба по одной или по обеим осям. Этот процесс преобразования масштабов координатных осей в математике носит название анаморфозы.

Поясним его примером. Допустим, что высота деревьев в изучаемом древостое имеет следующую зависимость от диаметра:

Диаметр деревьев, см . . .	12	16	20	24	28	32	36	40
Высота, м	14	18	21	23	25	26	27	27

Если указанные пары значений диаметра и высоты деревьев изобразить графически в прямоугольных координатах, пользуясь обычным равномерным масштабом (миллиметровой бумагой), то точки их расположатся по некоторой кривой.

Если же по оси ординат будем откладывать высоты обычным порядком, а на ось абсцисс нанесем не диаметры, а значения их логарифмов, то точки нашего графика расположатся приблизительно на одной прямой линии (рис. 3). График принимает вид прямой, что значительно облегчает интерполирование. Отсюда заключаем, что $\lg h$ зависит от d линейно. Иными словами, зависимость между диаметром и высотой деревьев характеризуется уравнением $\lg h = a + bd$, или $h = 10^{a+bd} = 10^a \cdot 10^{bd}$. При наличии этой зависимости остается найти значения a и b. Для этого проводим прямую, опирающуюся на большее число точек (наилучшую прямую).

На основании этих числовых величин можем составить два уравнения и решить их по отношению к a и b. В конечном итоге нам удается зависимость высот от диаметров деревьев выразить логарифмическим уравнением.

Если искомая зависимость характеризуется формулой $y=ax^b$, то прямолинейность графика достигается тем, что приходится обе координаты (x и y) откладывать в логарифмическом масштабе т. е. вместо x и y наносить на график их логарифмы (рис. 4).

При иных формах уравнения, связывающего y и x, целесообразно применять не логарифмическую, а иные формы анаморфозы. Так, в случае зависимости вида $y=d+b\sin(x+a)$ по оси y нужно сохранить равномерный масштаб, а по оси x откладывать значения $\sin(x+a)$.

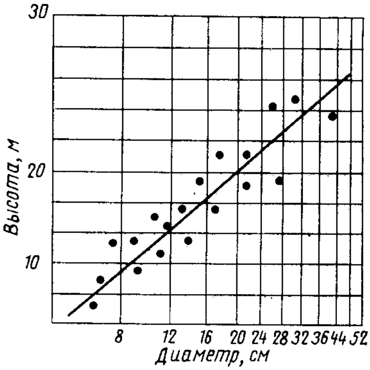


Рис. 3. Построение прямой высот на полулогарифмической бумаге

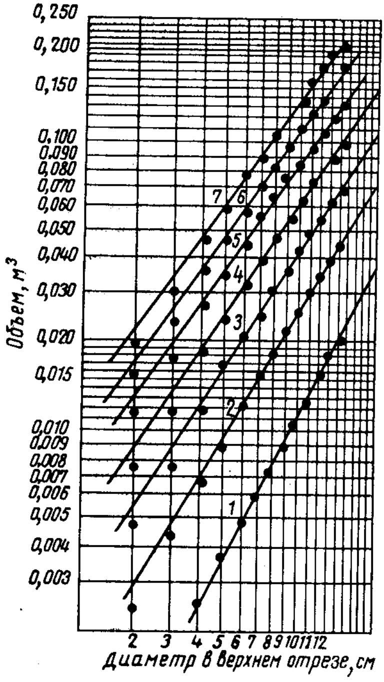


Рис. 4. Зависимость между объемами и диаметрами лесоматериалов разной длины

Следует отметить, что далеко не всегда удается добиться прямолинейности графика. Поэтому в таких случаях приходится искать зависимость y от x в виде уравнений, не сводящихся к линейным. Однако построение графика во всех случаях полезно, так как он показывает, какого примерно вида должна быть искомая зависимость.

При решении подобных задач существенную пользу приносит альбом кривых, отражающих уравнения разных видов.

Выбрав в альбоме среди кривых наиболее близкую к нашей кривой, устанавливаем форму такой зависимости. После этого задача сводится к установлению значений коэффициентов. Их лучше всего находить по способу наименьших квадратов, известному из курсов вариационной статистики. Альбомы кривых содержатся в приложениях к курсам технической математики.

Способ наименьших квадратов представляет метод определения таких значений отклонений, при которых сумма квадратов разностей между наблюдаемыми и вычисленными значениями достигает своего минимума. Однако во многих случаях таксационной практики достаточно точные данные получаются гораздо проще, в результате проведения на глаз прямой линии, около которой все точки графика располагались бы по возможности симметрично. Для этого удобно применить тонкую нить.

Техника выполнений той или другой анаморфозы весьма облегчается использованием соответствующей координатной бумаги (полулогарифмической, логарифмической и др.). У полулогарифмической бумаги одна из осей, а у логарифмической обе оси имеют деления пропорциональные соответствующим логарифмам чисел. При наличии такой бумаги мы освобождаемся от необходимости подыскивать логарифмы.

Следует отметить, что к графическому решению уравнений непосредственно примыкают способы решения их с помощью номограм, т. е. таких чертежей, которые дают возможность быстро определять значение функций по заданным величинам аргументов без каких бы то ни было дополнительных построений, путем простого отсчета по соответствующим шкалам.

Этот математический метод в лесной таксации впервые был применен 40 лет назад автором данного учебника.

Глава II

ТАКСАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ, ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИБОРЫ

§ 1. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

При таксации срубленного и растущего леса измеряют толщину стволов, длину заготовленных лесоматериалов, высоту растущих деревьев, площади сечений стволов и, наконец, определяют объемы и в более редких случаях — массу лесной продукции.

При решении перечисленных таксационных задач опираются на меры длины, меры поверхности для измерения площадей, меры объемов и меры веса. Все эти виды измерений имеют свои учетные единицы, подлежащие нашему рассмотрению.

В качестве эталона меры длины сто лет назад принят метр, сохраняемый в Бюро мер и весов на возвышенности Сен-Клу, вблизи Севра, в окрестностях Парижа.

По принципу десятичной системы метр разделен на 10 дециметров (дм), 100 сантиметров (см), 1000 миллиметров (мм).

Единицей площади является квадратный метр, т. е. площадь квадрата, сторона которого равна 1 м. Ее обозначают м^2. Единица в 100^2 раз меньше есть квадратный сантиметр (см^2).

Единицей объема служит кубический метр (м^3), т. е. объем куба, боковое ребро которого равно 1 м, $^1/_{10^6}$ кубического метра есть кубический сантиметр (см^3). Следует отметить, что в разных странах применяются разные системы мер и весов.

Наибольший прогресс в развитии лесной таксации мог бы быть достигнут при введении во всех странах единой системы лесных измерений. Однако осуществление этого мероприятия наталкивается на сложившиеся обычаи, ставшие традициями.

Мировые лесные конгрессы рекомендовали поощрять применение наиболее простой и совершенной — метрической системы. До тех пор, пока метрическая система как универсальная не будет принята и внедрена в практику, в качестве компромисса с существующими обычаями признано целесообразным результаты таксации выражать в единицах как местной, так и метрической системы.

В нашей стране переход на метрическую систему мер и весов был проведен в середине 20-х годов текущего столетия. Осуществление этого важнейшего народнохозяйственного мероприятия способствовало облегчению учета во всех отраслях народного хозяйства. С переходом на метрическую систему облегчилось решение многих таксационных задач.

В настоящее время толщину и ширину пиломатериалов и других видов готовой лесной продукции измеряют в миллиметрах (мм) и сантиметрах (см).

В таксационной теории толщина ствола и его частей приравнивается к диаметру поперечного сечения тел вращения, считая это сечение кругом.

Диаметры стволов и их частей измеряют в сантиметрах. В Англии и США диаметры стволов измеряют в дюймах (1 дюйм равен 2,54 см) и футах (1 фут равен 0,3048 м).

В целях упрощения измерений и последующего нахождения объемов найденные величины диаметров округляются до ближайших четных размеров, а чаще всего до размеров, разнящихся между собой на 4 см (4; 8; 12; 16; 20 и т. д. см). Эти градации, применяемые при измерении диаметров, носят название ступеней толщины. Таким образом, при измерении толщины, или диаметра, стволов своеобразной учетной единицей является ступень толщины.

У растущих деревьев толщина ствола в большинстве европейских стран измеряется на высоте груди человека, что соответствует 1,3 м от шейки ствола до места измерения. В Англии и США измеряют диаметры у растущих деревьев на высоте, равной 4,5 фута, что в переводе на метрические меры составляет 1,37 м. В Японии измерения диаметров у растущих деревьев производят на высоте от земли, округленно равной 1,25 м. Высоту растущих деревьев в Европе учитывают в метрах и десятых долях метра (дециметрах). Длину заготовленных лесоматериалов измеряют в метрах и дециметрах. Сверх установленных стандартных длин лесоматериалы должны иметь припуски по длине, учитываемые в сантиметрах.

Площади поперечных и продольных сечений стволов измеряют в квадратных сантиметрах ($см^2$) и квадратных метрах ($м^2$).

Единицами учета земель, занятых лесом, служат квадратный метр, ар (а), равный 100 м^2, и гектар (1 га), содержащий в себе 10 000 м^2, или 100 а.

В Советском Союзе и большинстве европейских стран количество древесины измеряется в кубических метрах (кубометрах, м^3).

В лесной таксации при рассмотрении вопросов об объемах находят применение три термина:

а) кубатуру заготовленных лесоматериалов и готовых изделий чаще всего называют объемом;

б) кубатуру отдельных растущих деревьев именуют массой и объемом;

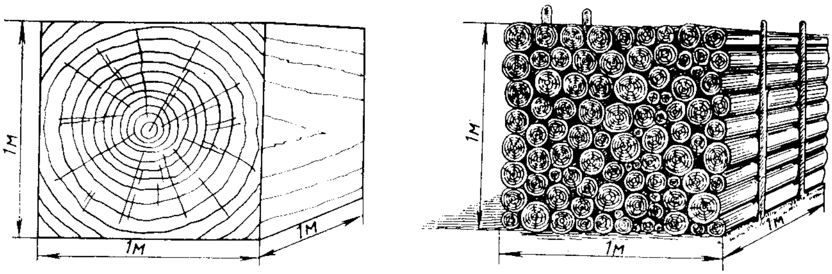


Рис. 5. Плотный слева и складочный справа кубические метры

в) количество древесины, содержащейся в древостое, взятом в целом или на 1 га,— запасом.

Основные учетные единицы — кубические метры — делятся на плотные и складочные.

Плотный кубический метр — это такое количество древесины, которое занимает пространство, имеющее длину, ширину и высоту, равные 1 м (рис. 5, слева). Все это пространство в плотном кубическом метре целиком занято древесиной без промежутков и пустот между отдельными отрезками.

Складочный кубический метр имеет ту же длину, ширину и высоту, но собственно древесиной заполнено не все занимаемое пространство, а лишь часть его (рис. 5, справа). Между отдельными поленьями складочного кубометра остаются не заполненные древесиной пустоты.

Желая выразить реализуемую часть дерева объемом продукта, который будет из нее выработан, в США приняли лесоучетную единицу, называемую досковым футом. Она появилась в первой половине XIX столетия и в Северной Америке получила весьма широкое распространение. Досковой фут представляет собой единицу измерения шириной 12 дюймов, толщиной 1 дюйм и длиной 12 дюймов.

Доски толщиной 1 дюйм содержат столько досковых футов, сколько имеется квадратных, или поверхностных, футов на одной стороне такой доски. Это обстоятельство привело к тому, что досковые футы отождествляют с поверхностными футами.

Торговые сделки, включающие как пиломатериалы, так и бревна, обычно производятся в больших масштабах. В связи с этим применяется термин тысяча досковых футов. Пиломатериалы и бревна обычно продают и покупают в тысячах досковых футов.

Измерение объема в досковых футах, когда речь идет о круглых лесоматериалах, имеет серьезный недостаток. Применяя эту единицу, пытаются установить объем в отношении основного продукта, который можно было бы выпилить из бревен. В этом отношении единица, выраженная в досковых футах, уникальна.

Основным возражением в отношении применения досковых футов для определения запаса древостоев или объема бревен является то, что эта учетная единица не дает полного объема древесины, содержащейся в дереве или бревне. Это происходит потому, что учитывается объем конечного продукта. При такой системе учета пренебрегают частью древесины, идущей в процессе производства в такие отходы, как опилки, горбыли и рейки.

Естественно, что количество досковых футов, содержащихся в бревне или дереве, в основном зависит от их размеров. Вместе с этим оно изменяется от наличия дефектов в древесине, толщины пил, количества отходов в горбыли и рейки, размеров пиломатериалов, величины сбега бревен и ряда других факторов.

Необходимость учета количества мелких сортиментов в необработанном виде обусловила применение единицы измерения, называемой кордом. Корд является складочной учетной мерой. Поленница, сложенная из отрезков ствола длиной 4 фута, имеющая высоту 4 фута и длину 8 футов и занимающая пространство ($4 \times 4 \times 8$) 128 куб. футов, называется кордом. При длине сортиментов больше 4 футов учет ведется в длинных кордах. Сортименты длиной 5 футов укладывают в штабель высотой 4 фута и длиной 8 футов. В этом случае корд занимает пространство 160 куб. футов.

В Соединенных Штатах Америки приблизительной единицей измерения объема древесины, уложенной в штабель, является пен. Он представляет собой штабель 6 футов высотой, в котором поленья уложены рядами накрест один к другому. Пять пенов принимаются за один корд.

Анализируя единицы измерения, применяемые в Северной Америке, Бетрам Хуш отмечает, что продолжающееся применение доскового фута вместо кубического, несмотря на явные его недостатки, указывает на силу привычки и традиции, побеждающие логику. Для лесного хозяйства и лесной промышленности было бы более выгодным, если бы кубический фут был принят в качестве единицы измерения объема.

Рассмотрение американских учетных единиц позволяет заключить, что они менее совершенны, чем принятые в нашей стране. Американский учет древесины в кубических футах, досковых футах, кордах и пенах крайне осложняет и запутывает технику учета. Вместе с этим при определении объемов в досковых футах учитывается не вся древесная масса, а часть ее, составляющая в бревне 65—70 %, а в стволе, взятом в целом, 35—50 %.

Соответственно учетным единицам для определения объемов заготовленных лесоматериалов, растущих деревьев и запасов древостоев выведены формулы, по своей конструкции и параметрам резко отличные от наших таксационных формул. Вместе с этим специфика учетных единиц повлекла за собой разработку особой лесоучетной техники.

Все это обусловило существенную разницу между нашей и американской теорией и практикой таксации леса.

§ 2. ИЗМЕРЕНИЯ

Изучение методов лесных измерений является основой курса лесной таксации.

В связи с этим рассмотрим некоторые теоретические предпосылки, характеризующие измерения как метрологические действия, опирающиеся на учение о мерах.

Измерением принято называть действие, устанавливающее численное отношение между измеряемой величиной и заранее выбранной единицей измерения, которую нередко называют масштабом или эталоном.

Измерение является одной из древнейших операций, применяемых человеком в общественной практике. Фридрих Энгельс указывал, что всякое познание есть чувственное измерение.

С развитием человеческого общества измерения приобретают все большее значение в разных областях производства, техники и науки. Удовлетворение многообразных потребностей общества немыслимо без использования измерений в его различных формах. Весы, часы, термометры, барометры и другие измерительные приборы и инструменты находят самое широкое применение в нашей повседневной практике.

В современном производстве и науке большую роль играют высокоточные измерения. Соединение измерительных и регулирующих устройств позволяет автоматизировать ряд производств.

Измерения имеют большое значение в развитии разных областей науки. Еще в прошлом столетии Д. И. Менделеев писал: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять; точная наука немыслима без меры».

Роль точных измерений особенно возросла в наши дни. Овладение космосом, запуски космических кораблей стали возможными в результате точных измерений и основанных на них расчетов. Создание сложнейших электронных счетно-решающих устройств явилось базой для реализации результатов точных измерений.

При единичном измерении мы получаем число, являющееся относительной величиной. Получение совокупности такого рода единичных измерений является предварительной стадией в решении того или иного научного вопроса. В естествознании измерения служат материалом для вскрытия законов изучаемых явлений. В научных дисциплинах законы формируются математически на основании измерений.

Измерения делятся на прямые, косвенные и совокупные.

Прямыми называют такие измерения, при которых результат получается непосредственно в процессе измерения. Примером прямого измерения является измерение длины предмета посредством прикладывания к нему градуированной линейки.

Являясь наиболее простыми, прямые измерения осложняются в тех случаях, когда требуется их выполнить с большой точностью. В этом случае приходится определять погрешность измерительных приборов и все условия их применения.

Косвенными измерениями называют такие результаты которых получаются на основании прямых измерений нескольких величин, связанных с искомой величиной некоторым уравнением, дающим возможность вычислить значение последней по экспериментальным данным.

Косвенные измерения аналитически могут быть представлены уравнением $y=F(x_1, x_2, x_3, \ldots)$, где y — искомое значение косвенно измеряемой величины: F — знак функциональной зависимости; x_1, x_2, x_3 — значения величин, найденных при помощи прямых измерений. Косвенные измерения в лесной таксации находят применение при выявлении показателей, характеризующих форму древесных стволов.

Совокупными измерениями называют такие, при которых искомые величины определяются из совокупности прямых измерений и ряда вычислений, выполняемых по соответствующим уравнениям. Этот вид измерений находит применение чаще всего в лабораторной практике.

Всякое измерение неизбежно связано с погрешностями, обусловленными целым рядом факторов. Для приближения результата измерения к действительному значению измеряемой величины разработаны методики, выявляющие возможные источники погрешностей.

Если значение погрешности измерения и ее знак известны, то приближение к действительному значению измеряемой величины осуществляется путем сложения поправки с наблюденным значением величины.

В тех случаях, когда погрешность имеет оба знака (плюс и минус), она характеризует возможную максимальную погрешность измерения.

Величина погрешностей для отдельных приборов и инструментов обычно предусматривается соответствующими стандартами, устанавливаемыми на эти приборы и инструменты.

В развитии технического прогресса огромное значение имеют а в т о м а т и ч е с к и е измерения, производимые без непосредственного участия человека. Такие простейшие измерительные приборы, как часы, термометр, барометр, пружинные весы, с момента их изобретения являются приборами автоматическими.

К автоматическим относятся все измерения, осуществляемые регистрирующими, визуальными, интегрирующими и другими приборами, воспроизводящими измеряемую величину в виде указания на шкале. При таксации леса, осуществляющей массовые лесные измерения, автоматические приборы и инструменты до сих пор не применяются. С учетом этого обстоятельства выше были изложены некоторые краткие данные, характеризующие в общем виде развитие автоматизации измерительных процессов и их применение в других отраслях техники.

Эти общие данные об автоматизации измерительных процессов должны служить некоторым ориентиром при дальнейших научных изысканиях в области таксационных измерений.

§ 3. ТАКСАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

Приборы, дающие численное значение измеряемой величины по отсчетным приспособлениям (шкалам, циферблатам и др.), называются показывающими. Эти приборы предварительно подвергаются градуированию, результаты которого фиксируются на отсчетных приспособлениях.

Показывающие приборы делятся на приборы с визуальным отсчетом (например, термометры, тахометры, часы и др.) и самопишущие приборы, записывающие последовательные значения измеряемой величины за тот или иной промежуток времени (самопишущие амперметры, термографы, осциллографы и т. д.). Наиболее распространены в практике приборы со шкалой и указателем в виде стрелки.

Особую группу составляют интегрирующие приборы, дающие в конечном итоге интегральное (суммарное) значение измеряемых величин за тот или иной промежуток времени (например, электрические счетчики).

Помимо перечисленных видов, применяются измерительные приборы. Они разделяются на приборы ручного действия (ручной наводки), например планиметр, высотомер, теодолит и др., и приборы автоматического действия (измерительные автоматы). Эта последняя категория приборов автоматически выполняет поставленную задачу измерения. Качество измерительных приборов обусловливается их правильностью, точностью, чувствительностью и постоянством.

Правильностью измерительного прибора называют степень приближения его показания к действительному значению измеряемой им величины. Правильность измерительного прибора характеризуют установлением систематических погрешностей, определяющих отклонение показаний прибора от действительного значения измеряемой величины.

Точностью измерительного прибора называют степень достоверности результата измерения, получаемого данным прибором. Она характеризуется алгебраической суммой погрешностей.

Отношение линейного или углового перемещения указателя к изменению значения измеряемой величины, вызвавшему это перемещение, называют чувствительностью измерительного прибора.

Наименьшее значение измеряемой величины, вызывающее минимальное перемещение указателя, именуется порогом чувствительности прибора.

Степень приближения друг к другу повторных показаний, полученных в результате измерения одной и той же величины при одинаковых внешних условиях работы прибора, называют постоянством измерительных приборов.

Выше было отмечено, что в измерительных приборах результаты измерения фиксируются на отсчетных устройствах, называемых шкалами. Термин шкала происходит от латинского слова scala (скала), что в переводе на русский язык означает лестница. В соответствии с произношением, принятым в латинском языке, довольно часто вместо слова шкала говорят скала.

Шкала, или скала, представляет собой прямую или кривую линию, каждой точке которой соответствует определенное значение той переменной величины, для измерения которой они предназначена. Линия шкалы носит название ее основания или носителя. Кроме того, эту линию именуют осью шкалы. Для отыскания на шкале нужной точки или, иными словами, для прочтения по ней искомого результата некоторые точки шкалы снабжаются соответствующими пометками с таким расчетом, чтобы промежуточные значения между помеченными точками можно было с достаточной для практики точностью определить на глаз.

Отметка точек шкалы производится посредством различной длины штрихов, пересекающих линию (основание) шкалы в соответствующих точках. У некоторых из штрихов ставят цифры, указывающие числовые значения помеченных точек. Расстояние между соседними штрихами, измеренное по линии шкалы, называют графическим интервалом шкалы. Разность между числовыми пометками соседних штрихов именуют числовым интервалом.

В лесной таксации числовые интервалы, наносимые на шкалы приборов, предназначенных для измерения толщины деревьев, называют ступенями толщины. Последние могут быть 1; 2; 4 и 5 см. В лесохозяйственной практике нашей страны приняты ступени толщины 4 см. В Западной Европе довольно часто применяют ступени толщины 5 см.

Штрихи на шкалах разных приборов часто называют делениями. Однако такое их название нельзя считать правильным, так как деление есть расстояние между штрихами.

Для измерения длины сваленных деревьев и заготовленных из них лесоматериалов применяют мерные шесты и мерные ленты.

Мерные шесты обычно изготовляют из сухих тонких прямых стволиков. Для работы более удобны шесты длиной 3 м. На шесты наносят деления через каждые 10 см, отмечая метры и полуметры более заметными знаками.

Мерные ленты, или рулетки (рис. 6), служат чаще всего для измерения длины круглого леса и поленниц, в которые уложено значительное количество дров. Длина рулетки — от 5 до 20 м. Изготовляют ее из тонкой стали или плотного полотна. Деления нанесены в метрах и сантиметрах. Полотняная тесьма рулетки со временем вытягивается, что приводит к систематическим ошибкам в измерении. Рулетки со стальной лентой для работы в лесу неудобны, так как нанесенные на них цифры плохо заметны. Кроме того, стальные ленты хрупки и часто ломаются.

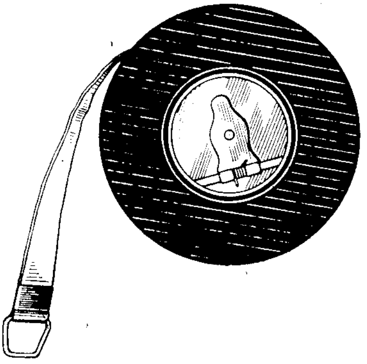


Рис. 6. Мерная лента (рулетка)

Толщину (диаметр) растущих или сваленных деревьев измеряют лесной мерной вилкой; ею также можно измерять высоту растущих деревьев (рис. 7). Лесная мерная вилка — основной инструмент, применяемый при таксационных работах.

За длительный период развития таксационной техники сконструирован ряд мерных вилок. Все их разнообразие можно свести к трем типам, схематическое изображение которых дано на рис. 7, *в*, *г*, *д*.

Вилки первого типа состоят из мерной линейки с нанесенной на нее шкалой и двух параллельных брусков. Один из них неподвижно под прямым углом соединен с концом линейки. Второй брусок перемещается по линейке соответственно величине измеряемого диаметра ствола.

Вилку второго типа образуют закрепленные на линейке два бруска, являющиеся гранями угла величиной 120°. При этой конструкции вилок диаметр ствола определяется путем измерения хорд круга.

Вилки третьего типа состоят из стержня, двух закрепленных на нем брусков, образующих острый угол, и подвижного штока, входящего внутрь стержня. По длине отрезка штока от боковой поверхности ствола до стержня вилки определяют диаметр ствола. В вилке этой конструкции возможна замена штока мерной нитью, огибающей часть окружности ствола, входящую в раствор вилки.

У стволов, имеющих гладкую кору и поперечное сечение, близкое по форме к кругу, диаметры измеряются с одинаковой точностью мерными вилками всех трех типов.

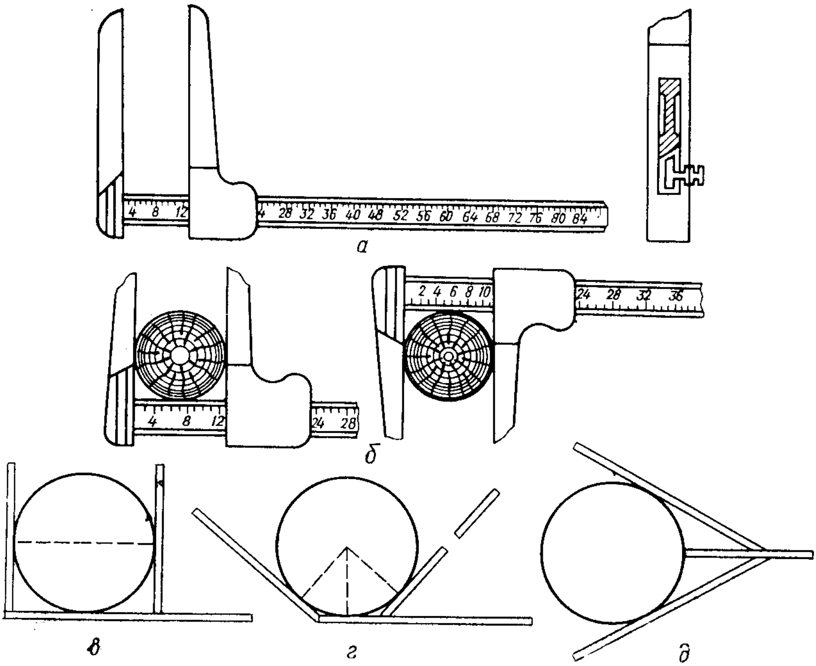


Рис. 7. Мерные вилки:
а — общий вид; *б* — измерение диаметра при различных положениях вилки; *в, г, д* — типы мерных вилок

При наличии существенных отклонений поперечных сечений стволов от формы круга с наибольшей точностью определяется толщина стволов мерной вилкой первого типа.

У вилки этого типа линейка имеет трапецеидальное поперечное сечение, в котором одна узкая сторона (кромка) перпендикулярна широким сторонам. На широких сторонах линейки сделаны выемки глубиной 1 мм (рис. 7, *а, б*), в которых нанесены перпендикулярно ее длине деления: с одной стороны сантиметровые, где цифры даны через 4 см, с другой полусантиметровые — с цифрами через 2 см.

У мерной вилки неподвижная ножка с утолщенным и уширенным основанием изготовлена из одного куска дерева. В основании ножки выдолблено сквозное продолговатое отверстие, в которое плотно входит конец линейки и скрепляется с ней двумя шурупами. Подвижная ножка также изготовлена из одного куска дерева. Один конец ее уширен. В нем сделан прямоугольный вырез, которым ножка надевается на линейку. Вырез с одной стороны закрыт съемной деревянной планкой, которая прикреплена к уширенной части ножки шестью шурупами. Вырез должен быть такого размера, чтобы ножка свободно передвигалась по всей длине линейки и в то же время плотно прилегала к ней, а рабочая плоскость ножки при всех положениях оставалась перпендикулярной линейке.

Подвижная ножка вследствие набухания и ссыхания деревянных частей расшатывается и образует с линейкой угол, который бывает больше или меньше прямого. Для устранения этого недостатка вырез в подвижной ножке делают несколько больших размеров и помещают в нем металлический вкладыш, снабженный пружинками и стопорным винтом с барашком. При завинчивании стопорного винта вкладыш плотно закрепляет подвижную ножку в любом месте линейки перпендикулярно ей. При набухании деревянных частей линейки вкладыш отводят с помощью винта назад.

Плоскости рабочих сторон ножек перпендикулярны линейке. При полном сближении обеих ножек их рабочие плоскости плотно соприкасаются. При измерении толщины дерева подвижную ножку отводят по линейке в сторону и ствол заключают между неподвижной и подвижной ножками. Толщину дерева определяют по линейке, на которую насажены ножки.

Для измерения толщины растущих деревьев устанавливают градации или, как их называют, ступени толщины в 2 или 4 см. Доли, составляющие меньше половины этих градаций, при измерении диаметров отбрасывают, а больше половины — принимают за целые числа.

Если на мерную вилку нанесены все деления подряд, начиная от 1 см, это затрудняет работу, так как при измерениях приходится каждый раз соображать, что сделать с неполной, дробной частью ступени, т. е. когда следует ее отбросить и когда насчитать за целое. Поэтому на линейку мерной вилки обычно наносят деления с округлением. Первое целое деление отмечают там, где в действительности приходится только половина его. Например, при округлении диаметров до 4 см первое деление 4 см наносят на расстояния 2 см от начала линейки, деление 8 — там, где должно быть число 6, деление 12 — на месте 10 и т. д. (см. рис. 7, *а, б*). Измеренный диаметр в этом случае отсчитывают по последнему делению, которое видно возле подвижной ножки с внутренней ее стороны и является округленным диаметром измеряемого дерева.

Лесная мерная вилка должна быть прочной, легкой, подвижная ножка — свободно и плавно перемещаться, деления должны быть нанесены точно, а цифры четко. Длина ножек вилки должна составлять несколько больше половины длины линейки. Размеры мерной вилки зависят от диаметров измеряемых деревьев.

В практике лесного хозяйства широко применяется мерная вилка, сконструированная научным сотрудником ВНИИЛМ В. В. Никитиным. Особенностью этой мерной вилки является то, что подвижная ножка у нее снабжена кареткой на двух шарикоподшипниках, катящихся по боковым граням линейки. В широкие стороны линейки врезана двойная масштабная шкала с миллиметровыми и четырехсантиметровыми делениями. Неподвижную ножку мерной вилки закрепляют на конце линейки штифтом с барашком в следующих положениях: для измерения по миллиметровой шкале на 0 (для точных измерений) и для измерения по четырехсантиметровой шкале на делении 2 см.

Вилка конструкции В. В. Никитина изготовляется из текстолита. Этот материал прочен, обладает стойкостью против коррозии и набухания, что позволяет вести работу при дождливой погоде. Наличие шарикоподшипников в каретке подвижной ножки вилки обеспечивает легкость хода каретки и отсутствие перекосов, искажающих показания на линейке.

Общая длина линейки 90 см, а ножек мерной вилки 45 см, масса мерной вилки около 600 г.

Л. П. Зайченко сконструирована мерная вилка, представляющая собой дюралюминиевую линейку, на концах которой установлены ножки, шарнирно соединенные с линейкой. Шкалы для измерения диаметров нанесены на линейку вилки.

При измерении диаметров левая ножка вилки фиксируется в определенном положении упором на линейке. Скошенная грань правой ножки в момент касания со стволом показывает на шкале его диаметр. Эта вилка портативна и удобна для перевозок.

В последнее время стремятся к созданию автоматических мерных вилок. Они облегчают сам обмер деревьев в лесу и позволяют автоматизировать обработку результатов перечета на электронно-вычислительных машинах. Такого рода вилки сконструированы в нескольких странах Западной Европы. В ГДР создана мерная вилка «Кюритц». С ее помощью измеряемые диаметры наносятся в закодированной форме на перфоленту, поступающую для обработки в вычислительную машину.

Для обмера деревьев большей частью существующих конструкций мерных вилок требуются два или три человека: один обмеряет деревья, другой записывает результаты обмеров в ведомость, а третий ставит отметку на дереве.

Толщину растущих деревьев можно измерять не на всем протяжении ствола, а лишь в комлевой его части. Толщину растущих деревьев измеряют на высоте 1,3 м от шейки корня, т. е. на высоте груди человека среднего роста. Поэтому в таксации принято называть диаметр, измеренный на высоте 1,3 м от шейки корня, диаметром на высоте груди.

Анализируя значение отдельных таксационных показателей, проф. М. Продан [44] указывает, что диаметр на высоте груди является наиболее легко и точно определяемым таксационным признаком. При необходимости он может измеряться у всех деревьев, тогда как все другие показатели измеряются только выборкой.

Возможность простого определения диаметра позволяет вывести другие показатели с помощью статистических связей или оценить их по величине самого диаметра. Перечет деревьев в на-

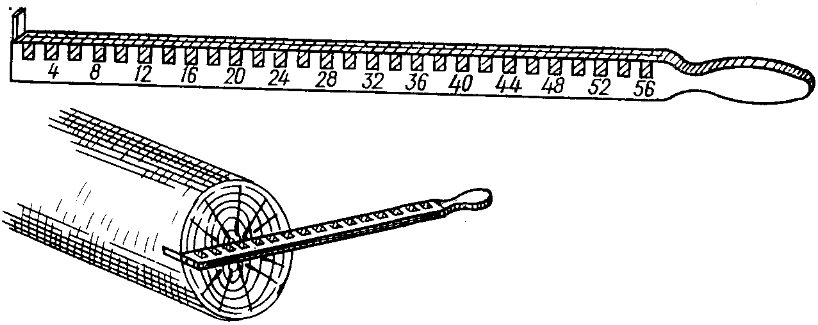


Рис. 8. Мерная скоба и обмер ею диаметров бревен

саждении (измерение диаметров) служит основой всех других измерений и вычислений.

Имея в виду эти соображения, обмеру диаметров, как основе таксации, надлежит придавать наибольшее внимание. По мнению проф. Продана, направление наибольшего диаметра вообще совпадает с направлением доминирующего ветра или с направлением склона. В связи с этим в каждом насаждении нужно определить направление наибольшего диаметра. Обмером деревьев под углом 45° к направлению наибольшего диаметра в значительной мере можно устранить ошибку в отклонении исчисляемых площадей сечений от истинных.

Толщину бревен и кряжей в СССР большей частью измеряют в тонком конце, который принято называть верхним отрезом. Толщину верхнего отреза можно измерить несложными инструментами — мерной скобой (рис. 8) или складным метром.

Мерная скоба представляет собой брусок длиной до 80 см с нанесенными с двух противоположных сторон сантиметровыми и полусантиметровыми делениями. На одном конце мерной скобы грани округляют и придают им форму ручки. Второй конец оковывают железом, имеющим выступ. Отсчет сантиметровых делений на линейке мерной скобы ведется в направлении от железного выступа к ручке.

При обмере бревен мерную скобу прикладывают к торцу или срезу бревна так, чтобы линейка проходила посередине среза, а железный выступ или крючок упирался в край среза. Деление линейки, с которым совпадает противоположный край, показывает толщину бревна в месте обмера. Толщиной всего бревна считают среднее между его наибольшим и наименьшим диаметрами.

Высотомеры

За 200-летний период развития таксационной техники сконструирован целый ряд высотомеров, опирающихся на геометрические и тригонометрические построения.

Подробное описание старейших конструкций высотомеров дано в учебнике по лесной таксации Удо Мюллера (Müller U., Lehrbuch der Holzmesskunde, Berlin, 1915).

Результаты исследования точности и производительности 19 высотомеров приводит Ф. Корсунь в статье «Высотомер» в чехословацком «Лесном научном словаре». В этой статье все высотомеры делятся на две группы:

а) высотомеры, требующие измерения базы (расстояния от дерева до наблюдателя);

б) высотомеры, не требующие этого измерения.

Каждая из этих двух групп в свою очередь делится на подгруппы. В конечном итоге Ф. Корсунь дает довольно сложную классификацию высотомеров.

Наиболее производительными он считает высотомеры второй группы. По его мнению, будущее принадлежит высотомерам этой группы. Рассматриваемым ниже конструкциям высотомеров (Блюме — Лейсса, «Метра» и др.) Ф. Корсунь дает невысокую оценку. Эти высотомеры он считает сложными, дорогими и имеющими лишь теоретическое значение. Для измерения высот деревьев Ф. Корсунь считает возможным использовать эклиметры (уклономеры). Однако, по его наблюдениям, производительность обмера высот эклиметрами ниже, чем высотомерами первой группы, требующими измерения базы.

Проф. Жан Парде [42] высотомерам дает следующую классификацию:

1. Высотомеры, при которых измерения производятся с расстояния равного высоте деревьев (они обоснованы на принципе подобных и равносторонних треугольников).

2. Высотомеры, при которых можно производить измерения высот на любом расстоянии от дерева (высотомер Блюме — Лейсса, зеркальный высотомер Фаустмана, высотомер Вейзе и др.).

3. Высотомеры, при которых не требуется измерения расстояния до дерева (высотомер Христена).

4. Высотомеры, при которых не требуется измерения расстояния до дерева и не нужна рейка, приставляемая к дереву (этот способ основан на тригонометрическом решении треугольников). Он все же сложен для практического применения.

Исходя из анализа классификаций высотомеров, предложенных д-ром Ф. Корсунем и проф. Парде, нами рекомендуется следующая более простая их классификация:

1. Высотомеры, основанные на принципе подобия треугольников (высотомеры: Фаустмана, Вейзе, Христена, маятниковый высотомер, измерение высот мерной вилкой).

2. Высотомеры, базирующиеся на тригонометрических построениях (высотомер Блюме — Лейсса, американский высотомер Хага, эклиметр).

3. Высотомеры, основанные на оптическом прицеле (оптический высотомер автора настоящего учебника).

Ниже рассматриваются наиболее распространенные конструкции высотомеров.

Высотомер Фаустмана. В конце прошлого века широкое распространение получил зеркальный высотомер Фаустмана. В настоящее время он постепенно вытесняется приборами более совершенных конструкций.

Зеркальный высотомер Фаустмана (рис. 9) представляет собой прямоугольную дощечку размером 10×15 см. У высотомера имеются два диоптра: глазной и предметный. В пазах, выпиленных поперек дощечки высотомера, есть выдвижная пластинка, по краям пазов на дощечке нанесены деления, к концу пластинки прикреплен отвес. Выдвижную пластинку можно вставлять в паз обоими концами. Деления на ней соответствуют расстоянию до измеряемого дерева.

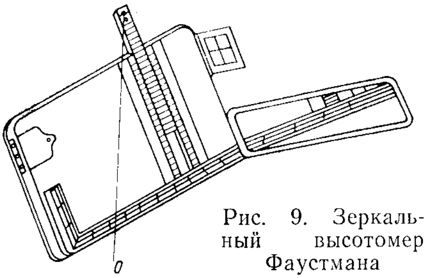


Рис. 9. Зеркальный высотомер Фаустмана

Если выдвижная пластинка концом, к которому прикреплен отвес, обращена вниз, отсчеты производят по ее левой стороне, если вверх — по правой. Разница между расположенными на одном и том же уровне цифрами, нанесенными на правой и левой шкале, равна длине выдвижной пластинки.

У нижнего края дощечки имеется третья (продольная) шкала, на которую нанесены деления для определения высоты дерева. К концу дощечки против продольной шкалы прикреплено на шарнире зеркало. Для определения высоты дерева сначала измеряют расстояние в метрах от основания дерева до места, в котором находится наблюдатель. Затем выдвижную пластинку высотомера устанавливают в такое положение, чтобы от места прикрепления отвеса до нуля на продольной шкале было расстояние с числом делений, равным числу метров от дерева до наблюдателя.

При визировании через диоптры высотомера на вершину дерева получаются два подобных треугольника, у которых две стороны взаимно перпендикулярны. На продольной шкале отвес отсекает деление, определяющее число метров, равное высоте дерева, минус часть, равную расстоянию от земли до глаза наблюдателя. Для более удобного отсчета деления, пересекаемого отвесом, зеркало ставят так, чтобы в нем была видна пересекаемая нитью отвеса шкала. Чтобы цифры в зеркале получились в прямом изображении, на продольной шкале их дают в обратном изображении. Прибавив к числу делений, отграниченному отвесом, расстояние от земли до глаза наблюдателя, получают общую высоту измеряемого дерева.

На продольной шкале высотомера деления расположены по обе стороны от нуля, стоящего против выдвижной пластинки. Это дает возможность при измерении высоты делать два отсчета: на вершину и основание дерева. Если эти отсчеты расположены по разным сторонам от нуля, общую высоту дерева составляет сумма обоих отсчетов, если по одну сторону — разность между отсчетом на вершину и на основание.

Точность измерения зеркальным высотомером ±0,3 м. Основной недостаток прибора заключается в том, что при визировании на вершину дерева вследствие неустойчивости положения руки, а также под влиянием ветра нить отвеса качается и точно установить на шкале высот деление, пересекаемое нитью отвеса, трудно. Кроме того, для фиксирования деления наблюдатель должен перевести взгляд с вершины дерева на отраженную в зеркале шкалу высот, а при этом не исключена возможность изменения положения высотомера, что повлечет за собой ошибку в установлении высоты дерева.

Высотомер Христена. В Скандинавских странах и США широко применяется высотомер Христена. Принцип его устройства виден из рис. 10. На этом рисунке отвесная линия ab параллельна стволу стоящего дерева AB. Следовательно, треугольник AOB подобен треугольнику aOb и

$$AB : AC = ab : ac, \qquad ac = \frac{AC \cdot ab}{AB}.$$

Допустим, что ab представляет собой стержень, на котором вверх от точки c нанесено деление длиной ac. В этом случае, приближая глаз O к стержню ab или удаляя его, можно добиться такого положения, при котором лучи зрения Oa и Oc на стволе дерева отсекут точки A и C. При таком визировании расстояние от наблюдателя до дерева может быть различным и в измерении его нет необходимости.

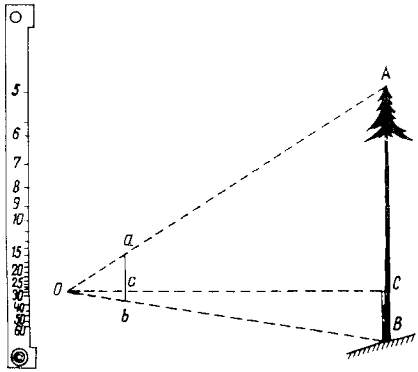


Рис. 10. Высотомер Христена

Для стержня ab и для определенной длины рейки CB можем вычислить величины ac при разных высотах AB и нанести их на стержень.

Находясь от дерева на произвольном расстоянии и приближая или удаляя от глаза высотомер, можем добиться такого положения, при котором стержень ab полностью покроет дерево AB. В этом случае деление c, на котором стержень ab пересекается лучом зрения OC, направленным на верхний конец приставленной к дереву рейки BC, покажет высоту дерева.

Прибор Христена является отличным инструментом для измерения высоты низкорослых деревьев. Такой высотомер и рейку, приставляемую к дереву, таксатор может изготовить сам из тонкого стволика дерева. Деления, определяющие высоту деревьев можно сделать, сняв полоски коры на стержне высотомера.

Преимущество высотомера Христена состоит в том, что он не требует измерения базиса. Независимо от рельефа таксируемого участка, без всяких дальнейших поправок, при одном отсчете по высотомеру получается конечная высота дерева. Поэтому определять этим высотомером высоту деревьев можно очень быстро. По данным проф. В. К. Захарова [14], за 1 ч можно измерить высоту до 70 деревьев. Точность определения 3—5 %.

Высотомер Христена в 1952 г. улучшил югославский инженер Никола Айк. Новая конструкция имеет корпус длиной 50 см, на который нанесена шкала высот. Высотомер снабжен рукояткой, позволяющей удалять его от глаза на расстояние большее длины руки и тем самым увеличивать масштаб, в котором измеряется высота деревьев. При длине корпуса высотомера 50 см деления на шкале оказываются более крупными, чем в старой конструкции высотомера Христена, вследствие чего при измерении высоты обеспечивается большая точность. Рукоятка высотомера связана с его корпусом карданным шарниром. Такой шарнир дает возможность свободно передвигать рукоятку во всех направлениях и при измерении высоты автоматически обеспечивает вертикальное положение корпуса высотомера. Свободное вращение ручки позволяет держать высотомер при работе им как в левой, так и в правой руке.

Чтобы высотомер при хождении по лесу не обременял таксатора, он сделан складным. Для работы этим высотомером необходима 5-метровая рейка, приставляемая к измеряемым деревьям. Рейку делать раздвижной.

При измерении высоты деревьев улучшенным высотомером Христена достигается следующая точность: при высоте до 25 м погрешность составляет 0,1—0,25 м, при высоте до 40 м—0,35—0,5 м, при высоте свыше 40 м — 0,5—1 м.

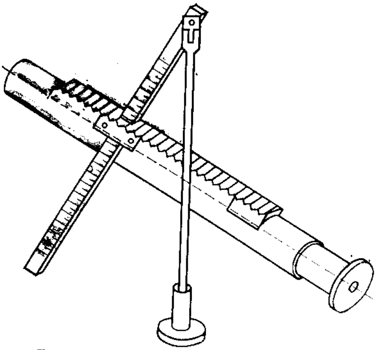


Рис. 11. Высотомер Вейзе

Высотомер Вейзе. Высотомер Вейзе (рис. 11) состоит из медной раздвижной трубки, имеющей на концах предметный и глазной диоптры. Сбоку к трубке высотомера прикреплена линейка, на которой нанесены деления для измерения высоты дерева. В линейке имеется отверстие, в которое вставлен медный стержень, удерживаемый пружиной на разной высоте. Деления на стержне служат для фиксации на высотомере расстояния от дерева до таксатора. К верхнему концу стержня прикреплен металлический отвес. Нулевое деление на стержне находится в точке прикрепления отвеса, а нулевое деление на линейке — против середины отверстия, в которое вставлен стержень. Один край линейки имеет мелкие зубцы. Размер каждого зубца равен величине деления на линейке.

При измерении высоты дерева стержень выдвигают на число делений, равное числу метров от дерева до наблюдателя. При визировании через диоптры трубки на вершину дерева металлический отвес остановится против деления, определяющего высоту дерева, в равнинной местности уменьшенную на рост таксатора. Чтобы на шкале высот сделать отсчет, в момент визирования на вершину дерева трубку слегка поворачивают вокруг ее продольной оси. В этот момент металлический трехгранный отвес войдет в пазуху между двумя зубцами линейки. Деление шкалы, расположенное против этой пазухи, укажет высоту части дерева, расположенной выше глаз наблюдателя.

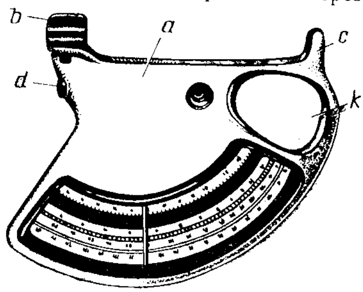


Рис. 12. Высотомер Блюме — Лейсса

Измерение высоты высотомером Вейзе, как и зеркальным высотомером Фаустмана, основано на подобии прямоугольных треугольников со взаимно перпендикулярными сторонами.

Высотометр Блюме — Лейсса. Высотометр Блюме — Лейсса имеет корпус *a* в виде сектора круга (рис. 12). Глазной *c* и предметный *b* диоптры расположены в концах верхней грани корпуса высотомера. Рядом с предметным диоптром находится спускной крючок *d*, который закрепляет в нужном положении маятник высотомера. В верхней части корпуса имеется вырез *k*, через который пропускают большой палец руки при визировании на вершину дерева.

1. ВЫСОТА ДЕРЕВЬЕВ И ГЛУБИНА ПОНИЖЕННЫХ МЕСТ, ИЗМЕРЯЕМЫЕ ВЫСОТОМЕРОМ БЛЮМЕ — ЛЕЙССА

Расстояние до измеряемых предметов, м	Высота над уровнем глаза, м	Углубление по отношению к уровню глаза, м	Расстояние до измеряемых предметов, м	Высота над уровнем глаза, м	Углубление по отношению к уровню глаза, м
15	До 20	До 7,5	30	До 45	До 15,0
20	» 30	» 10,0	40	» 60	» 20,0

На обратной стороне корпуса шурупами прикреплена табличка, содержащая поправки к измерениям при гористом рельефе. Эта же табличка позволяет перевести градусы уклона местности в проценты.

Высотомер изготовлен из легкого металла. Его механические части помещены внутри корпуса, что исключает повреждение механизма. Масса высотомера 320 г, размеры 18×15×2 см.

Высота деревьев определяется по четырем дугообразным шкалам с высотными делениями. Каждая шкала служит для визирования на дерево с различных расстояний: 15; 20; 30 и 40 м. С помощью пятой, нижней, шкалы определяют в градусах крутизну склонов, проводят нивелирование дорог и канав. Все шкалы защищены стеклом.

Высота деревьев и глубина пониженных мест, которые можно определять с помощью четырех шкал высотомера, приведены в табл. 1.

При измерении высоты дерева сначала необходимо определить расстояние от измеряемого дерева до таксатора. Для этой цели служит базисная складная лента, закрепляемая на измеряемом дереве с таким расчетом, чтобы ее нулевое деление было расположено на высоте глаз. Таксатор отходит от измеряемого дерева и, передвигаясь на несколько шагов вперед или назад, в оптический измеритель ищет одно из четырех чисел (15; 20; 30 или 40), находящихся на базисной ленте на том же уровне, что и нулевое деление. Допустим, что в оптическом измерителе получилось изображение, при котором нулевое деление стоит на одном уровне с делением 20. Это означает, что расстояние от основания ствола измеряемого дерева до уровня глаз таксатора равно 20 м.

Чтобы добиться точного определения расстояния при рассматривании через оптический измеритель базисной ленты, высотомер необходимо слегка поворачивать. Тогда получится наиболее ясное изображение базисной ленты.

Установив расстояние от пункта наблюдения до дерева, надо нажать на кнопку, находящуюся на обратной стороне высотомера. В результате освободится маятник. Сначала визируют на вершину дерева, а затем на его основание. Визирование должно продолжаться до тех пор, пока маятник не перестанет качаться, т. е. не встанет в вертикальное положение. После этого, не переставая через диоптры визировать на вершину дерева, нажимают указательным пальцем на спускной крючок. Тогда маятник остановится на том делении шкалы, которое будет определять высоту дерева от вершины до уровня глаза. Визирование на основание дерева аналогично визированию на его вершину. С его помощью определяют расстояние от шейки корня дерева до глаза наблюдателя. Суммируя результаты отсчета на шкале при визировании на вершину и на основание дерева, находят его высоту.

Если таксатор находится в горах ниже уровня основания дерева, необходимо отсчет при визировании на основание вычесть из отсчета при визировании на вершину дерева. Когда дерево расположено на склоне крутизной более 10°, необходимо внести поправку на рельеф. Для этого с помощью пятой шкалы высотомера определяют угол наклона. В поправочной таблице находят величину поправки на высоту, соответствующую установленному углу наклона, и умножают ее на высоту дерева. Полученный результат вычитают из ранее определенной высоты дерева.

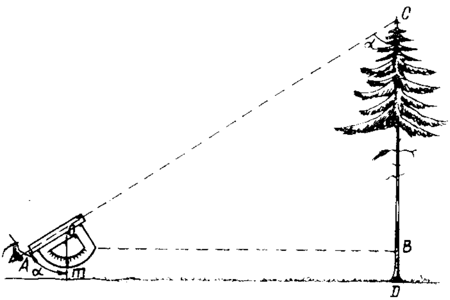


Рис. 13. Измерение высоты дерева маятниковым высотомером

Устройство высотомера маятниковой конструкции, каким является высотомер Блюме — Лейсса, основано на тригонометрических расчетах.

Предположим, надо измерить высоту дерева *CD* (рис. 13). Отойдем от дерева на расстояние $AB=10$ м и из точки *A* будем визировать на вершину измеряемого дерева. При этом маятник высотомера, обозначенный на рисунке линией *om* займет вертикальное положение. Маятник и визирная трубка образуют угол, равный углу *ACB*. Оба эти угла на рисунке обозначены через α. Отношение длины *AB* к длине линии *BC* составляет тангенс угла α. Длина линии *AB* принимается постоянной, равной 10 м.

Возьмем другой пример. Требуется измерить высоту у двух деревьев. Высота первого дерева от уровня глаза наблюдателя до вершины равна 10 м, второго дерева — 15 м ($C_1B_1=10$ м, $C_2B_2=15$ м). Соответственно этим условиям тангенс угла α, образуемого маятником и визирной линией, будет равен:

а) для первого дерева

$$\operatorname{tg}\alpha=\frac{AB}{C_1B_1}=\frac{10}{10}=1;$$

б) для второго дерева

$$\operatorname{tg}\alpha=\frac{AB}{C_2B_2}=\frac{10}{15}=0{,}67.$$

Аналогичным способом могут быть найдены тангенсы углов α, образуемых маятником и линией визирования, для деревьев любой высоты.

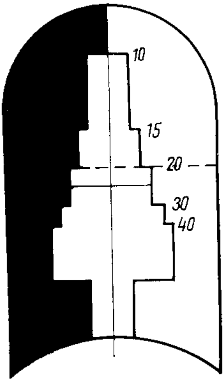
Тангенсу, равному 1, соответствует угол 45°, а тангенсу, равному 0,67 — ол 33°40′. Эти углы наносят на сектор высотомера.

При их построении за вершину угла берут ось маятника, а за одну из орон этого угла — линию, проходящую через ось маятника параллельно зирной линии. Угол равный 45° на секторе отмечают делением и под ним авят цифру 10. Маятник высотомера будет отсекать это деление тогда, гда высота дерева над уровнем глаза наблюдателя будет равна 10 м.

Против деления, соответствующего углу 30°40′, наносят цифру 15. Она ределит высоту дерева, превышающего уровень глаза наблюдателя на м.

Аналогичным методом наносят на шкалу высотомера деления для опреления всех прочих высот деревьев, разнящихся между собой на 1 м.

Высотомер «Метра». В Чехословакии сконструирован высотомер, носящий название «Метра». Конструкции этого высотомера и высотомера Блюме — Лейсса



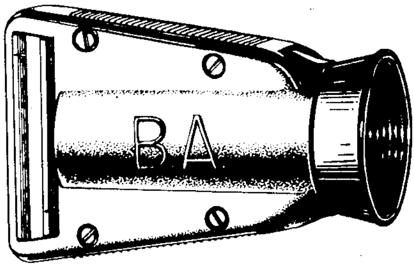


Рис. 14. Диоптр-дальномер чехословацкого высотомера «Метра»

Рис. 15. Оптический высотомер (общий вид)

сьма близки. Разница заключается в том, что в «Метра» преднный диоптр одновременно является дальномером, позволяюим измерять расстояние от дерева до наблюдателя. Диоптрльномер представляет собой ступенчатую рамку (рис. 14). дальномерной рамке отдельные расстояния до дерева фиксиются разной шириной рамки, имеющей несколько уступов. При определении расстояния до дерева к его стволу ставят метровую палку. Если при визировании на дерево верхний нец палки окажется в дальномере на уровне цифры 10, то о означает, что таксатор находится от дерева на расстоянии м. Если бы конец палки оказался на уровне цифры 20, то едовательно, расстояние до дерева было бы равным 20 м.

Чтобы расстояние до дерева было кратным 5, таксатор перемигается вперед или назад, стремясь при этом достигнуть тако положения, при котором конец 2-метровой палки находился бы на линии визирования, проходящей через соответвующее число дальномера.

Оптический высотомер (ВА). Автором данного учебника онструирован высотомер, названный оптическим (рис. 15). Он остоит из корпуса, смонтированного из двух симметричных половинок, стянутых винтами. Внутри корпуса в отдельном тубусе размещена оптическая система: объектив и окуляр. Оптическая система в несколько раз уменьшает изображение предмета. Объектив состоит из двух вогнуто-выпуклых линз. Окуляр прибора снабжен наглазником. На корпусе прибора со стороны объектива нанесены две отсчетные шкалы: одна для измерения с расстояния 15 м, вторая — 20 м.

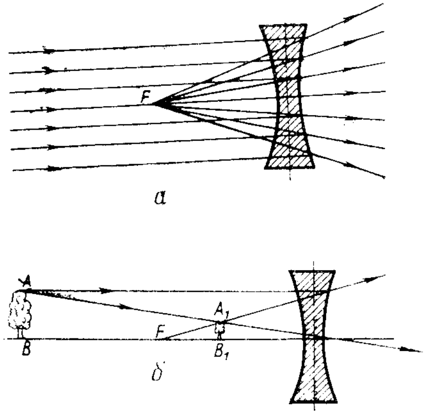


Рис. 16. Ход лучей в оптическом высотомере:

а — ход лучей в рассеивающей линзе; *б* — уменьшенное изображение дерева

Регулировка прибора осуществляется путем передвижения тубуса относительно шкал. При этом необходимо ослабить винты, стягивающие корпус прибора.

В оптическом высотомере лучи света, идущие от измеряемого дерева *AB*, после прохождения через рассеивающую линзу (объектив) расходятся веером (рис. 16).

Если эти лучи попадут в глаз, то мы увидим мнимое прямое изображение дерева A_1B_1, которое будет сильно уменьшенным.

При непосредственном глазомерном наблюдении высоких деревьев с близкого расстояния угол зрения очень велик (порядка 60°).

Визирный прибор, сконструированный для измерения такого большого угла, будет громоздок. В портативном визирном приборе этот угол должен быть уменьшен.

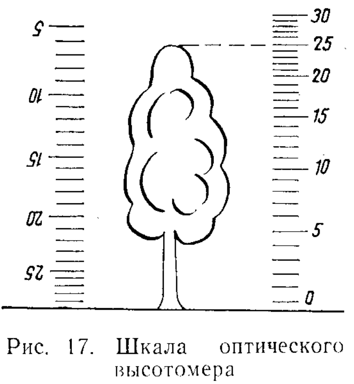


Рис. 17. Шкала оптического высотомера

Рассеивающие линзы в данном случае и применяются для того, чтобы сузить угол зрения при измерении высоких объектов. В передней части высотомера имеется прямоугольная прорезь, через которую рассматривается измеряемое дерево. При небольших габаритах прибора шкалы, нанесенные на внутренней поверхности передней стенки высотомера, расположены на близком расстоянии от глаза, поэтому для лучшей их видимости в окулярной части прибора установлена слабая лупа (+5 диоптрий).

Лупа мало влияет на изображение, получаемое при помощи объектива. Установкой окуляра (лупы) достигается возможность одновременного рассматривания уменьшенного изображения дерева и высотомерных шкал.

Преимуществом данной схемы является то, что она дает прямое изображение. В ряде же других оптических устройств, например в некоторых дальномерах, получается обратное изображение. Во многих оптических измерительных приборах для того, чтобы получить прямое изображение, прибегают к дополнительной установке призм или даже систем призм. Это сильно усложняет изготовление приборов и затрудняет их юстировку (точную подгонку, регулирование).

Отмеченные недостатки не имеют места в рассматриваемой конструкции высотомера, так как настройка окулярной лупы на шкалу сложности не представляет.

Устройство высотомерных шкал рассмотрим более подробно. Каждое деление шкалы соответствует 1 м высоты дерева. Шкалы оказались сбегающими к их верхним концам. Они получены опытным путем. Каждые 5 м высоты деревьев на шкалах отмечены удлиненными штрихами, и против них поставлены соответствующие числа, определяющие высоту дерева в метрах (рис. 17).

Лучшие результаты измерения высоты любым высотомером оказываются в том случае, когда базис измерения или расстояние от дерева до таксатора близки к высоте дерева. В северных лесах СССР преобладают низкобонитетные древостои, имеющие высоту 13—18 м, а в средней полосе в приспевающих и спелых древостоях преобладают высоты от 18 до 27 м. Соответственно этим наиболее распространенным высотам высотомер имеет две шкалы. Одна из них вычерчена применительно к базису 15 м, а вторая имеет базис 20 м.

До нужных размеров шкалы доведены путем их фотографирования. Они наклеены на шкалоносители противоположными концами. Это сделано с той целью, чтобы при измерении высоты с заданного базиса одновременно можно было сделать отсчет лишь по одной шкале, а вторая из них в этот момент была бы в перевернутом виде.

Высоту деревьев лучше измерять с одного расстояния, для чего можно было бы использовать дальномер той или иной конструкции. Однако опыт убедил нас в том, что хороших конструкций дальномеров, освобождающих от подвешивания на измеряемые деревья специальных лент и знаков, пока не найдено.

Пользование существующими конструкциями дальномеров не имеет преимуществ перед непосредственным промером рулеткой или другим инструментом дистанции длиной 20—25 м.

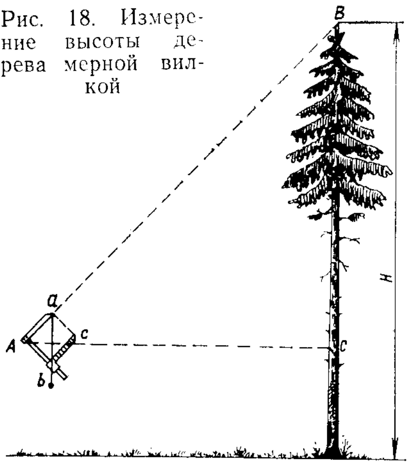
В равнинной местности после небольшой тренировки таксатору удается измерять расстояние от дерева шагами с точностью до 0,5 м на дистанцию 20 м. Короче говоря, промер расстояний шагами обеспечивает точность 2,5—3 %. Такая точность для производственных таксационных измерений достаточна.

Пользование оптическим высотомером очень просто. Свободным концом от насадки высотомер обращаем к глазу и наглазник плотно прижимаем к глазу. Дерево, рассматриваемое через оптический высотомер, получит изображение за объективом в прямоугольной прорези стенки, несущей шкалы (см. рис. 17).

При этом нижнее нулевое деление шкалы нацеливаем на корневую шейку измеряемого дерева. При соблюдении этого условия вершина дерева отсечет деление, определяющее его высоту. На рис. 17 высота дерева оказалась равной 25 м.

Оптический высотомер по сравнению с существующими конструкциями высотомеров имеет ряд преимуществ. Прежде всего он прост в работе и позволяет мгновенно определять высоту дерева. Одновременно с общей высотой дерева оптическим высотомером можно измерять протяжение кроны дерева и длину очищенной от сучьев части ствола. В оптическом высотомере отсутствуют трущиеся части. В нем нет качающихся стрелок, нитей отвесов, пружин. Измеряемое дерево в приборе получает прямое изображение, и высота дерева находится посредством одного отсчета. Прочие конструкции высотомеров требуют двойного визирования: на вершину и основание дерева с последующим суммированием результатов отсчетов или вычитания из одного отсчета другого.

Рис. 18. Измерение высоты дерева мерной вилкой



Широко используемый эклиметр для определения высот деревьев имеет трудно просматриваемый в прорезь качающийся диск и требует применения специальных таблиц или номограмм, позволяющих по величине угла в градусах и расстоянию в метрах от дерева найти его высоту.

Оптический высотомер имеет незначительную массу (30 г), портативен, свободно вмещается в карман таксатора.

Несложное устройство оптического высотомера позволило организовать его изготовление в экспериментальных механических мастерских Всесоюзного научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ), имеющих самое элементарное оборудование.

Измерение высот мерной вилкой. Высоту деревьев определяют также с помощью мерной вилки (рис. 18). Для этого на ее подвижную ножку наносят деления, а на неподвижную привязывают шнур отвеса. Место прикрепления шнура отвеса должно совпадать с нулевым делением на подвижной ножке, когда она вплотную придвинута к неподвижной.

При визировании по неподвижной ножке на вершину дерева получим два прямоугольных треугольника: *ABC* и *abc*. У этих треугольников две стороны взаимно перпендикулярны, следовательно, они подобны.

Для измерения высоты дерева, расположенного в равнинной местности, сначала, как и при пользовании высотомером, измеряют расстояние в метрах от основания дерева до наблюдателя, т. е. находят длину линии *AC* и соответственно ей устанавливают длину линии *bc*. Для этого подвижную ножку мерной вилки отодвигают от неподвижной на число сантиметров, равное числу метров от дерева до наблюдателя. При таком положении отношение *AC* и *ac* будет равно 100. После этого визируют по неподвижной ножке на вершину дерева. Цифра, стоящая против деления на подвижной

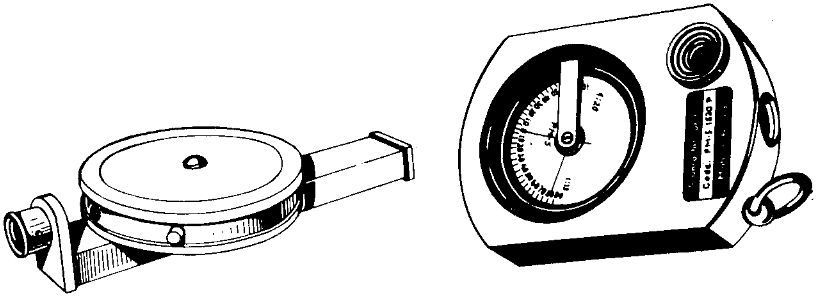


Рис. 19. Эклиметр (слева) и финский высотомер (справа)

ножке, которое пересекает шнур отвеса, определяет длину линии *bc* в сантиметрах. Отношение длины линии *CB* (высоты дерева, уменьшенной на величину равную росту человека) к линии *bc* согласно предыдущему равно 100. Следовательно, высота дерева, уменьшенная на величину равную росту человека, составляет такое число метров, сколько сантиметров содержится в линии *bc*. Рост человека округленно примем равным 1,5 м. Прибавив эту величину к отсчету по шнуру на мерной вилке, получим искомую высоту дерева.

Если измеряемое дерево находится в низине, а наблюдатель на возвышенности, сначала визируют на вершину и делают отсчет, затем направляют неподвижную ножку на основание дерева. Отвес становится по другую сторону нуля, нанесенного на подвижную ножку. Числа, полученные при обоих отсчетах, складывают и узнают высоту дерева в метрах.

Если, наоборот, измеряемое дерево растет на возвышенности, а наблюдатель находится в низине, необходимо сначала визировать также на вершину дерева, а затем на его основание. При обоих отсчетах прибор будет находиться по одну сторону нулевого деления. В этом случае для нахождения высоты дерева из данных первого отсчета вычитают данные второго и получают высоту дерева в метрах. Мерной вилкой высоту можно измерить с точностью до ±0,5 м.

Эклиметр. Для измерения высоты деревьев в таксационной практике широко применяют эклиметр (рис. 19). Он состоит из двух металлических коробок: четырехгранной, вытянутой и цилиндрической. На одном конце вытянутой коробки имеется предметный диоптр из тонкой проволоки, на другом — глазной диоптр в виде узкой щели. К этому же концу припаяна оправа с лупой. В цилиндрическую коробку заключено вращающееся колесо. По ободку колеса нанесены деления, по 60° в ту и другую сторону от нуля. На том месте, где должно было быть деление 90°, к колесу припаян кусок свинца, вследствие чего радиус круга, проходящий через деление 90°, занимает отвесное положение, а нулевой радиус — горизонтальное.

В цилиндрической коробке имеется вырез, через который видны градусные деления колеса, и кнопка, при помощи которой колесо освобождают от пружины. При горизонтальном положении вытянутой коробки в лупу видно деление 0°, при наклонном — деление, определяющее величину угла наклона.

Для определения высоты дерева сначала от него отмеряют расстояние равное 10; 15 или 20 м. Выбрав одно из этих расстояний, через диоптры визируют на вершину дерева и отсчитывают по эклиметру величину угла между горизонтальным положением и линией визирования.

Этот способ определения высоты дерева основан на том, что отношение высоты дерева H, уменьшенной на величину h, равную расстоянию от земли до глаза наблюдателя, к расстоянию A от дерева до пункта, из которого визируют на вершину дерева, является тангенсом угла α, образуемого горизонтальным проложением и линией визирования:

$$\frac{H-h}{A}=\operatorname{tg}\alpha,$$

откуда

$$H-h=\operatorname{tg}\alpha\cdot A.$$

Чтобы при измерении высоты не делать каждый раз вычислений, для углов разной величины найдены тангенсы и перемножены на расстояния A, равные 10; 15 и 20 м. В полученные величины вводится поправка h на расстояние от земли до глаза наблюдателя, равная 1,5 м.

В. Джурджу построил номограмму, которая позволяет с помощью эклиметра определять высоту деревьев с расстоянием от 10 до 30 м. На этой номограмме на двух крайних шкалах нанесены деления, определяющие расстояние до дерева, и угол, полученный при визировании на вершину дерева. Приложив край линейки к этим двум делениям, на срединной шкале находят деление, указывающее высоту дерева.

Для построения номограммы в данном случае оказалась более удобной особая система координат, построенная на эллипсе. При ее построении номографируемое уравнение $H-h=\operatorname{tg}\alpha\cdot A$ было приведено к особой форме, называемой канонической, и полученные этим путем величины перенесены на шкалы номограммы.

Для измерения диаметров стволов на различной высоте, недоступной непосредственному измерению, существуют приборы, называемые дендрометрами. Большая часть этих приборов подобно высотомерам основывается на геометрических построениях и свойствах треугольников. Вследствие их громоздкости и неудобства для практического применения дендрометры в широкой таксационной практике распространения не получили.

В Финляндии создан портативный высотомер с оптическим ограничением расстояний. Этот высотомер находит применение в нашем лесоустройстве. Его конструкция имеет сходство с эклиметром. Внутри прибора находится маятниковый отвес, на ободе которого нанесены четыре шкалы. Две левые шкалы предназначены для измерения высоты с расстояния 20 и 40 м, а две правые указывают высоту при расстоянии от дерева 15 и 20 м. При измерении высоты с расстояния 30 и 40 м показатели шкал умножаются на 2. На плоской стороне маятника расположена шкала для измерения углов наклона местности.

Расстояния до измеряемого дерева определяются при помощи встроенной в корпус прибора призмы и двусторонней базисной рейки. Круглый маятниковый отвес со шкалами помещен в заполненную жидкостью герметическую пластмассовую коробку и вращается в подшипниках. Благодаря жидкостной среде, окружающей маятник, его колебания сведены к минимуму.

Для измерения высоты дерева базисная рейка закрепляется на дереве. Через оптический измеритель смотрят на базисную рейку. Когда цифра, определяющая базисное расстояние, окажется на одной горизонтальной линии с нулевым делением (они накладываются друг на друга), таксатор окажется от дерева на расстоянии равном базисному. От этой точки он должен производить замеры высоты дерева. Высотомер рассматриваемой конструкции не имеет глазного и предметного диоптров. При измерении высоты таксатор ставит прибор в такое положение, при котором нитяной индекс шкал прибора должен находиться на линии визирования, идущей от глаза таксатора к вершине измеряемого дерева. При соблюдении этого условия на левой шкале высотомера нитяной индекс укажет высоту дерева.

Малые масса и размер высотомера, возможность быстрого отсчета измеряемых величин и устойчивость к различным механическим воздействиям являются положительными качествами рассматриваемого высотомера.

Угломеры

Для определения сумм площадей поперечных сечений таксируемых древостоев австрийский ученый Вальтер Биттерлих [35] предложил весьма простой прибор, который он назвал Winkelzählprobe (рис. 20). В нашей периодической печати его называют полнотомером, или угловым шаблоном. Он состоит из деревянного бруска длиной b, чаще всего равной 1 м. На одном из концов этого бруска привинчена металлическая прицельная рамка с вырезом a, являющимся предметным диоптром. При длине бруска 1 м ширина выреза на прицельной рамке будет 2 см. Отношение выреза к длине бруска составляет $a:b=2:100=1:50$.

Способ определения суммы площадей поперечных сечений с помощью прибора Биттерлиха заключается в следующем. Подняв брусок на уровень глаза, ставят его в горизонтальное положение и, прижав торцовой частью к щеке, визируют поочередно на ближайшие деревья по продольной грани бруска через металлическую прицельную рамку (предметный диоптр). Ствол каждого из ближайших деревьев заключают в прицельную рамку. Медленно поворачиваясь на месте, подсчитывают те деревья, стволы которых полностью закрывают просвет прицела. Деревья, лишь касающиеся линий прицельного угла, считают по два за одно.

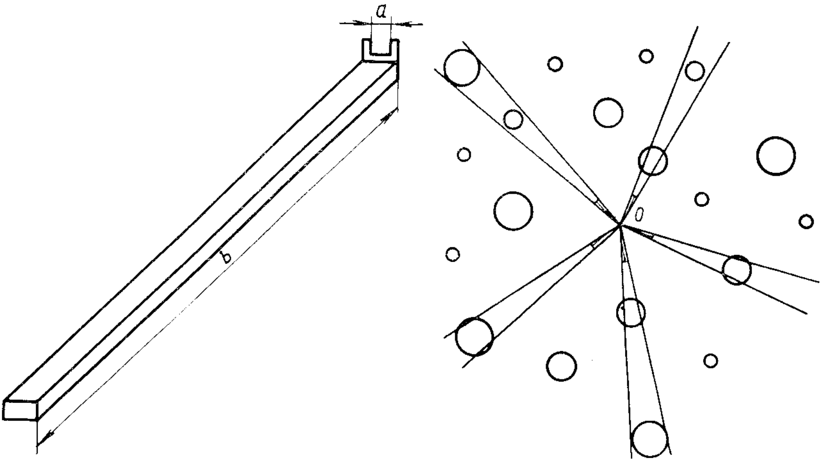


Рис. 20. Прибор В. Биттерлиха (Winkelzahlprobe): слева — схема прибора, справа — определение суммы площадей сечений по способу В. Биттерлиха; 0 — центр визирования

Таким образом, в конечном итоге таксатор, находящийся в точке 0 (см. рис. 20, справа), вокруг себя заложит круговую пробную площадку, причем с увеличением диаметра деревьев радиус круговой площадки увеличивается.

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

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \ . \ . \ . \ + N_n}{n}. \qquad (1)$$

Это среднеарифметическое может быть найдено с любой степенью точности. Количество учтенных деревьев N равняется сумме площадей поперечных сечений Σg всех деревьев, имеющихся на 1 га таксируемого древостоя, выраженной в квадратных метрах ($N = \Sigma g$).

Зеркальный реласкоп. Дальнейшее развитие идеи закладки угловых проб (*WzPr*) привело В. Биттерлиха [36] к созданию

ригинального оптического прибора, носящего название зер-
льный реласкоп (рис. 21).

Конструкция этого прибора его автором все время совер-
енствуется, прибор разработан в нескольких вариантах.

Зеркальный реласкоп представляет собой универсальный
рибор, применяемый для определения:

а) сумм площадей попе-
чных сечений деревьев, об-
зующих насаждение;

б) измерения высот;

в) видовых высот и видо-
ых чисел (значение этих так-
ционных показателей будет
казано ниже);

г) измерения коротких рас-
ояний на местности;

д) установления углов на-
она местности.

Рис. 21. Зеркальный реласкоп В. Биттерлиха

Реласкоп имеет пирами-
льную форму. Его высота
см, ширина 6 см и толщина
см. С нижней стороны
реласкопа есть нарезка, по-
оляющая при необходимости
собо точных измерений рабо-
ть на треножнике топогра-
ического фотоаппарата, снаб-
нного вращающимся сочле-
нием.

К реласкопу прикреплен
жаный ремешок, благодаря
торому можно носить его
шее.

Внутреннюю камеру рела-
опа освещают три круглых
на, расположенных с трех
орон прибора. В эти окна
авлены матовые стекла,
пускающие через себя свет. В верхней части передней и зад-
й стенок реласкопа имеются также круглой формы глазной и
дметный диоптры. Через них визируют на измеряемые объ-
ы или, иными словами, производят «прицелы». У предмет-
о диоптра имеется приспособление — подвижной металличе-
ий козырек, облегчающий просмотр измеряемых деревьев пу-
затемнения концов шкал.

В окна, играющие роль диоптров, вставлены полированные
ические стекла, обеспечивающие хорошую видимость изме-
мых предметов. В нижней части камеры реласкопа на оси,

концы которой вмонтированы в широкие стенки прибора, подвешен маятник реласкопа. Он имеет форму цилиндра или, вернее, колеса с широким ободом. Это колесо втулкой насажено на ось, вокруг которой оно может вращаться.

Шкалы реласкопа насажены на обод колеса-маятника. Они кольцом опоясывают маятник. Однако через зеркало реласкопа в смотровых окнах (диоптрах) шкалы получают изображение подвешенного столбца узких прямых полос, находящихся в одной плоскости.

На внутреннюю сторону обода маятника припаян металлический груз, обеспечивающий нужное положение маятнику при визировании на измеряемые предметы под разным углом. В этом отношении принцип устройства и действия маятника реласкопа аналогичен устройству барабана эклиметра, применяемого в геодезии, а также и при таксации леса для измерения вертикальных углов.

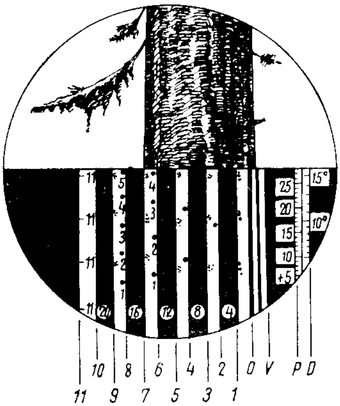


Рис. 22. Шкалы реласкопа

Таким образом, шкалы состоят из полос множителей (полоса двоек, полоса единиц и четыре узкие полосы, составляющие в сумме полосу единиц). Все эти полосы предназначены для измерения сумм площадей поперечных сечений и диаметров деревьев. Помимо того, маятник имеет две дистанционные полосы (последние справа), служащие для определения расстояний на местности, и шкалы тангенсов, по которым измеряют высоты и уклоны местности.

При определении того или иного таксационного показателя реласкоп берется в правую руку за нижнюю часть корпуса с таким расчетом, чтобы пальцы руки не закрывали окон реласкопа. Указательным пальцем нажимают на кнопку тормоза маятника, находящуюся в нижней части на стороне, обращенной к обозреваемому предмету.

Смотровое отверстие — главный диоптр подводят вплотную к правому глазу, а левым выбирают объект, подлежащий измерению.

При визировании через глазной диоптр в круглом видовом окне (в верхней его половине) будет виден измеряемый объект, а в нижней половине окна измерительные шкалы, отраженные с маятника с помощью зеркального устройства (рис. 22).

Отсчет со шкал соответствующих результатов измерений производят по горизонтальной визирной линии, в которую как бы упираются видимые концы шкал.

В холмистой местности реласкоп надо держать с нажатой кнопкой тормоза. В этом случае маятник освобождается, шкалы устанавливают в соответствии с уклоном визирования и все измерения автоматически приводят к горизонтальной проекции местности. Частичным уменьшением нажатия на кнопку тормоза можно затормозить качающийся маятник и достичь этим быстрого наступления состояния покоя.

Таксационный прицел. В. Биттерлих для автоматического определения сумм площадей поперечных сечений деревьев на 1 га сконструировал два прибора: а) угловой шаблон (Die Winkelzahlprobe) и б) реласкоп, ставший в последующем универсальным инструментом.

В основе обоих приборов лежит одна и та же идея, сводящаяся к установлению постоянного соотношения между площадью поперечного сечения ствола и площадью круговой пробы. Эти две величины чаще всего относятся друг к другу, как 1 : 10 000. При таком соотношении каждое учтенное дерево оказалось эквивалентным площади сечений в 1 м^2 на 1 га.

Установление этого соотношения в технике таксации леса является открытием огромного значения. Сама идея об этом соотношении и основанные на ней приборы В. Биттерлиха положили начало новой эпохе в развитии лесной таксации. За 200-летнюю историю развития этой научной дисциплины не было более крупного вклада в ее теорию и практику, чем открытие В. Биттерлиха.

В будущем таксационная мысль и новые поиски в лесной таксации должны быть направлены на дальнейшее использование плодотворной идеи В. Биттерлиха. Это тем более необходимо и потому, что при огромном значении идеи, лежащей в основе приборов В. Биттерлиха, созданные им приборы все же требуют совершенствования.

Угловой шаблон (die Winkelzahlprobe), будучи прост для применения, несколько громоздок и обременителен при работе таксатора в лесу.

Ценное свойство реласкопа заключается в том, что это весьма портативный и универсальный прибор, позволяющий решать ряд таксационных задач. Однако работа с реласкопом в лесу чаще всего затруднена из-за недостатка света и трудности визирования через шкалы на деревья, маскируемые подростом, подлеском и другими препятствиями.

Учитывая эти недостатки приборов В. Биттерлиха и вместе с тем исключительную плодотворность самой идеи, положенной в их основу, автор учебника попытался создать новый таксационный прибор, исключающий недостатки, присущие приборам В. Биттерлиха, но в то же время опирающийся на его идею закладки угловых проб.

Принципиальной основой метода В. Биттерлиха является построение на местности постоянного угла, который назовем критическим. Ценное свойство этого угла заключается в том, что вписанные в этот угол круги имеют площадь, равную $^1/_{10\,000}$ от площади большого круга, описанного радиусом равным расстоянию от вершины критического угла до центра вписанного в этот угол круга.

С помощью реласкопа критические углы на местности строятся путем визирования через ширину шкал. Эту же задачу можно решить путем преломления на определенный угол лучей света, пропуская их через клиновидные призмы.

В основе устройства различных систем дальномеров лежит идея преломления лучей света на определенный угол, через величину которого находятся соответствующие расстояния. Эту же идею используем для измерения площадей сечений деревьев, имеющихся на 1 га.

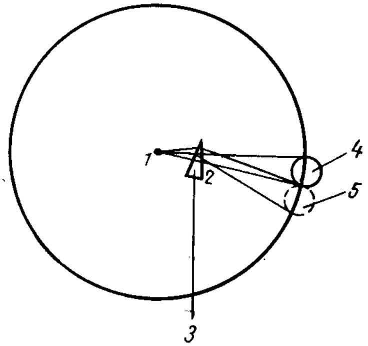


Рис. 23. Преломление лучей клиновидной призмой:

1 — вершина угла; *2* — преломление лучей; *3* — клиновидная призма; *4* — истинное положение дерева; *5* — видимое положение дерева

Углы преломления у призм могут быть подобраны с таким расчетом, что угол отклонения лучей, создающий впечатление о сдвиге предметов в сторону, будет равен критическому углу, найденному В. Биттерлихом и положенному в основу его приборов.

При решении поставленной задачи будем основываться на физическом явлении, выражающемся в том, что на границе двух прозрачных сред происходит преломление лучей (рис. 23).

Опираясь на это свойство, ограничение критического угла, в который частично или полностью вписывается дерево с поперечным сечением в $^1/_{10\,000}$ от площади соответствующего круга, можно осуществить с помощью клиновидной призмы.

Благодаря преломлению лучей дерево, рассматриваемое через клиновидную призму, сдвигается в сторону.

В нашу задачу входит установить в клиновидной призме преломляющий угол ε.

Из курса физики известно, что для призм с малыми преломляющими углами угол отклонения луча от начального направления не зависит от угла падения. Это ценное свойство автором учебника и было использовано при конструировании простейшего оптического прибора для таксации леса.

Определение угла преломления нам необходимо для того, чтобы, опираясь на величину этого угла, найти угол отклонения δ луча, проходящего через призму.

Зависимость между углами преломления и отклонения характеризуется следующей формулой:

$$\delta = (n - 1)\,\varepsilon, \tag{2}$$

где n — показатель преломления вещества, из которого изготовлена призма.

На основании этого уравнения находим, что преломляющий угол равен

$$\varepsilon = \frac{\delta}{n-1}. \tag{3}$$

В нашем расчете преломляющий угол ε целесообразнее выразить в радианном измерении.

Из курса геометрии, известно, что радианом называют угол, имеющий дугу, длина которой равна ее радиусу. Следовательно, в градусном выражении радиан равен

$$\frac{360^\circ}{2\pi} = 57^\circ 17' 44''.$$

В угловом шаблоне В. Биттерлиха (die Winkelzahlprobe) отношение визирной рамки к длине бруска равно $^2/_{100} = ^1/_{50}$. Если дерево своей толщиной точно закрывает визирную рамку, то в этом случае отношение диаметра дерева d к радиусу круговой пробы R, в которой оно находится, также равняется $d/R = ^1/_{50}$.

Заменяя прибор В. Биттерлиха клиновидной призмой, последнюю надо изготовить с таким углом преломления, при котором бы она давала угол отклонения δ, равный отношению d/R, или $^1/_{50}$.

Выражая величину этого угла в радианном измерении, будем иметь

$$\varepsilon = \frac{\delta}{n-1} = \frac{d}{R(n-1)}. \tag{4}$$

Радиан равен $180^\circ/\pi$, а $d/R = ^1/_{50}$. Эти величины подставим в нашу формулу, тогда получим

$$\varepsilon = \frac{180^\circ d}{R\pi(n-1)} = \frac{180^\circ}{50 \cdot 3,14(n-1)}.$$

Стеклу свойствен показатель преломления $n = 1,5$. Следовательно, стеклянная клиновидная призма, удовлетворяющая указанным выше условиям, будет иметь следующий угол преломления ε, выраженный в минутах:

$$\varepsilon = \frac{180 \cdot 60}{50 \cdot 3,14\,(1,5-1)} = 137,4 \text{ мин.}$$

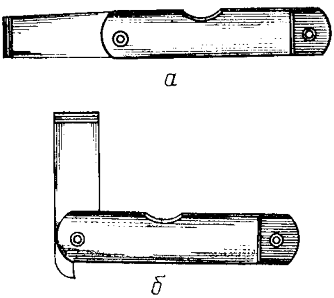
В конечном итоге изготовление сконструированного нами таксационного прибора свелось к отливке и шлифовке стекол, боковые плоскости которых между собой находятся под углом, равным 137,4 мин.

Стеклянная призма, изготовленная с таким углом преломления, заменяет прибор В. Биттерлиха.

Для придания ей соответствующей прочности вершина угла должна быть срезана с таким расчетом, чтобы в тонком конце призма имела толщину не менее 1,5—2,2 мм. При пользовании призмой деревья одновременно рассматриваются через призму и поверх ее, при этом часть дерева будет сдвигаться в сторону. Таким образом, рассматриваемая часть дерева в горизонтальном направлении будет иметь большее протяжение, чем по вертикали. Поэтому длина призмы должна быть в несколько раз больше ее ширины. Клиновидной призмой таксацию леса производим путем прицеливания. При этом прицеливание является самой характерной чертой в рабочем процессе, осуществляемом с помощью рассматриваемого прибора. Имея в виду это обстоятельство, клиновидную призму мы назвали **таксационным прицелом**.

В целях удобства пользования таксационный прицел снабжен ручкой. По внешнему виду он напоминает перочинный нож, у которого металлическое лезвие заменено прозрачной клиновидной призмой (рис. 24).

Таксационный прицел в развернутом виде ставится на уровень глаза с таким расчетом, чтобы линия визирования, идущая от глаза к рассматриваемому дереву, была перпендикулярна боковой стороне (пласти) клиновидной призмы. Эта линия должна быть направлена на ствол дерева в точку, находящуюся от земли на высоте, примерно равной 1,3 м.



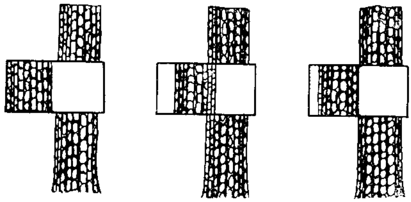


Рис. 24. Таксационный прицел (призма):
а — в раскрытом виде; *б* — в полураскрытом виде

Рис. 25. Смещение призмой рассматриваемой части ствола

Призму можно держать на любом расстоянии от глаза. В этом заключается одно из основных преимуществ таксационного прицела по сравнению с угловым шаблоном В. Биттерлиха.

При рассматривании дерева через призму и поверх нее могут обнаружиться три случая (рис. 25). В одном из них рассматриваемая часть ствола оказывается сдвинутой частично, т. е. не на всю ее толщину. В этом случае дерево подлежит учету. Во втором случае сдвигаемая часть ствола оказывается за пределами его контура, при этом она оторвана от дерева и как бы висит в воздухе. Этот случай свидетельствует о том, что рассматриваемое дерево находится за пределами закладываемой круговой пробы и оно не подлежит включению в число учитываемых деревьев.

При величине сдвига, точно равной толщине ствола, мы имеем случай, когда толщина дерева точно вписывается в критический угол. Следовательно, площадь сечения дерева составляет $^{1}/_{10\,000}$ от площади закладываемой круговой пробы. Такое дерево подлежит включению в число учитываемых деревьев. Однако границу, когда дерево своей толщиной заполняет весь критический угол и когда часть его остается незаполненной, на глаз уловить трудно. Имея в виду это предельное положение деревьев, в таких случаях правильнее считать два учитываемых дерева за одно.

Для применения на практике таксационный прицел (призма) оказался удобнее прибора В. Биттерлиха, поэтому в нашей стране призма нашла широкое применение при таксации леса.

Трость таксатора. При ходьбе по лесу таксатор довольно часто пользуется тростью. Эту трость можно использовать в качестве простейшего инструмента — трости таксатора (рис. 26), с помощью которой отграничивают круговую пробную площадку.

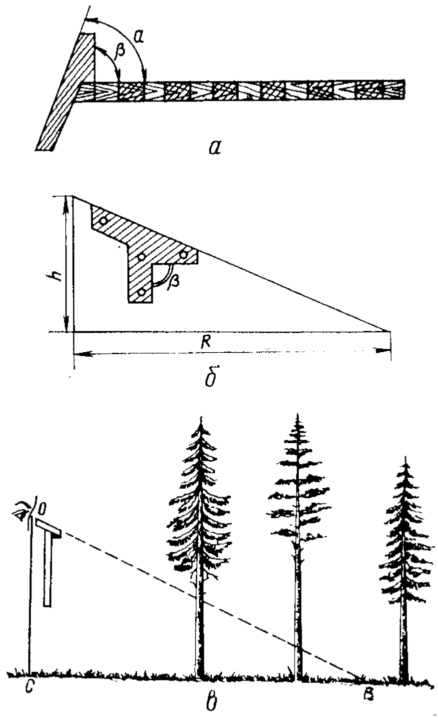


Рис. 26. Трость таксатора:

а — схема трости; *б* — шаблон для закрепления на трости ручки; *в* — отграничение тростью круговой пробной площадки

Ручка и стержень трости таксатора образуют определенный угол *α*. Если трость держать около глаза в вертикальном отвесном направлении и визировать по продольному ребру ручки, на местности можно построить прямоугольный треугольник (рис. 26, *в*).

Отношение линии *OC*, равной расстоянию от земли до глаза наблюдателя, к линии *CB*, определяющей расстояние от наблюдателя до точки, в которой линия визирования пересекается с поверхностью земли, является котангенсом угла α.

Таким образом, чтобы таксаторы среднего роста, равного примерно 165 см, могли отграничивать круговые пробные площади, имеющие радиус 7 м, им надо у своей трости ручку прикрепить под углом 77°33′.

В верхней части трости надо высверлить отверстие и в него вставить проволоку. Это необходимо для того, чтобы ее можно было держать в вертикальном, отвесном положении. Подняв трость на уровень глаза и визируя вдоль ее ручки, таксатор на местности увидит точку *B*, отстоящую от него на 7 м.

Допустим, что между глазом наблюдателя и точкой *B*, расположенной в 7 м от наблюдателя, имеются два дерева, пересекаемые линией визирования, а третье дерево находится в 8 м.

В этом случае два первых дерева надо считать находящимися в пределах круговой пробной площади (рис. 26, *в*). Третье дерево находится дальше точки.

Его следует считать за пределами круговой пробной площади и в число учитываемых деревьев не включать.

Придерживая трость около глаза за шнур или проволоку и постепенно поворачиваясь вокруг себя, но не сходя с места и не переставая визировать по ручке трости, можно подсчитать на круговой площади все деревья, пересекаемые линией визирования *ОВ*.

Опыт показал, что такой подсчет является делом исключительно простым. Таксатор затрачивает на него всего лишь 20—30 с.

Круговая пробная площадка радиусом 7 м составляет 154 м^2. Вполне понятно, что для характеристики крупного участка леса подсчета на одной такой площадке недостаточно. Поэтому в пределах однородного участка надо заложить не одну, а несколько круговых пробных площадок и вывести среднеарифметическое.

Чтобы круговая пробная площадка полнее характеризовала насаждение, ее радиус (а следовательно, и площадку) желательно увеличить. Однако исследования показали, что при радиусе, превышающем 7 м, затрудняется отыскание на местности, отграничивающей круговую площадку, точки *В*.

При таксации леса по круговым пробным площадкам, помимо числа деревьев, подлежит учету их средний диаметр. Для его установления необходим частичный обмер деревьев (по 2—3 дерева на каждой круговой пробной площадке).

Вместо мерной вилки для обмера диаметров деревьев можно использовать ту же трость таксатора. Для этого на стержень трости наносят 2-сантиметровые деления — ступени толщины. Чтобы границы этих ступеней были более заметны, их через одну, т. е. через 2 см, окрашивают в черный цвет, а на неокрашенных пишут цифры, определяющие величину данной ступени.

Как известно, для измерения диаметров деревьев, помимо линейки с делениями или ступенями толщины, необходимо иметь на одном конце трости неподвижную ножку мерной вилки, установленную перпендикулярно ей. Неподвижную ножку мерной вилки у трости заменяет металлическая накладка, которая скрепляет ручку и стержень трости. Угол образован вертикальной линией и линией визирования: под этим углом крепится ручка на стержне трости. Угол β равен 90°. Приложив трость таксатора поперек сечения ствола, путем визирования по одному из концов ручки, расположенному перпендикулярно стержню трости, можно установить положение неподвижной ножки мерной вилки при обмере толщины ствола. Держа мерную вилку в том же положении, визируют с противоположной стороны ствола с таким расчетом, чтобы линия визирования оказалась касательной к стволу и в то же время пересекала под прямым углом стержень трости. Место, где эта касательная пересечет стержень трости, и определяет диаметр ствола.

На одной из сторон стержня трости можно нанести шкалу с делениями высотомера Христена. Таким образом, мы получим таксаторскую трость, сочетающую в себе три инструмента: ограничитель пробных площадей, мерную вилку и высотомер. Эта комбинация в одном приборе трех инструментов очень удобна в полевых условиях.

Приростной бурав

Для установления интенсивности роста дерева в толщину измеряют ширину годичных слоев древесины. Для этого из ствола растущего дерева высверливают кусочки древесины в виде цилиндриков. Прибор для их высверливания, называемый приростным буравом Пресслера, представляет собой пустотелую трубку, имеющую с одного конца винтовую нарезку (рис. 27, справа). Другой конец трубки, четырехгранной формы, вставлен в поперечное отверстие второй трубки, которая служит ручкой бурава и в то же время его футляром. При ввинчивании приростного бурава в ствол дерева в полость трубки входит цилиндрик древесины. Сечение полости трубки коническое, обращено расширенным концом к рукоятке бурава. Благодаря такому сечению находящийся в трубке цилиндрик древесины при вывинчивании бурава удерживается в ней. Чтобы оторвать цилиндрик древесины от ствола, между ним и стенками бурава вставляют узкую стальную пластинку с мелкими зубчиками. После того как бурав вывинчен из ствола, при помощи пластинки извлекают из полости трубки цилиндрик древесины. На обратной стороне пластинки обычно нанесены деления, которые служат для измерения ширины годичных слоев. Чаще всего на цилиндрике древесины отсчитывают десять годичных слоев и по делениям на пластинке определяют их общую ширину.

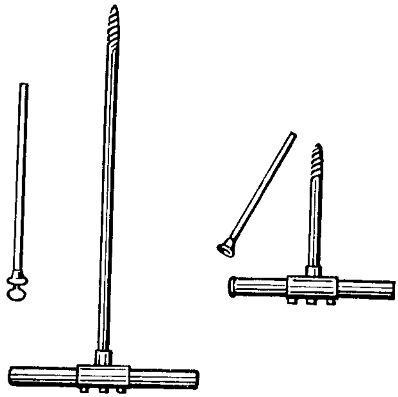


Рис. 27. Приростной (справа) и возрастной (слева) буравы

Для взятия глубоких проб применяют возрастной бурав, которым можно извлекать цилиндрики длиной до 20 см (рис. 27, слева). С помощью этого бурава определяют по годичным слоям возраст дерева.

Приростной молоток

Предназначен для извлечения из ствола дерева цилиндрика (пробы) древесины, характеризующего величину прироста (рис. 28).

Молотком ударяют по дереву с таким расчетом, чтобы острый наконечник молотка вошел в ствол в радиальном направлении. В этом случае в полость наконечника врежется цилиндрик древесины. Вытащив молоток из дерева, цилиндрик древесины с помощью деревянной спицы (гвоздя) выталкивают из полости и наконечника через противоположный конец.

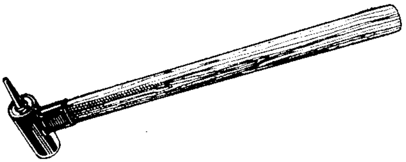


Рис. 28. Приростной молоток

Извлечение из толщи ствола цилиндрика древесины с помощью приростного молотка требует во много раз меньшего времени, чем выполнение этой операции приростным буравом.

Прибор проф. Эклунда

Для измерения ширины годичных слоев древесины в Швеции проф. Эклунд сконструировал специальный прибор (рис. 29). Этот прибор состоит из двух совместно работающих аппаратов: микроскопа-измерителя с подвижным предметным столиком и электрической печатающей счетной машины, снабженной тележкой и логарифмической линейкой.

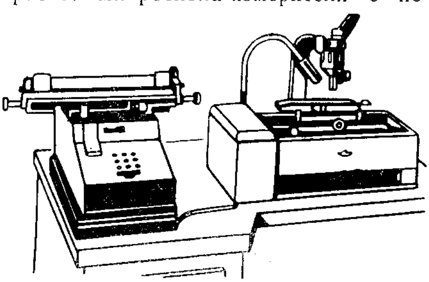


Рис. 29. Прибор для измерения прироста (Швеция)

Предметный столик микроскопа может передвигаться в продольном направлении. В столике есть желобок, в который кладут цилиндрик древесины, высверленный из дерева с помощью бурава Пресслера. С правой стороны столика имеется шестеренка, поворачивая которую можно передвигать предметный столик в нужном направлении и таким образом рассматривать под микроскопом последовательно ряд годичных колец цилиндрика древесины. Система зубчатой передачи, осуществляющей перемещение наблюдаемого объекта, градуирована, что позволяет точно измерять величину смещения столика.

Коробку зубчатой передачи можно поставить в три разных рабочих положения: при первом положении ширина годичных слоев измеряется с точностью до 0,01 мм, при втором — до 0,1 мм. Третье положение обеспечивает ту же точность, что и второе, но измерения автоматически удваиваются. При третьем положении коробки прирост определяется не по радиусу, а по диаметру.

Правая часть прибора имеет горизонтальную передачу, которая связывает подвижную часть микроскопа с механизмом счетной машины (левая часть прибора).

Счетная машина может быть снабжена лентой или особым листком, на который автоматически записываются данные измерения ширины годичных колец, сделанного под микроскопом.

С помощью прибора можно одновременно определять ширину годичных слоев у нескольких деревьев. При необходимости счетную машину можно отделить от микроскопа и использовать для соответствующих подсчетов. Величину прироста можно измерить за 1 год, за 5; 10 лет и т. д.

Ход прироста по толщине у деревьев в течение вегетационного периода определяется точными приборами — так называемыми прецизионными дендрометрами. Наиболее совершенным является микродендрометр, сконструированный в 1952 г. в Швеции Стеном Карлбергом (рис. 30). С помощью этого прибора можно определить ход прироста у растущего дерева в течение короткого промежутка времени: за час, день, неделю или месяц.

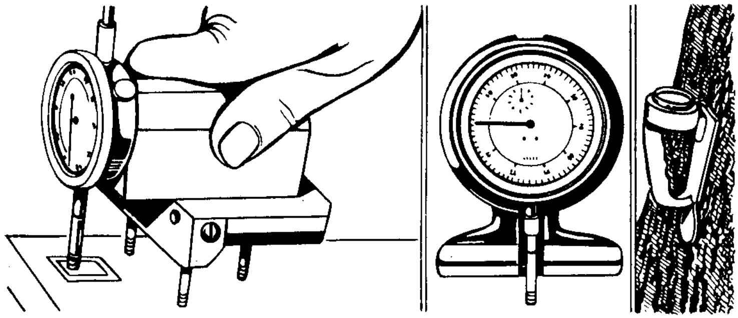


Рис. 30. Микродендрометр Карлберга в различных положениях

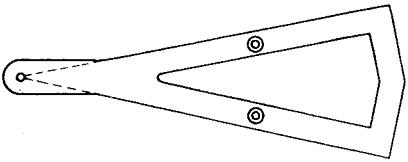
Микродендрометр состоит из часов-микрометра, одной пластинки из легкого металла и щупального штифтика, связанного с измерительными часами и непосредственно соприкасающегося с местом измерения прироста на дереве. Соприкасающаяся поверхность прибора насаживается на плоские латунные винты длиной 3—4 см, которые погружаются в древесину на глубину 2—3 см. Точка измерения фиксируется следующим образом: оба верхних винта устанавливают с помощью лекала между двумя управляющими рейками, находящимися с нижней стороны пластинки; третий, нижний винт служит упором, благодаря чему достигается такое положение прибора, при котором измерение будет всегда производиться при одной и той же глубине погружения. При накладывании дендрометра осторожно вытаскивают щупальный штифтик, чтобы не повредить этой чувствительной части прибора. По циферблату прибора можно отсчитать прирост от 0,01 до 10 мм.

Перед началом первого измерения место на дереве, где оно будет производиться, необходимо осторожно выровнять (очистить). У деревьев с грубой корой омертвевшую часть коры необходимо снять. Чтобы результат измерения был более точным, латунные винты микродендрометра должны быть глубоко погружены в древесину и сидеть неподвижно.

В ГДР было проведено массовое испытание шведского микродендрометра. Полученные с его помощью результаты были сопоставлены с данными, найденными при использовании бурава Пресслера. Оказалось, что все приросты (ежегодные), измеренные буравом, были ниже, чем измеренные дендрометром. Разница между обеими величинами была значительна. Чтобы их можно было сопоставить, необходимо выработать редукционные числа для каждой породы.

Прибор для определения роста деревьев в течение вегетационного периода (ауксометр-компаратор)

Для определения продолжительности вегетационного периода и динамики прироста в пределах этого периода проф. И. Попеску-Зелетин сконструировал оригинальный прибор. Он состоит из компаратора с циферблатом, установленного на стальной пластинке. На обратной стороне пластинки имеются направляющие, обеспечивающие измерения каждый раз в том же месте. Постоянные направляющие (три винта) ввинчиваются в дерево. Перед этим кора зачищается и покрывается лаком. Ежедневно или через 5, 10, 15 дней прибор устанавливается на направляющих винтах. В приборе читают соответствующие цифры. Разность двух наблюдений дает прирост по радиусу за соответствующий интервал времени. Рассматриваемый прибор обеспечивает точность отсчетов 0,01 мм.



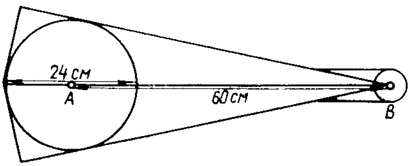


Рис. 31. Прибор В. Биттерлиха для определения полнодревесности поленниц

Для измерения ежедневной вариации толщины и прироста деревьев проф. И. Попеску-Зелетин сконструировал прибор, названный им «дендроауксографом».

Прибор В. Биттерлиха для определения полнодревесности поленниц

Для определения коэффициента полнодревесности поленниц В. Биттерлих сконструировал специальный прибор, изображенный на рис. 31. Он представляет собой вырезанный из целлулоида шаблон, имеющий форму треугольника. В расширенную часть шаблона вписывается поперечное сечение ствола диаметром 24 см, радиусом 12 см. Расстояние от центра вписанного сечения до вершины угла (длина линии $AB=a$) принято равным 60 см. Отношение длины радиуса r к длине линии $AB=a$ составляет

$$\sin\alpha = \frac{r}{a} = \frac{12}{60} = 0{,}2.$$

Соответственно этому $a=r/0{,}2$. На торцовой поверхности поленницы этим прибором описываем круг. Центром этого круга будет точка B — вершина треугольника.

При таком вращении шаблона по кругу учитываются все поленья, торцы которых своей толщиной полностью закрывают угол, образуемый сторонами треугольника.

В круге радиусом $a=r/0{,}2$ отсчитываем n поленьев радиусом r. Площадь описанного круга будет равна $\pi a^2=\pi r^2 : 0{,}2^2=\pi r^2 : 0{,}04$.

Сумма площадей сечений поленьев, заполнивших шаблон, будет равна $n\pi r^2$.

Площадь сечений поленьев 1 м^2 поленницы примем равной F. Для ее определения составим следующую пропорцию:

$$\frac{1}{\dfrac{\pi r^2}{0{,}04}} = \frac{F}{n\pi r^2}, \quad \text{отсюда} \quad F = 0{,}04n \quad \text{и} \quad n = 25F.$$

Допустим, что на торцовой поверхности поленницы мы заложили описанным выше способом четыре пробы. На основании приведенных уравнений получаем следующее равенство:

$$(n_1 + n_2 + n_3 + n_4) = 4n = 100F.$$

Таким путем найденную сумму площадей сечений, приходящуюся на 1 м^2 поленницы, выражаем в долях 1 м^2. В результате находим коэффициент полнодревесности поленницы.

В основу рассмотренного нами метода определения коэффициента полнодревесности поленниц его автор В. Биттерлих положил идею угловой пробы, широко используемую при таксации растущего леса.

Исследованиями Макконена установлено, что метод В. Биттерлиха дает хорошие результаты при значительном количестве проб и когда учитываемые мелкие сортименты уложены в большие по размерам поленницы. На маленьких поленницах наблюдаются большие ошибки.

Счетчики

При подеревной таксации растущего леса, штучном учете бревен и других лесоматериалов, при промере длины линий и выполнении ряда других работ приходится вести счет учитываемым объектам последовательно нарастающим итогом. Для этого вида работ целесообразно применение приборов, называемых счетчиками (рис. 32, слева).

Счетчик представляет собой цифровой математический прибор, осуществляющий простейший арифметический учет путем последовательного увеличения на единицу ранее накопленного счетчиком числа.

Для работы в лесу удобен простейший механический счетчик, имеющий форму и размеры карманных часов. С его помощью можно вести счет до 999. Достигнув этого числа, показатели счетчика сбрасывают и счет последующим предметам вновь начинают с единицы.

Механизм счетчика заключен в цилиндрическую коробку, крышка которой закрепляется тремя винтами. В центре крышки имеется смотровое окно, через которое видны цифры, определяющие число учтенных предметов.

Фиксация учитываемых предметов осуществляется путем нажима пальцем на рычаг, находящийся сбоку счетчика.

Чтобы счетчик было более удобно держать в руке, к задней его крышке прикреплено кольцо, надеваемое на палец руки во время работы со счетчиком в лесу.

Механизм счетчика состоит из трех регистров (разрядов), соединенных между собой соответствующими переносами (рис. 32, справа).

Накопление учитываемых предметов до 10 в разряде единиц (правый круглый циферблат) вызывает увеличение показаний на единицу в ближайшем, сопряженном с ним (центральном) разряде и переход регистра (разряда) единиц в нулевую позицию. Когда центральный регистр, циферблат которого имеет форму зубчатой шестеренки, накопит 10 десятков, минуя фиксацию этого числа на своем циферблате, он передает его третьему регистру (слева), учитывающему сотни. Первая сотня на этом регистре обозначается единицей, вторая — цифрой два и т. д. до девяти.

Передача в счетчике с одного регистра на следующий, более старший регистр осуществляется промежуточными шестернями с зубьями и системой рычажков, регулируемых пружинками.

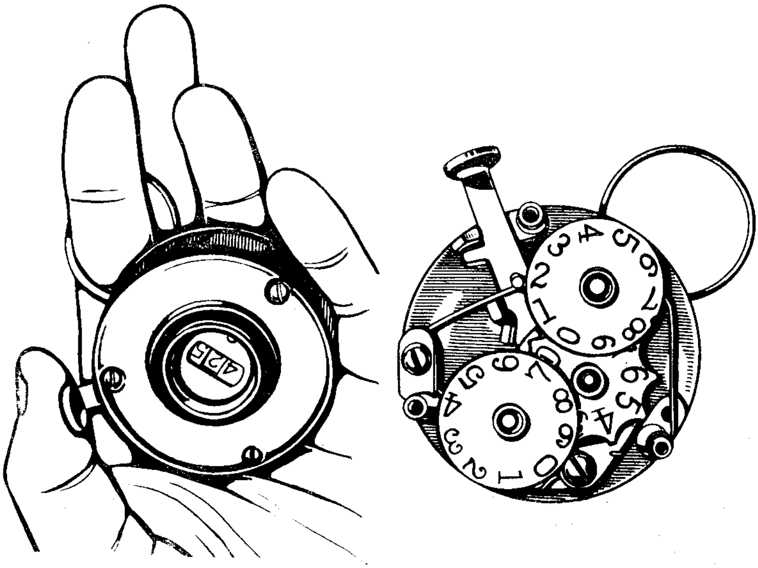


Рис. 32. Счетчик (слева) и его механизм

Оси регистров, фиксирующих десятки и сотни учитываемых предметов, выходят наружу через заднюю крышку счетчика. На концы этих осей насажены головки, путем вращения которых представляется возможным сбрасывать цифры, фиксированные регистрами.

§ 4. СЧЕТНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Современный технический прогресс во всех отраслях народного хозяйства тесно связан с широким использованием счетно-решающей техники. В этом отношении не является исключением и лесная таксация.

В учебник Бетрама Хуша «Лесные измерения и статистика» [38] включен раздел, названный «Вычисление с помощью машин». Поэтому в последующем изложении, кроме специальной технической литературы, относящейся к проблеме счетно-вычислительных машин, использованы данные курса Бетрама Хуша.

В настоящее время на вооружении имеется несколько видов машин: а) настольные счетные машины, б) перфорационные машины, в) электронные машины.

Настольные счетные машины. В повседневной практике производственных и научных учреждений получили широкое применение настольные счетные машины. Объем работы, выполняемой этими машинами, в данный момент превышает задания, решаемые на электронных машинах. Рассмотрим принципиальные особенности устройства и работы настольных счетных машин.

Такие машины обеспечивают огромное увеличение вычислительной скорости по сравнению с обычными операциями, выполняемыми при помощи карандаша и бумаги. Основным свойством этого типа машин является их способность выполнять с большой скоростью отдельные арифметические действия: сложение, вычитание, умножение и деление.

Недостатком настольных машин является то, что они весьма ограничены в своей памяти. Они могут удерживать ограниченное число информации. Когда приходится иметь дело с большим количеством данных, вычислитель, называемый оператором, должен вводить отдельные численные количества в машину ручным способом. В этом случае оператор действует как память, записывая информацию от машины, воспроизводя ее и в то же время информируя машину, что ей делать в дальнейшем при каждом шаге последующей процедуры.

В ходе этой работы оператор должен соблюдать строгую последовательность операций.

При использовании настольной счетной машины — обычного арифмометра — оператор подает два числа в машину через клавиатуру и затем начинает операцию путем надавливания одной из ряда контрольных клавиш. При завершении операций отсчет получается на шкале арифмометра. Оператор записывает его. На некоторых машинах ответы отпечатываются на бумажной ленте. Некоторые настольные счетные машины имеют достаточно памяти или запоминающей способности сохранять этот ответ, выполняя последующую операцию, и в свою очередь складывать или вычитать ряд результатов.

Машины, осуществляющие только сложение и вычитание, называются с у м м и р у ю щ и м и.

Машины, выполняющие все арифметические операции, называются в ы ч и с л и т е л ь н ы м и. Эти машины могут действовать ручным способом или приводиться в движение электрическим приводом.

Более сложными являются машины, действующие электрическим путем. Конструкции вычислительных машин значительно отличаются друг от друга.

Части математических машин, предназначенные для выполнения той или иной математической операции или группы их, называются счетно-решающими устройствами. По принципу действия они делятся на два больших класса: а) устройства непрерывного действия, б) устройства дискретного действия (цифровые).

Устройства непрерывного действия включают суммирующие, множительные, интегрирующие, дифференцирующие и функциональные элементы.

Для устройств непрерывного действия характерно, что величины, входящие в решаемую задачу, пробегают непрерывно все значения переменных в заданном решении.

Устройства дискретного действия имеют дело с переменными, представленными в виде систем чисел. Устройства дискретного действия чаще всего предназначаются для автоматического выполнения заданной последовательности четырех арифметических действий и выборки из таблиц. В связи с этим решение сложной математической задачи предварительно сводится к арифметическим действиям. В таких случаях задача решается не непрерывно, а дискретно, с определенным шагом для заданных значений независимых переменных. Точность устройств дискретного действия весьма высока — 10, 20 и более значащих цифр.

Счетно-перфорационные машины состоят из комплекта машин, работающих с помощью перфорационных карт, на которых пробиваются отверстия, зашифровывающие числовые величины или буквенный текст. Эти машины особенно эффективны при массовых, однородных по типу вычислениях. Преимущества их заключаются в автоматичности выполнения всех операций. Ввод в машину числовых величин, сам процесс вычисления и контроль однородности признаков, перенесенных на перфокарту с первичного материала, осуществляются автоматически.

В настоящее время в счетно-электрических машинах находят широкое применение электронные принципы выполнения счетных и вычислительных операций, резко повышающие скорость их выполнения.

Электронные вычислительные машины. Вычислительные машины, в которых арифметические и логические действия выполняются электронными схемами с большой точностью и громадной скоростью (до нескольких десятков тысяч в секунду), называются электронными вычислительными машинами. Они имеют программное управление, позволяющее решать на одной и той же машине задачи различного типа. Это свойство машин обеспечивает применение их для решения сложных математических задач с большим объемом вычислений. До появления электронных вычислительных машин задачи с огромными вычислительными действиями практически не могли доводиться до необходимых числовых результатов. Поэтому электронные вычислительные машины совершили переворот в применении математики для решения важнейших проблем в целом ряде научных дисциплин.

В настоящее время они широко внедряются для осуществления счетных работ во многих отраслях народного хозяйства. Их используют для статистического и бухгалтерского учета вместо счетно-аналитических машин.

Помимо математических действий, с помощью электронных вычислительных машин можно решать ряд логических задач, таких, как перевод текста с одного языка на другой.

Принципы цифрового счета и программного управления, на которых основывается устройство электронных вычислительных машин, используются в электронных управляющих машинах, применяемых для управления производственными процессами и сложными агрегатами.

При работе на электронных вычислительных машинах используются численные методы математического анализа. При этом решение любой задачи сводится к определенной последовательности арифметических действий. Кроме арифметических действий в электронных вычислительных машинах используются логические операции, управляющие ходом вычислительного процесса.

Выполнение каждой арифметической или логической операции электронной вычислительной машиной обеспечивается командой. Последовательность команд называют программой вычислений. Весь процесс вычислений в электронных вычислительных машинах полностью автоматизирован.

Числа, над которыми производятся арифметические действия, а также промежуточные результаты вычислений и команды хранятся в запоминающем устройстве электронной вычислительной машины.

Выборка необходимых чисел из запоминающего устройства, задание на вычисление, подлежащее выполнению, отсылке полученного результата в запоминающее устройство и переход к выполнению следующей команды обеспечиваются в электронной вычислительной машине устройством управления. Электронная машина имеет специальные вводные и выводные устройства данных программы вычислений, а также печатания полученных результатов.

Специальными устройствами контроля или методами логического контроля путем соответствующего программирования осуществляется контроль правильности произведенных вычислений.

Прежде чем решить на электронной вычислительной машине интересующую нас задачу, надо ее выразить соответствующими алгебраическими, дифференциальными или интегральными уравнениями. При составлении последних не должна упускаться физическая сущность исследуемого процесса. С помощью численных методов поставленная задача сводится к определенной последовательности арифметических операций. Она фиксируется в программе вычислений, обеспечивающей выполнение установленной последовательности. Исходные данные и команды программы записываются условным кодом. Далее эти коды вводятся в электронную вычислительную машину через вводные устройства. После этого заданная программа выполняется автоматически электронной вычислительной машиной. На специальном выводном печатающем устройстве печатаются результаты вычислений в виде таблиц.

В большинстве электронных вычислительных машин применяется двоичная система счисления. Ее применение обусловлено тем, что в этом случае значительно упрощается выполнение операций умножения и деления и наиболее удобно представлять числа, так как цифра каждого разряда может иметь лишь два значения: «0» или «1». Ввод чисел и вывод полученных результатов из электронной вычислительной машины производятся в десятичной системе. Перевод чисел из одной системы счисления в другую выполняется самой электронной вычислительной машиной по специальным программам.

Тип электронной вычислительной машины зависит от вида запоминающего устройства. Запоминающее устройство на магнитном барабане позволяет создать достаточно простые электронные вычислительные машины с малым числом электронных машин (несколько сот). Однако эти машины обладают относительно небольшой скоростью. Они предназначаются для решения сравнительно простых инженерных задач.

Дальнейшее развитие и усовершенствование электронных вычислительных машин направлено на увеличение скорости их работы и емкости запоминающего устройства, на повышение надежности в работе, на сокращение габарита машины и количества аппаратуры. При усовершенствовании современных электронных вычислительных машин широко используются полупроводники, позволяющие сильно сократить число электронных ламп.

Бетрам Хуш выделяет две группы счетных машин: цифровые и нецифровые вычислительные машины. Ниже излагаются характерные особенности этих двух групп машин.

Цифровые вычислительные машины. Этот класс вычислительных машин имеет самое широкое применение. К нему относятся и электронно-вычислительные машины. Современные высокоскоростные цифровые вычислительные машины представляют собой типы машин с запасной программой внутри.

Современные цифровые вычислительные машины, как правило, состоят из пяти взаимодействующих компонентов: входа, хранения, арифметического устройства, выхода и контроля.

Во входном устройстве данные специфических задач переводятся на машинный язык. Промежуточные расчеты и конечные результаты содержатся в устройстве для хранения. Арифметическое устройство выполняет действия сложения, вычитания, умножения и деления. Выходное устройство берет результаты из устройства для хранения и превращает их в понятную форму, или отпечатывает результаты, или показывает их на электронно-лучевой трубке.

Хранение информации и программ в электронных машинах достигается путем применения магнитных барабанов или цилиндров. Информация подается в машину и записывается как намагниченная или ненамагниченная поверхность на вращающихся магнитных сердечниках. Наряду с этим созданы запоминающие устройства, основанные на использовании высокоскоростных вибраций в ртутных и электронно-лучевых трубках, и магнитные поля составленные из крошечных металлических колец.

Нецифровые вычислительные машины. Машины этого вида отличаются от цифровых вычислительных машин тем, что они выполняют математические операции путем измерения какого-либо физического количества. Электронные нецифровые, или непрерывно действующие, вычислительные машины свои задачи решают путем перевода в электрические величины измерений физических количеств.

Хорошим примером нецифровой, или непрерывной, вычислительной машины является логарифмическая линейка. В ней используется сложение длины как физическое количество для осуществления многочисленных арифметических действий.

Если у логарифмической линейки пара шкал сградуирована в виде обычных логарифмов, то умножение можно производить сложением двух длин, а деление — путем вычитания из одной длины второй. В логарифмическую линейку могут включаться многочисленные другие шкалы для того, чтобы производить многочисленные операции, основанные на манипуляциях размера длины.

Три типа счетных машин — настольные, перфорационные и электронные Бетрам Хуш рассматривает как три ступени развития счетной техники. Система перфокарт дает большое улучшение по сравнению с настольной счетной машиной. Однако машины этого типа все же ограничены в емкости накопления информации или, иными словами, в емкости памяти.

Электронные машины возникали в итоге постоянного поиска более быстрых и гибких методов обработки данных. Первоначально в этих машинах в электронных схемах применялись вакуумные лампы, но затем они были заменены менее дорогостоящими, но более прочными транзисторами. Преимущества электронных счетно-решающих устройств лежат в емкости их памяти и скорости, с которой они осуществляют операции. Емкость памяти этих машин позволяет накапливаться промежуточным результатам до тех пор, пока они не потребуются для осуществления соответствующей операции.

Кроме того, ряд команд огромной сложности может подаваться и будет сохраняться внутри машины, чтобы начать действовать в соответствующее время. Электронные вычислительные машины этого вида называются машинами с хранящейся программой.

Другой класс счетно-решающих устройств представляет собой машины, в которых программное устройство расположено внешне по отношению к счетно-решающему устройству.

На основе готовой программы или простого программирования вычисляются не только научные результаты, но также определяются размеры их погрешностей и многие взаимосвязи, исследование которых ранее ввиду огромного объема работы было немыслимым.

С помощью вычислительных машин можно быстро осуществлять утомительные вычисления объемов с их ошибками, свойственными выборочному обследованию.

Изменилась и полевая техника сбора и записи измерений. Эти полевые записи производятся на перфокарты и затем обрабатываются. Вычислительная революция также способствовала широкому распространению непрерывной системы инвентаризации лесов.

Программирование. Раздел вычислительной математики и вычислительной техники, связанный с эксплуатацией счетных машин с автоматическим программным управлением и изучающий системы команд, методы составления, преобразования и контроля программы, введения их в машину, называется программированием.

Надобность в программировании возникла с появлением вычислительных машин с автоматическим управлением.

Программирование для универсальных счетных машин заключается в составлении подробного плана их действия, записанного условным кодом на перфокартах, перфолентах, магнитных лентах (в зависимости от конструкции машин).

Бетрам Хуш в учебнике подчеркивает, что каждая вычислительная машина имеет свои инструкции, отличающиеся от инструкций других машин. Однако программы машин имеют общие черты. Например, все программы сообщают вычислительной машине выполнение арифметических и логических операций в заданной последовательности. Для этого каждый шаг программы должен быть тщательно сформулирован с максимальной подробностью, так как машина будет точно исполнять то, что ей задано. После того как машине дана задача, обязательно должна быть разработана программа для решения этой задачи. Программа направляет каждый шаг вычислительной машины. Программа должна предусматривать последовательность операций, арифметических и логических действий, которые должны осуществляться на каждом этапе работы машины. Программа составляется на языке, который машина может понимать. Операция по переводу программы на язык машины называется кодированием.

Некоторые виды обработки данных часто повторяются, что делает возможным разрабатывать машинную программу, которую можно использовать при повторном решении поставленных задач по машинной обработке материалов. Многие машинные программы создаются изготовителями самих машин, и они прилагаются к самим машинам. Собрание машинных программ называется библиотекой.

Цифровые вычислительные машины могут решать многие разнообразные задачи. Они выполняют сложные вычисления с большим количеством показателей, когда им дают соответствующие программы. Они производят ряд этапов (ступеней), включающих арифметические действия, сортировку, сравнение, выбор и т. д. без вмешательства человека, поскольку им даны соответствующие инструкции. Следует подчеркнуть, что эти машины могут выполнять операции поразительной сложности, но лишь при наличии программ, которые сформулированы человеческим умом.

В нашей стране в практику народного хозяйства вошли ЭВМ третьего поколения. Эти машины обладают большей скоростью и имеют ряд преимуществ. Для них составляют новые программы, охватывающие весь цикл таксационных работ.

Глава III

СПОСОБЫ ТАКСАЦИИ

§ 5. ФИЗИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ТАКСАЦИИ

Для наиболее точного определения объема древесной массы применяют два физических способа: ксилометрический и весовой. Ксилометрический способ основан на известном законе физики: тело, погруженное в жидкость, вытесняет ее в объеме, равном своему объему. Весовой способ основан на другом законе физики: тело, погружаемое в жидкость, теряет в весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость.

Прибор для измерения объема древесной массы первым способом называется ксилометром. Ксилометр представляет собой металлический цилиндр, чаще всего диаметром 50 см и высотой около 2 м. Ксилометр с переменным уровнем воды (рис. 33) имеет сбоку цилиндра кран, в который вставлена стеклянная трубка. Позади трубки установлена шкала. Шкала может быть подвижной и неподвижной.

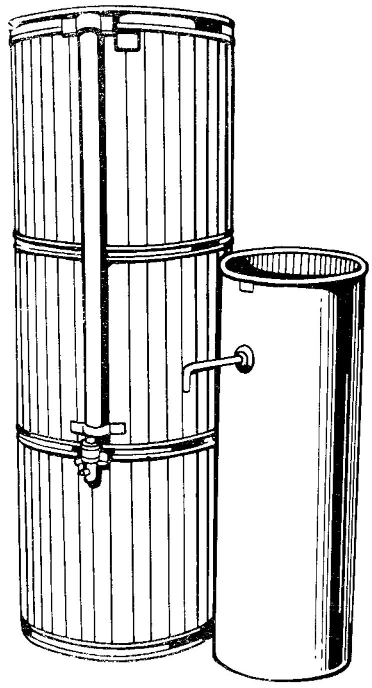


Рис. 33. Ксилометры: слева — с переменным, справа — с постоянным уровнем воды

Ксилометр наполняют водой до уровня, совпадающего с нулевым делением шкалы. Если шкала подвижная, совмещение уровня воды с нулевым делением достигается путем передвигания шкалы. Совместив нуль шкалы с уровнем воды в трубке, погружают в воду кусок древесины и, чтобы он не всплывал, давят на него металлическим сетчатым кругом. Круг снабжен стержнем, закрепленным вверху ксилометра.

При погружении куска древесины уровень воды повысится. Число делений на шкале, соответствующее этому уровню, и составляет объем куска в принятых для ксилометра объемных единицах.

Отсчет нужно производить возможно быстрее, чтобы часть воды не успела впитаться в погруженную древесину.

Ксилометр с постоянным уровнем на определенной высоте также имеет кран. При пользовании таким ксилометром его наполняют водой до уровня крана и погружают в цилиндр кусок древесины. По количеству воды, которое при этом выльется через кран, определяют объем погруженного куска.

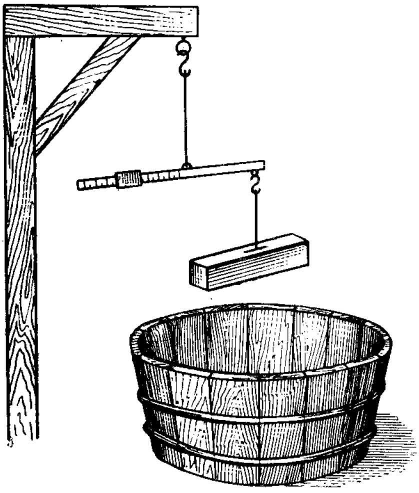


Рис. 34. Простейшие гидростатические весы

В США проф. Г. Янгом сконструирован горизонтальный ксилометр размером 70×70×610 см. Он позволил найти точные объемы бревен. Предварительно были вычислены объемы бревен по формуле Смалиана и Губера. Установлено, что при длине 16 футов формула Смалиана систематически завышает объемы, а формула Губера — занижает. В связи с полученными результатами исследований проф. Г. Янг ставил вопрос о пересмотре сложившейся практики определения объема бревен по формулам Смалиана и Губера.

Прибор для определения объема древесной массы по весовому способу называется **гидростатическими весами** (рис. 34). Кусок древесины сначала взвешивают в воздухе, затем в воде. Перед погружением в воду к нему привязывают металлический груз, который также взвешивают отдельно в воздухе и воде.

Разница между массой в воздухе и в воде, приходящаяся на одну древесину без потери в массе металлического груза, составляет массу воды, вытесненной древесиной. По массе воды может быть найден ее объем, совпадающий в данном случае с объемом испытываемого куска древесины.

Если массу куска древесины W разделить на его объем V, то полученное частное O составит плотность древесины, характеризующую соотношение между массой древесины и массой воды, взятых в одинаковых объемах.

Разделив массу куска древесины на ее плотность, получим **объем взвешенной древесины** $V = W : O$.

При определении объема древесины этим способом необходимо иметь в виду, что плотность разных древесных пород различна. Кроме того, на ее величину оказывает существенное влияние влажность древесины: по мере ее увеличения плотность возрастает.

Если масса отрезка дерева определена в тоннах, объем его получается в кубометрах. Взвешивают древесину на десятичных весах.

Вопрос о плотности древесины наших главнейших древесных пород является предметом многократных исследований. Результаты этих исследований обобщены при установлении государственного общесоюзного стандарта на дрова для отопления, сухой перегонки и углежжения (ГОСТ 3243—46), утвержденного бывш. Государственным комитетом стандартов Совета Министров СССР. В стандарте указана масса плотного кубического метра дров в зависимости от породы древесины при влажности ее 25 и 50 % (табл. 2).

2. МАССА 1 ПЛ. М³ ДРЕВЕСИНЫ ПО ГОСТ 3243—46

Порода	Масса 1 пл. м³ здоровой древесины		
	кг, при влажности, %		% к массе древесины сосны
	25	30	
Граб	820	970	156
Дуб, ясень или клен	730	860	139
Лиственница	790	820	133
Бук	680	800	130
Береза	670	790	128
Ильм или вяз	670	790	128
Ольха	540	650	103
Сосна	525	625	100
Осина или липа	500	600	95
Ель	470	560	90
Кедр сибирский	460	550	88
Пихта кавказская	460	550	88
» сибирская	410	490	78

По массе древесины, приведенной в табл. 2, можно определить ее объем в плотных кубических метрах. Допустим, что общая масса древесины граба с влажностью 50 % составила 2,425 т. По таблице находим, что масса 1 пл. м³ древесины граба при влажности 50 % равна 970 кг, или 0,970 т. Подставив найденные значения в приведенную выше формулу, получим

$$V = \frac{W}{O} = \frac{2,425}{0,970} = 2,5 \text{ пл. м}^3.$$

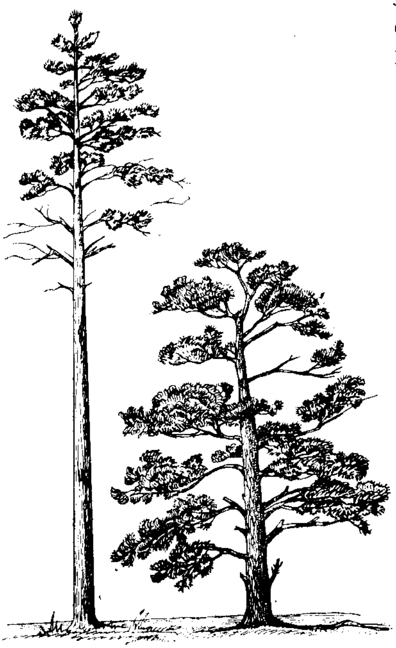
Из таблицы видно, что в зависимости от влажности масса древесины значительно изменяется.

§ 6. СТЕРЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ТАКСАЦИИ

Форма поперечных сечений древесных стволов

Дерево состоит из корней, ствола и сучьев, образующих крону. Наиболее ценной частью дерева, на долю которой приходится в среднем 60—85 % его объема, является ствол, поэтому определение объема ствола составляет одну из главных задач лесной таксации.

Древесный ствол, как и отдельные его части, имеет некоторое сходство с правильными стереометрическими телами. Поэтому при определении объемов растущих и срубленных деревьев или частей ствола могут быть применимы законы и правила стереометрии.



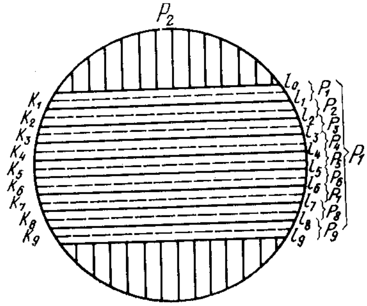


Рис. 35. Форма и размеры деревьев, выросших в лесу (слева) и на открытой местности (справа)

Рис. 36. Контур поперечного сечения ствола

Форма древесных стволов весьма разнообразна. У деревьев, выросших в густом лесу, стволы более правильной формы, у одиночно растущих деревьев — обычно неправильной, при этом у них сильно развита крона (рис. 35).

Поперечные срезы древесных стволов или, как принято их называть, поперечные сечения по форме напоминают круги или эллипсы. Исследования показали, что у хвойных пород взаимно перпендикулярные диаметры в нижней трети ствола в среднем различаются на 3,7 %, а в средней части ствола — на 3,1 %.

Форму поперечных сечений древесных стволов детально изучали С. Е. Осетров и проф. В. Я. Добролянский. С. Е. Осетров исследовал форму поперечных сечений (в коре), расположенных на высоте 1,3 м от шейки корня, у 27 еловых, 13 сосновых и 10 лиственничных деревьев. Контуры срезов стволов были перенесены на бумагу и площади их исчислены геометрическим способом.

На рис. 36 показан контур поперечного сечения ствола, разделенный на секторы поперечными линиями. Каждый сектор разбит в свою очередь на полоски l шириной 2 см. Посередине каждой полоски проведена пунктирная линия, обозначенная буквой K с соответствующим индексом.

Площади полосок p определены по формуле Симпсона, применяемой в математике при приближенном решении интегралов:

$$p_1 = (l_0 + 4K_1 + l_1) \cdot \frac{2}{6}; \tag{5}$$

$$p_2 = (l_1 + 4K_2 + l_2) \cdot \frac{2}{6}; \tag{6}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$p_n = \left(l_{n-1} + 4K_n + l_n\right) \cdot \frac{2}{6}. \tag{7}$$

Площадь всего сектора P_1 будет равна сумме площадей полосок:

$$P_1 = \left[l_0 + l_n + 2\left(l_1 + l_2 + \ .\ .\ .\ + l_{n-1}\right) + 4\left(K_1 + K_2 + \ .\ .\ .\ K_n\right)\right] \cdot \frac{2}{6}. \tag{8}$$

Площадь поперечного сечения ствола будет равна сумме площадей трех секторов и четырех треугольников:

$$P_{общ} = P_1 + P_2 + P_4 + 4\Delta. \tag{9}$$

У исследованных деревьев были обмерены с точностью до мм наибольший a, наименьший b и два взаимно перпендикулярных a_1 и b_1 диаметра. По этим диаметрам были вычислены площади поперечных сечений обмеренных стволов.

Площади поперечных сечений, найденные по формуле (8), требующей разделения срезов на полоски, приняты за истинные, отклонения площадей сечений, вычисленных по формулам круга и эллипса (табл. 3), выражены в процентах.

На основании данных табл. 3 можно заключить, что формы поперечных сечений древесных пород в коре не представляют правильных геометрических фигур, а лишь приближаются к ним, формулы эллипса и круга преувеличивают площади поперечных сечений стволов. Наибольшее преувеличение (3,45—4,25 %) оказалось у лиственницы, сосна занимает среднее положение (1,77—2,71 %), наименьшее преувеличение дала ель (0,81—1,07 %). Формулы эллипса и круга дают близкие результаты.

3. ОТКЛОНЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ, ВЫЧИСЛЕННЫХ ПО ФОРМУЛАМ ЭЛЛИПСА И КРУГА, ОТ ИСТИННЫХ

Характер отклонения	Отклонения, % площадей, вычисленных по формуле			
	$\frac{\pi ab}{4}$	$\frac{\pi}{4}\left(\frac{a+b}{2}\right)^2$	$\frac{\pi a_1 b_1}{4}$	$\frac{\pi}{4}\left(\frac{a_1+b_1}{2}\right)$
		Ель		
Среднеарифметическое	+0,81	+0,94	+1,04	+1,07
		Сосна		
Среднеарифметическое	+1,77	+1,93	+2,66	+2,71
		Лиственница		
Среднеарифметическое	+3,45	+3,55	+5,23	+5,25

Проф. В. Я. Добровлянский исследовал девять сосновых стволов, разрезав их на части длиной 2,13 м. Каждый срез в коре и без коры он переносил на кальку и площади их вычислял планиметром. Результаты его исследований, дополнительно обработанные проф. А. В. Тюриным, приведены в табл. 4.

Наиболее близкие к истинным получаются площади сечений, вычисленных по формуле эллипса, определяемого по наибольшему и наименьшему диаметрам. Менее точные результаты получаются при определении площадей эллипсов по двум взаимно перпендикулярным диаметрам. Наибольшее приближение площадей эллипсов наблюдается в средней (10,65 м) и верхней (21,3 м) частях стволов. Формула эллипса преувеличивает площадь сечения в коре нижней части ствола (2,13 м), что объясняется неровностями и трещинами коры в этой части ствола. Поперечные сечения стволов сосны без коры во всех частях ствола близки к площади эллипсов.

4. ОТКЛОНЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ, ВЫЧИСЛЕННЫХ ПО ФОРМУЛЕ ЭЛЛИПСА, ОТ ИСТИННЫХ

Характер отклонения	Отклонение, % площадей, вычисленных					
	по формуле эллипса $\pi ab/4$ на высоте от пня, м			по формуле эллипса $\pi a_1 b_1/4$ на высоте от пня, м		
	2,13	10,65	21,3	2,13	10,65	21,3
			В коре			
Среднеарифметическое	+0,5	0,0	0,0	+3,5	+1,7	—0,2
			Без коры			
Среднеарифметическое	+0,2	—0,3	+0,8	+0,1	+1,3	+1,1

Сопоставление данных табл. 3 и 4 показывает, что при определении поперечных сечений нижней части ствола по формулам круга и эллипса погрешность исчисления возрастает с увеличением толщины коры. У деревьев с тонкой корой это преувеличение в среднем равно 1 %, с толстой корой 2—3 %, с очень толстой — 4—5 %. При вычислении площадей поперечных сечений окоренных стволов формулы круга и эллипса дают для любого сечения по всей высоте ствола преувеличение на 0,5—1 %.

В широкой таксационной практике ошибки, не превышающие приведенных выше, считаются неизбежными. Поэтому площади поперечных сечений находят по формуле круга, обеспечивающей точность до 3 %.

Площади кругов по сравнению с эллипсами дают незначительное превышение, вытекающее из следующего теоретического расчета:

$$\frac{\pi}{4}\left(\frac{a+b}{2}\right)^2-\frac{\pi}{4}ab=\frac{\pi}{4}\left(\frac{a^2+2ab+b^2}{4}-ab\right)=$$

$$=\frac{\pi}{4}\left(\frac{a^2+2ab+b^2-4ab}{4}\right)=\frac{\pi}{4}\left(\frac{a^2-2ab+b^2}{4}\right)=\frac{\pi}{4}\left(\frac{a-b}{2}\right)^2. \quad (10)$$

При равенстве a и b площади эллипса и круга равны. По мере увеличения разницы между величинами a и b увеличиваются также различия в площадях.

Форма продольных сечений древесных стволов

Если древесный ствол разрезать по сердцевине вертикальной плоскостью, то в сечении получится фигура, отграниченная кривой, которая расположена симметрично по отношению к вертикальной оси (рис. 37). При таком положении можно древесный ствол рассматривать как тело вращения, ограничиваемое некоторой кривой. Зная уравнение этой кривой, можно определить объем ствола.

Многочисленные исследования кривых ствола показали, что они неправильны и непостоянны. Уравнения, точно определяющего характер этих кривых, до сих пор не найдено.

Определить объем ствола аналитически можно было бы в том случае, если бы для каждого ствола было известно уравнение его поверхности: $F(x, y, z)=0$, т. е. вид функции F. Зная уравнение поверхности ствола, можно было вычисление его объема свести к интегрированию некоторой заданной функции.

Отсутствие общего уравнения поверхности ствола заставляет ограничиваться методом приближенных вычислений. Степень точности получающихся при этом результатов может быть очень высокой. Она зависит от погрешностей измерений, используемых в качестве основы при вычислении объемов.

Для упрощения исходят из предположения, что ствол есть тело вращения (рис. 38). В этом случае всякое сечение ствола плоскостью перпендикулярной его продольной оси есть круг. Однако изучение поперечного сечения ствола показало, что оно не является кругом. Поэтому, рассматривая древесный ствол как тело вращения, допускают определенную условность.

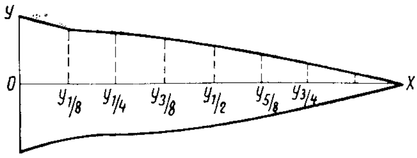


Рис. 37. Продольное сечение древесного ствола

Ошибки в определении объема ствола, принятого за тело вращения, не превышают допускаемой при таксации погрешности. Если ствол считать телом вращения, задачу по определению его объема можно значительно упростить. В этом случае вопрос будет решаться не при помощи геометрии в пространстве, а посредством геометрии на плоскости и вместо изучения поверхности ствола будет изучаться его образующая.

Многочисленные исследования показали, что образующая древесного ствола — слишком сложная кривая и на всем протяжении не может быть представлена одной аналитической кривой. Правильнее ее рассматривать как сочетание разных кривых. Поэтому и древесный ствол ближе к телу, состоящему из различных конусообразных тел вращения.

В нижней части ствола образующая обычно имеет вогнутую форму, на большей части протяжения ствола она выпуклая и лишь на сравнительно коротких участках приближается к прямой (рис. 39).

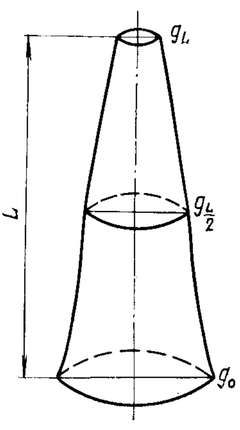


Рис. 38. Ствол как тело вращения

Отрезки образующей ствола со значительной степенью точности характеризуются уравнением

$$y^a = cx^b, \tag{11}$$

где y — радиус поперечного сечения ствола; c — постоянный коэффициент; x — расстояние этого сечения от вершины кривой.

Это уравнение характеризует обширный класс кривых, в аналитической геометрии называемых **параболами** (см. рис. 39). В числе этих парабол наиболее распространенная парабола второго порядка является частным случаем, когда показатель степени b равен 1, а показатель степени a равен 2:

$$y^2 = cx. \tag{12}$$

Все кривые такого рода проходят через начало координат, в котором находится вершина кривой.

По соотношению показателей степени левой и правой частей уравнения можно судить о характере кривой. Если $a>b$, кривая оказывается выпуклой, если $a<b$ — вогнутой. Изменяя значение показателей степени a и b, можно построить такую кривую, которая будет очень мало отклоняться от кривой, построенной на основании фактических обмеров ствола. При вращении кривых вида $y^a = cx^b$ вокруг оси абсцисс получаем параболоиды вращения различных порядков. Кривые, являющиеся образующими параболоидов, характеризуются уравнением

$$y^2 = Ax^m, \qquad (13)$$

где A — параметр, определяющий размер кривой; m — показатель степени, характеризующий форму кривой.

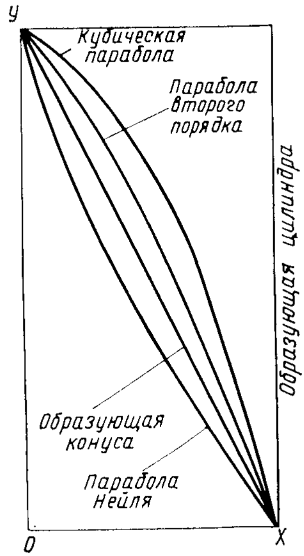


Рис. 39. Образующие тел вращения

Способы определения объема ствола основываются на принятии образующей ствола, характеризующейся уравнением

$$y^2 = Ax^m. \qquad (14)$$

У отдельных древесных пород в разных условиях роста и в разных частях ствола показатель степени m изменяется от 0 до 3. В зависимости от значения m уравнения принимают следующий вид:

при $m = 0$ $\quad y^2 = A;$ (15)

при $m = 1$ $\quad y^2 = Ax;$ (16)

при $m = 2$ $\quad y^2 = Ax^2;$ (17)

при $m = 3$ $\quad y^2 = Ax^3.$ (18)

В первом случае формула (15) — это уравнение прямой, параллельной оси абсцисс. При вращении ее вокруг оси абсцисс образуется цилиндр. Во втором случае формула (16) — это уравнение параболы второго порядка. Получаемое при этом тело вращения называется параболоидом второго порядка. В третьем случае [формула (17)] две пересекающиеся прямые при вращении образуют обыкновенный прямобокий конус. И, наконец, в последнем случае [формула (18)] — это уравнение носит название уравнения параболы Нейля, а при вращении кривой такого рода получается нейлоид.

Отдельные части ствола приближаются к этим четырем геометрическим формам: нижняя — к нейлоиду, средняя (отдельные короткие отрезки) — к цилиндру, вершинная — к конусу, а большая часть — к параболоиду второго порядка.

Стереометрическим формулам, применяемым в лесной таксации, дает глубокий математический анализ в курсе «Дендрометрия» проф. Патроне (Италия).

В основе суждений проф. Патроне лежит сопоставление объемов цилиндра и параболоида вращения. При этом последний равен объему цилиндра, имеющего с параболоидом одинаковые основание и высоту, умноженному на коэффициент $f_0 = 1/(2r+1)$. Этот множитель может быть близким к единице или меньше единицы, в зависимости от r. Множитель f_0 проф. Патроне называет коэффициентом абсолютной формы.

Дендрометрические прототипы тел вращения имеют следующие показатели:

	Показатель степени	Коэффициент абсолютной формы
Цилиндр	0	1
Полукубический параболоид . .	1/3	3/5
Параболоид Аполлона	1/2	1/2
Кубический параболоид	2/3	3/7
Конус	1	1/3
Нейлоид	3/2	1/4

Значения r вычисляются по формуле

$$r = \frac{\lg y_2 - \lg y_1}{\lg x_2 - \lg x_1}, \tag{19}$$

где y_2 и y_1 — ординаты точек кривой; x_2 и x_1 — соответствующие абсциссы.

У древесных стволов чаще всего r варьирует от 8,51 до 0,55, что соответствует значению f_0 от 0,49 до 0,45.

Великий русский ученый Д. И. Менделеев для определения объемов стволов применил уравнение кубической параболы, характеризующее образующую древесного ствола. Исследования, проведенные лесоводом И. Белановским, подтвердили, что уравнения параболы могут быть использованы для изучения формы древесных стволов. Уравнение кубической параболы имеет следующий вид:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3, \tag{20}$$

где y — полудиаметры ствола на различной высоте: x — расстояние от шейки корня до места измерения диаметров; a, b, c, d — некоторые постоянные коэффициенты.

Если на древесном стволе измерить ряд полудиаметров y, отстоящих на разных расстояниях от шейки корня, и эти полудиаметры выразить в относительных числах по сравнению с полудиаметром на шейке корня, то в конечном счете, решая систему уравнений, можем найти неизвестные величины (a, b, c, d), т. е. некоторые постоянные для древесного ствола коэффициенты. Подставив их в формулу, получим конкретное уравнение, характеризующее кривую данного древесного ствола. По этому уравнению можно определить диаметры ствола в промежуточных сечениях, непосредственно не обмерявшихся.

Допустим, что у ствола диаметр на $^1/_4$ высоты (или на $^1/_4x$) оказался равным 0,69, на $^1/_2$ высоты (или на $^1/_2x$) 0,55 и на $^3/_4$ высоты (или на $^3/_4x$) 0,35 диаметра нижнего сечения ствола. Приняв x, или полную высоту ствола, за единицу, а диаметр в вершине ствола равным нулю, можем написать следующие четыре уравнения:

$$0,69=a+b\frac{1}{4}+c\left(\frac{1}{4}\right)^2+d\left(\frac{1}{4}\right)^3=a+\frac{1}{4}b+\frac{1}{16}c+\frac{1}{64}d;$$

$$0,55=a+b\frac{1}{2}+c\left(\frac{1}{2}\right)^2+d\left(\frac{1}{2}\right)^3=a+\frac{1}{2}b+\frac{1}{4}c+\frac{1}{8}d;$$

$$0,35=a+b\frac{3}{4}+c\left(\frac{3}{4}\right)^2+d\left(\frac{3}{4}\right)^3=a+\frac{3}{4}b+\frac{9}{16}c+\frac{27}{64}d;$$

$$O=a+b1+c1+d1=a+b+c+d.$$

Решив систему уравнений с четырьмя неизвестными, находим коэффициенты: $a=0{,}8$, $h=-0{,}5$; $c=0{,}3$ и $d=-0{,}6$. Величины этих коэффициентов подставим в уравнение

$$y=a+bx+cx^2+dx^3=0,8-0,5x+0,3x^2-0,6x^3.$$

Решение подобных задач показывает, что такие уравнения довольно хорошо характеризуют кривую, являющуюся образующей ствола на протяжении от $^1/_8$ примерно до $^3/_4$ его длины, считая от комля. Нижняя, комлевая часть вследствие корневых наплывов имеет иной вид. Вершинная часть ствола по форме весьма изменчива, и ее образующая плохо характеризуется приведенным общим уравнением.

При исследовании несущих органов однолетних и многолетних растений ботаник С. Швенденер обнаружил, что форма их стеблей очень близка к форме бруса равного сопротивления. Такая форма стеблей позволяет растениям достигать наибольшей прочности при наименьшей затрате органического вещества.

К. Метцгер развил эту теорию дальше. Он исследовал стволы ели и вывел две формулы для определения их размеров. При этом Метцгер исключал из всех расчетов ветровую силу и переходил к определению относительных размеров ствола, используя какой-нибудь исходный диаметр. В качестве исходного он взял диаметр у начала кроны.

На основе того, что у бруса равного сопротивления кубы диаметров любых сечений ствола равны расстоянию от этих диаметров до центра тяжести кроны, диаметры ствола до начала кроны Метцгер определял по следующей формуле:

$$d_x=\delta^3\sqrt{\frac{k+3s}{k}}, \tag{21}$$

где d_x — любой диаметр ствола до начала кроны; δ — диаметр у начала кроны; k — длина кроны; s — расстояние от d_x до начала кроны.

Метцгер считает изменение ветрового давления, действующего на крону, прямо пропорциональным изменению квадрата ее базиса и высоты, если она имеет форму треугольника. На основании этого получим

$$d_k=\delta\frac{k_1}{k}, \tag{22}$$

где d_k — любой диаметр внутри кроны; k — длина кроны; k_1 — расстояние от вершины кроны до d_k.

По мнению русского таксатора-практика П. Д. Козицына, диаметры стволов у безъядровых древесных пород, взятые на различном расстоянии от точки приложения силы, опрокидывающей ствол, находятся в следующем соотношении (рис. 40):

$$d_1^3 : d_2^3 : d_3^3 = l_1 : l_2 : l_3. \quad (23)$$

В этой пропорции: d_1, d_2, d_3 — диаметры ствола в соответствующих сечениях; l_1, l_2, l_3 — расстояния от точки приложения силы до указанных диаметров.

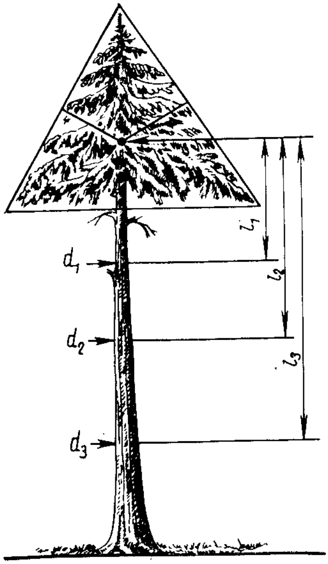


Рис. 40. Ствол дерева — брус равного сопротивления

Стволы ядровых древесных пород, по мнению П. Д. Козицына, построены по законам полого бруса равного сопротивления. Диаметры ядровых пород и соответствующие им расстояния от точки приложения силы находятся в следующем соотношении:

$$d_1^{4,5} : d_2^{4,5} : d_3^{4,5} = l_1 : l_2 : l_3. \quad (24)$$

Сопоставление данных, полученных при измерении диаметров и вычислении их по приведенным формулам, показывает, что хотя полностью они и не совпадают, но близки между собой.

По мнению В. Гогенадля, при формообразовании решающее значение имеет собственная масса дерева. Гогенадль рассматривает собственную массу дерева как сжимающую силу. Для определения размеров той части ствола, которая расположена ниже начала кроны, Гогенадль дает довольно сложную формулу, учитывающую объемный вес древесины, ее прочность на сжатие и диаметр у начала кроны.

Л. Тирен, основательно исследовавший этот вопрос с математической стороны, пришел к выводу, что теория Гогенадля не выдерживает критики. Нельзя признать верным, что форма ствола зависит прежде всего от воздействия незначительных сил собственного веса дерева и что намного бо́льшие силы (изгиб) не оказывают на нее никакого влияния.

Виндгирш отмечает, что теория Гогенадля противоречит процессу роста дерева. По его формуле должны расширяться годичные слои в нижней части ствола. На самом деле наблюдается обратное явление. Наиболее широкие годичные кольца находятся в подкронной части ствола.

А. Илинен считает, что на форму ствола влияют одновременно несколько сил (собственный вес дерева как сжимающая и изгибающая сила и изгибающие моменты, вызванные действием ветра на крону и на ствол).

На основе детальных исследований кроны ствола (изучения ее сопротивляемости, изменения ветровой скорости в разных местах кроны) Илинен строит «редуцированную ветровую площадь» кроны, имеющую форму трапеции. Он приходит к выводу, что укорочение и растяжение крайних древесных волокон по всей длине ствола постоянно, а это означает, что форма ствола зависит от модуля упругости. В разных местах ствола модуль упругости различен. На основании этого Илинен приравнивает форму ствола к форме бруса равного сопротивления.

Для комлевых наплывов Илинен выдвигает гипотезу о нелинейном распределении напряжения по поперечному сечению, которое ведет к расширению нижней части ствола. Решение проблемы комлевых наплывов с точки зрения теоретической механики очень трудно. Поэтому Илинен находит весьма сложное, но хорошо отображающее форму комлевых наплывов эмпирическое уравнение.

Заслуживает внимания теоретическое объяснение Илиненом зависимости формы ствола от протяженности кроны.

В 1913 г. П. Жаккард выдвинул свою транспирационную теорию. В ней он рассматривает дерево как тело равной водопроводимости. Между транспирационной поверхностью кроны и водопроводящей площадью поперечного сечения ствола существует, по Жаккарду, такая зависимость:

$$\frac{LF}{TF} = \text{const}, \tag{25}$$

где TF — транспирационная поверхность кроны; LF — водопроводящая площадь поперечного сечения ствола.

Жаккард считал, что различная интенсивность транспирации кроны (которая зависит не только от величины поверхности кроны, но и от температуры, движения воздуха и т. д.), регулируется скоростью водоподачи в верхние части ствола. Поэтому он полагал, что и уравнение (25) остается верным при различной интенсивности транспирации.

Однако правильность этого уравнения еще не доказана. Кроме того, до сих пор точно не установлено, сколько годичных слоев и какая площадь внутри одного слоя принимают участие в водоподаче. Некоторые исследователи (например, Рубнер) отрицают постоянство водопроводящих площадей.

В Швеции образующую древесных стволов, противостоящих разрушительным действиям ветра, собственного веса и веса кроны, рассматривают как логарифмическую кривую.

В лесохозяйственной практике Швеции Гойер при характеристике сбега древесных стволов и определении диаметров сортиментов образующую древесных стволов приравнивает к логарифмической кривой и характеризует следующим уравнением:

$$d : D = C \lg [(c + l) : c], \tag{26}$$

где d — диаметр ствола на расстоянии l от вершины (l определяют в процентах от высоты ствола, уменьшенной на 1,3 м); D — диаметр ствола у основания (но чаще всего он берется на высоте груди); C и c — некоторые постоянные коэффициенты.

Для стволов осины это уравнение имеет следующие параметры:

$$\frac{d}{D} = 2{,}2 \lg \frac{49{,}6 + l}{49{,}6}.$$

Диаметры, исчисленные по этому уравнению, в средней части ствола наиболее близки к действительным.

В связи с тем, что измерение диаметров сволов обычно производят в направлении от комля к вершине, проф. К. Е. Никитиным [1979] выведено следующее логарифмическое уравнение, определяющее толщину стволов в долях базового диаметра по расстоянию x от нижнего среза ствола до соответствующего сечения:

$$y = 52{,}5 \lg \left(1 + \frac{1 - x}{0{,}26}\right). \tag{27}$$

Проверка этого уравнения показывает, что для части ствола начиная от 0,05 до 0,80 его высоты диаметры, найденные по уравнению, с истинной толщиной ствола имеют расхождения, ограниченные пределами от 2,8 до 3,7 %. Таким образом, для практических расчетов можно считать, что приведенное уравнение удовлетворительно описывает образующую древесного ствола.

Рассматривая формирование древесных стволов, происходящее под влиянием ветра и силы тяжести, и учитывая при этом законы механики, можно хотя и с некоторым приближением установить диаметры ствола в разных сечениях. Полного же совпадения теоретически найденных диаметров с фактическими быть не может, так как древесный ствол, являющийся составной частью живого организма, формируется не только под влиянием механических сил, но и под воздействием физиологических процессов. Поэтому действительная форма стволов оказывается сложнее формы брусьев равного сопротивления, изготовляемых по законам механики.

Приближенные формулы для определения объемов древесных стволов и их частей

По диаметрам в разных сечениях, определяемым по приведенным выше уравнениям, могут быть найдены площади поперечных сечений древесных стволов по следующей формуле:

$$g = A + Bx + Cx^2 + Dx^3, \tag{28}$$

где g — площадь поперечного сечения ствола; x — расстояние от шейки корня до рассматриваемого сечения; A, B, C, D — некоторые постоянные коэффициенты.

Определив площади поперечных сечений стволов, легко найти объем ствола или его части V. Этот объем можно рассматривать как сумму бесконечно тонких поперечных отрезов, имеющих высоту dx и площадь основания g.

Соответственно этому

$$V = \int_0^x g\,dx. \tag{29}$$

Подставим вместо g значение его по формуле (28):

$$V = \int_0^x (A + Bx + Cx^2 + Dx^3)\,dx.$$

Первообразной для x_n будет функция $\frac{x^{n+1}}{n+1}$, отсюда

$$V = Ax + \frac{Bx^2}{2} + \frac{Cx^3}{3} + \frac{Dx^4}{4}. \tag{30}$$

Для определения объема ствола или его части сначала можно ограничиться двумя членами подынтегрального выражения. В этом случае

$$g = A + Bx, \tag{31}$$

$$V = Ax + \frac{Bx^2}{2}. \tag{32}$$

Для нахождения коэффициентов A и B берут два конкретных сечения: g_0 — у основания ствола и g_L — на расстоянии L от шейки корня и составляют два уравнения, определяющих площади этих сечений:

$$g_0 = A + Bx_0 \quad \text{и} \quad g_L = A + Bx_L.$$

В этих уравнениях $x_0 = 0$, $x_L = L$. Поэтому можем написать

$$g_0 = A; \quad g_L = A + BL.$$

Решая последнее уравнение относительно B, получим

$$B = \frac{g_L - A}{L} = \frac{g_L - g_0}{L}.$$

Подставив в формулу (32) вместо A и B вычисленные значения этих коэффициентов и вместо x равную ему величину L, получим

$$V = g_0 L + \frac{g_L - g_0}{2} L = \frac{2g_0 L + g_L L - g_0 L}{2} = \frac{g_0 + g_L}{2} L. \tag{33}$$

Эта формула в лесной таксации называется простой формулой Смалиана.

Возьмем одно поперечное сечение на половине целого ствола или его части, а второе в тонком конце. Местоположение первого сечения определяется величиной $L/2$, а второго — на расстоянии L от основания ствола. Обозначив первое сечение через $g_{\frac{L}{2}}$, а второе g_L, можно написать

$$g_{\frac{L}{2}} = A + \frac{BL}{2}; \qquad g_L = A + BL.$$

Обе части первого уравнения увеличим в 2 раза:

$$2g_{\frac{L}{2}} = 2A + BL.$$

Из первого уравнения вычтем второе

$$\begin{array}{r} 2g_{\frac{L}{2}} = 2A + BL \\ - \\ g_L = A + BL \\ \hline 2g_{\frac{L}{2}} - g_L = A \end{array}.$$

Заменив во втором уравнении величину A выражением $2g_{\frac{L}{2}} - g_L$, получим

$$B = \frac{2\left(g_L - g_{\frac{L}{2}}\right)}{L}.$$

Подставим найденные значения A и B в основную формулу (32)

$$V = Ax + \frac{Bx^2}{2} = \left(2g_{\frac{L}{2}} - g_L\right)x + \frac{2\left(g_L - g_{\frac{L}{2}}\right)x^2}{2L}.$$

Заменив x через L, получим

$$V = \left(2g_{\frac{L}{2}} - g_L\right)L + \left(g_L - g_{\frac{L}{2}}\right)L = \left(2g_{\frac{L}{2}} - g_L + g_L - g_{\frac{L}{2}}\right)L = g_{\frac{L}{2}}L.$$

Обозначим поперечное сечение на половине ствола или его части $g_{L/2}$ греческой буквой γ (гамма), тогда формула примет следующий вид:

$$V = \gamma L. \tag{34}$$

Эта формула — основная в лесной таксации. Она называется формулой срединного сечения или формулой объема цилиндров. Впервые она была применена немецким лесоводом Губером. В связи с этим ее называют простой формулой Губера.

Чтобы вывести следующую формулу, первое поперечное сечение возьмем на расстоянии от комля, равном $1/3$ высоты ствола, а второе — в верхнем конце ствола или его отдельной части, обозначив первое сечение через $g_{L/3}$ и второе через g.

Подставив в основную формулу (32) найденные значения A и B и заменив x через L, получим

$$V = \left(\frac{3g_{\frac{L}{3}} - g_L}{2} + \frac{3g_L - 3g_{\frac{L}{3}}}{2\cdot 2}\right)L =$$

$$= \frac{6g_{\frac{L}{3}} - 2g_L + 3g_L - 3g_{\frac{L}{3}}}{4}L = \frac{3g_{\frac{L}{3}} + g_L}{4}L. \tag{35}$$

Эта формула называется формулой Госфельда.

Для целых стволов, у которых площадь поперечного сечения в верхнем конце равна нулю, формула Госфельда будет иметь такой вид:

$$V = \frac{3g_{\frac{L}{3}}}{4}L = 0{,}75g_{\frac{L}{3}}L. \tag{36}$$

В рассмотренных трех формулах были использованы два члена подынтегрального выражения. Для получения более точного результата можно взять три члена подынтегрального выражения. В этом случае

$$g = A + Bx + Cx^2,$$

а объем ствола или его части

$$V = Ax + \frac{Bx^2}{2} + \frac{Cx^3}{3}.$$

Для нахождения коэффициентов A, B и C составляют три уравнения, определяющие площади поперечных сечений: в комлевом конце, на середине и в верхнем конце ствола или его части

$$g_0 = A + Bx_0 + Cx_0^2; \qquad g_{\frac{L}{2}} = A + \frac{BL}{2} + \frac{CL^2}{4};$$

$$g_L = A + BL + CL^2.$$

$x_0=0$, отсюда $g_0=A$. Заменив A через g_0, будем иметь

$$g_{\frac{L}{2}} = g_0 + \frac{BL}{2} + \frac{CL^2}{4}; \qquad g_L = g_0 + BL + CL^2.$$

Обе части первого уравнения увеличим в 4 раза:

$$4g_{\frac{L}{2}} = 4g_0 + 2BL + CL^2.$$

Из этого уравнения вычтем второе:

$$\begin{array}{l} \quad 4g_{\frac{L}{2}} = 4g_0 + 2BL + CL^2 \\ - \\ \quad g_L = g_0 + BL + CL^2 = \\ \hline = 4g_{\frac{L}{2}} - g_L = 3g_0 + BL \end{array}.$$

Следовательно,

$$BL = -g_L + 4g_{\frac{L}{2}} - 3g_0.$$

Заменив во втором уравнении BL выражением $-g_L+4g_{L/2}-3g_0$, получим

$$CL^2 = 2g_L - 4g_{\frac{L}{2}} + 2g_0.$$

При трех членах подынтегрального выражения объем ствола или его части равен

$$V = Ax + \frac{Bx^2}{2} + \frac{Cx^3}{3}.$$

Заменив x через L, получим

$$V = AL + \frac{BL^2}{2} + \frac{CL^3}{3} = \left(A + \frac{BL}{2} - \frac{CL^2}{3}\right)L.$$

Подставив вместо A, B и C ранее найденные величины, будем иметь

$$V = \left(g_0 + \frac{-g_L + 4g_{\frac{L}{2}} - 3g_0}{2} + \frac{2g_L - 4g_{\frac{L}{2}} + 2g_0}{3} \right) L =$$

$$= \left(6g_0 - 3g_L + 12g_{\frac{L}{2}} - 9g_0 + 4g_L - 8g_{\frac{L}{2}} + 4g_0 \right) \frac{L}{6} =$$

$$= \left(g_0 + 4g_{\frac{L}{2}} + g_L \right) \frac{L}{6} \cdot \qquad (37)$$

Обозначив площадь сечения на середине длины через γ, получим

$$V = (g_0 + 4\gamma + g_L) \frac{L}{6} \cdot \qquad (38)$$

Эта формула пригодна для определения объемов всех тел вращения: цилиндра, параболоида, конуса и нейлоида. В математике она называется формулой Ньютона. В лесной таксации эту формулу первым применил немецкий лесовод Рикке. В связи с этим ее и называют **простой формулой Ньютона — Рикке.**

Располагая поперечные сечения в иных точках, можно вывести другие формулы, определяющие объем ствола или его части. Кроме того, имеется ряд эмпирических формул, но на практике они применяются редко.

При пользовании рассмотренными выше простыми формулами для определения объема древесный ствол или его часть уподобляют правильному геометрическому телу, в данном случае параболоиду, поскольку для образующей древесного ствола взято уравнение кубической параболы. Для получения более точного результата древесный ствол может быть расчленен на более мелкие отрезки и объем каждого из них найден по приведенным выше формулам. Сумма найденных объемов составит объем всего ствола или его части.

Проф. Петитколло (Petitcollot) формуле Ньютона—Рикке дал более простой вывод. За начало координат им взята середина длины ствола. Соответственно этому условию объем ствола будет следующим:

$$V = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} g dx = \left[Ax + \frac{Bx^2}{2} + \frac{Cx^3}{3} + \frac{Dx^4}{4} \right]_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} \cdot \qquad (39)$$

Части ствола, расположенные вправо и влево от начала координат, характеризуются следующими уравнениями:

$$+x = \frac{L}{2}; \quad V_{+} = \frac{AL}{2} + \frac{BL^2}{2 \cdot 4} + \frac{CL^3}{3 \cdot 8} + \frac{DL^4}{4 \cdot 16}$$

—

$$-x = -\frac{L}{2}; \quad V_{-} = -\frac{AL}{2} + \frac{BL^2}{2 \cdot 4} - \frac{CL^3}{3 \cdot 8} + \frac{DL^4}{4 \cdot 16}.$$

Вычитая из первого уравнения второе, находим общий объем ствола. Он будет следующим:

$$V = AL + \frac{CL^3}{12} = V = L\left(A + \frac{CL^2}{12}\right).$$

Площади поперечных сечений в разных частях ствола определяются следующими выражениями:

$$x = -\frac{L}{2}; \qquad g_0 = A - \frac{BL}{2} + \frac{CL^2}{4} - \frac{DL^3}{8};$$

$$x_0 = 0; \qquad g_{\frac{L}{2}} = A.$$

$$x = +\frac{L}{2}; \qquad g_L = A + \frac{BL}{2} + \frac{CL^2}{4} + \frac{DL^3}{8}.$$

В уравнении $g_{L/2} = A$ обе половины увеличим в 4 раза и полученные три уравнения суммируем. Их сумма оказывается следующей:

$$g_0 + 4g_{\frac{L}{2}} + g_L = 6A + \frac{CL^2}{2} = 6\left(A + \frac{CL^2}{12}\right).$$

Обе половины этого уравнения разделим на 6:

$$\frac{g_0 + 4g_{\frac{L}{2}} + g_L}{6} = A + \frac{CL^2}{12}.$$

В формуле, определяющей объем ствола,

$$\left[V = L\left(A + \frac{CL^2}{12}\right)\right],$$

множитель $A + \frac{CL^2}{12}$ заменим через $\frac{g_0 + 4g_{\frac{L}{2}} + g_L}{6}$. В результате получаем формулу Ньютона — Рикке

$$V = L\left(A + \frac{CL^2}{12}\right) = V = L\,\frac{g_0 + 4g_{\frac{L}{2}} + g_L}{6}.$$

По этому же принципу, предложенному проф. Петитколло, выведем формулы Смалиана, Губера и Госфельда.

В данном случае в формулах, определяющих площади поперечных сечений и объемы, ограничимся двучленными выражениями:

$$g = A + Bx \quad \text{и} \quad V = Ax + \frac{Bx^2}{2}.$$

Если за начало координат взять середину ствола, то его объем будет равен

$$V = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} g dx. \tag{40}$$

Этому интегралу можно придать следующее выражение:

$$V = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} V\left(+\frac{L}{2}\right) - V\left(-\frac{L}{2}\right).$$

$$\text{При} \quad x = +\frac{L}{2} \qquad V = \frac{AL}{2} + \frac{BL^2}{4}.$$

$$\text{При} \quad x = -\frac{L}{2} \qquad V = -\frac{AL}{2} + \frac{BL^2}{4}.$$

Вычитая из первого уравнения второе, получим

$$V = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} g dx = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} V\left(+\frac{L}{2}\right) - V\left(-\frac{L}{2}\right) = AL.$$

$$\text{При } x = -\frac{L}{2} g_0 = A - \frac{BL}{2}.$$

$$\text{При } x = +\frac{L}{2} \frac{gL = A + \frac{BL}{2}}{g_0 + gL = 2A}.$$

Подставляя эту сумму в формулу $V = AL$, получим формулу Смалиана:

$$V = AL = \frac{g_0 + g_L}{2} L.$$

При $x = 0$ $g_{L/2} = A$, а

$$V = AL = g_{\frac{L}{2}} \cdot L = \gamma L.$$

Таким образом, в результате приведенных подставок получена формула Губера.

Для вывода формулы Госфельда возьмем два сечения: одно из них на $^1/_6$ от основания ствола и второе на половине длины ствола. Тогда окажется

$$V = AL = \frac{3g_{\frac{L}{3}} + g_L}{4} L.$$

В результате преобразований мы получили формулу Госфельда.

При $g_L = 0$ согласно предыдущим расчетам $V = 0{,}75\ g_{\frac{L}{3}} L$. Эта формула определяет объем целых стволов.

Кроме рассмотренных выше формул в лесной таксации известен ряд других стереометрических формул. Из них одной из лучших считают следующую формулу Симони:

$$V = \frac{L}{3}\left(2g_{\frac{1}{4}L} - g_{\frac{1}{2}L} + 2g_{\frac{3}{4}L}\right). \tag{41}$$

Для применения этой формулы необходимо измерение диаметров на середине ствола и на одной четверти от концевых сечений.

По трем промежуточным сечениям объем ствола или его части может быть найден по формулам:

$$V = \frac{L}{3}\left(g_{\frac{1}{6}L} + g_{\frac{1}{2}L} + g_{\frac{5}{6}L}\right) \text{ и}$$

$$V = \frac{L}{8}\left(3g_{\frac{1}{6}L} + 2g_{\frac{1}{2}L} + 3_{\frac{5}{6}L}\right). \tag{42}$$

Для нахождения комлевой части ствола лучше использовать формулу

$$V = \frac{L}{4}\left(2g_{\frac{1}{6}L} + g_{\frac{1}{6}L} + g_{\frac{5}{6}L}\right). \tag{43}$$

По двум равноотстоящим сечениям могут быть применены следующие общие формулы Гаусса—Симони:

$$V = \frac{L}{2}\left(g_a + g_b\right); \tag{44}$$

где $a + b = 1$;

$$V = \frac{L}{2}\left(g_{0,21} + g_{0,79}\right). \tag{45}$$

Приближенная формула Гаусса — Симони имеет следующий вид:

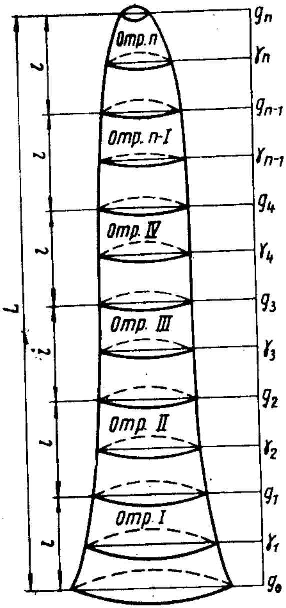
$$V = \frac{L}{2}\left(g_{\frac{1}{5}L} + g_{\frac{4}{5}L}\right). \tag{46}$$

Вторая формула Симони основывается на сечениях, отстоящих от концевых сечений на $^1/_6$ части длины ствола:

$$V = \frac{L}{2}\left(g_{\frac{1}{6}L} + g_{\frac{5}{6}L}\right). \tag{47}$$

Эти формулы позволяют находить по малому числу измерений объемы модельных деревьев, срубаемых при закладке пробных площадей.

Следует иметь в виду, что формулы, требующие разделения ствола на секции и определения площади срединных сечений, всегда дают отрицательную ошибку. При этом чем больше секций, тем меньше отрицательная ошибка.



При разделении длины ствола на три или четыре отрезка по формуле

$$V = \frac{L}{4}\left(2g_{\frac{1}{6}L} + g_{\frac{1}{2}L} + g_{\frac{5}{6}L}\right)$$

может быть получен лучший результат, чем по формуле срединных сечений. Очень хорошие результаты по сравнению со сложной формулой срединных сечений дает довольно простая формула

$$V = \frac{L}{2}\left(g_{\frac{1}{6}L} + g_{\frac{5}{6}L}\right). \qquad (48)$$

Поперечные сечения стволов могут быть взяты и на других расстояниях от его концов и путем интегрирования найдены объемы.

Допустим, что древесный ствол разделен на n отрезков длиной l (рис. 41).

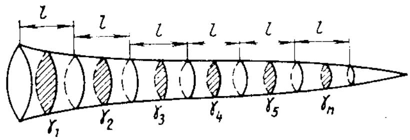


Рис. 41. Определение объема ствола по сложной формуле Смалиана

Рис. 42. Определение объема ствола по сложной формуле Губера

По формуле (33) среднего сечения объем ствола будет равен

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots + V_n = (g_0 + g_1)\frac{l}{2} + (g_1 + g_2)\frac{l}{2} + $$
$$+ (g_2 + g_3)\frac{l}{2} + \ldots + (g_{n-1} + g_n)\frac{l}{2}.$$

Преобразовав эту формулу, получим

$$V = \left[\frac{g_0 + g_n}{2} + (g_1 + g_2 + g_3 + \ldots + g_{n-1})\right] l. \qquad (49)$$

Эта формула называется сложной формулой средних (концевых) сечений или сложной формулой Смалиана.

Если определять объемы отдельных отрезков по простой формуле срединного сечения (34), то при разделении ствола на n отрезков (рис. 42) общий объем его будет равен

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots + V_n = (\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \ldots + \gamma_n)\, l + V_в. \qquad (50)$$

Эта формула называется сложной формулой срединных сечений или сложной формулой Губера.

При научных исследованиях проф. Патроне предпочитает формулу

$$V = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \ldots + \gamma_n,$$

требующую разделения стволов на 1-метровые отрезки.

При определении объемов отдельных отрезков по формуле Госфельда, учитывающей сечение на $^1/_3$ длины отрезка и в верхнем отрезе, общий объем ствола будет равен

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots + V_n = (3p_1 + g_1)\frac{l}{4} +$$

$$+ (3p_2 + g_2)\frac{l}{4} + (3p_3 + g_3)\frac{l}{4} + \ldots + (3p_n + g_n)\frac{l}{4}. \quad (51)$$

В этой формуле сечения на одной трети отрезков $(g_{l/3})$ обозначены через p_1, p_2, p_3 и т. д.

Преобразовав эту формулу, получим

$$V = [g_1 + g_2 + g_3 + \ldots + g_n + 3(p_1 + p_2 + p_3 + \ldots + p_n)]\frac{l}{4}. \quad (52)$$

При двухметровой длине отрезков для определения объема ствола по формуле Госфельда необходимо измерить диаметры в верхнем сечении каждого отрезка и на 0,67 м от их нижних сечений.

В результате решения интеграла Эйлера получена следующая формула:

$$V = \frac{x}{8}\left(g_0 + 3g_{\frac{1}{3}} + 2g_{\frac{2}{3}} + g_1\right). \quad (53)$$

При определении объемов стволов или их частей по формуле Эйлера получаются меньшие ошибки, чем по формуле Ньютона—Рикке.

При определении объемов отдельных отрезков по простой формуле Ньютона—Рикке общий объем ствола будет равен

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots + V_n = (g_0 + 4\gamma_1 + g_1)\frac{l}{6} +$$

$$+ (g_1 + 4\gamma_2 + g_2)\frac{l}{6} + (g_2 + 4\gamma_3 + g_3)\frac{l}{6} + \ldots$$

$$\ldots + (g_{n-1} + 4\gamma_n + g_n)\frac{l}{6}.$$

После соответствующего преобразования формула примет такой вид:

$$V = [g_0 + g_n + 2(g_1 + g_2 + \ldots + g_{n-1}) + 4(\gamma_1 + \gamma_2 + \ldots + \gamma_n)]\frac{l}{6}. \qquad (54)$$

Эта сложная формула называется в математике формулой Симпсона. Обычно ее используют для нахождения площади, ограничиваемой параболой.

При исчислении объема по формуле (54) надо знать диаметры для каждого отрезка в нижнем, срединном и верхнем сечениях.

При делении ствола на отрезки длиной l остается вершина длиной h. Ее объем находят по формуле объема конуса:

$$V_{\text{вер}} = \frac{gh}{3}. \qquad (55)$$

Погрешности стереометрических формул

По всем рассмотренным нами формулам объем древесных стволов или их частей определяется приближенно. При практической оценке этих формул надо знать погрешность, с которой определяются по ним объемы стволов.

Объемы, определяемые ксилометрическим способом, принято считать истинными. Объемы, находимые прочими способами, и выявленные расхождения выражают в процентах от объемов, найденных ксилометрическим способом.

Сопоставления объемов, вычисленных по сложным формулам и найденных ксилометрическим путем, были произведены в бывш. Петровской сельскохозяйственной академии (ныне Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева). Результаты исследований приведены в табл. 5.

5. ОТКЛОНЕНИЯ В ОБЪЕМАХ, ВЫЧИСЛЕННЫХ ПО СЛОЖНОЙ ФОРМУЛЕ

Формула	Отклонение общих объемов, %			Формула	Отклонение общих объемов, %		
	17 стволов березы	15 стволов сосны	3 ствола дуба		17 стволов березы	15 стволов сосны	3 ствола дуба
Губера	—0,9	—1,2	+1,9	Симпсона	+0,3	—0,2	+0,8
Смалиана	+0,8	—0,3	+0,2	Госфельда	—0,3	—0,6	—0,6

Как видно из табл. 5, все четыре формулы дают близкие результаты. Формулы Симпсона и Смалиана дают отклонения с положительным знаком, две другие — с отрицательным. Преувеличение объемов, получаемых по формулам Симпсона и

6. СРЕДНИЕ ОШИБКИ И КВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ В ОБЪЕМАХ

Длина отрубков, мм	Число измеряемых диаметров	Средняя систематическая ошибка, %	Квадратическое отклонение, %	Длина отрубков, мм	Число измеряемых диаметров	Средняя систематическая ошибка, %	Квадратическое отклонение, %
2	2	—0,19	±1,78	1	2	—0,05	±0,96
2	4	—0,61	±1,43	1	4	—0,22	±0,49

Смалиана, следует отнести за счет преувеличенных площадей сечения, вычисляемых по формуле круга.

Объемы, вычисленные по формуле Госфельда и Губера, оказались преуменьшенными. Это преуменьшение не компенсируется преувеличенными площадями сечений, входящими множителями в эти формулы. Отсюда можно сделать вывод, что некоторое преуменьшение объемов является свойством этих двух формул.

Расхождения в результатах исчисления объемов по всем четырем формулам лежат в пределах 2 %. С практической точки зрения их следует признать несущественными и все четыре формулы равноценными.

Приведенные результаты проверки точности определения объемов по сложным формулам не показывают расхождений в объемах отдельных стволов, что является существенным недостатком.

По исследованиям Ф. Корсуня, проведенным в Чехословакии, ошибки сложной формулы Губера при 2-метровой длине отрезков колеблются в пределах от +4,13 до −4,53 %.

Если длину отрезков уменьшить до 1 м и в каждом сечении измерить диаметры в четырех направлениях, то предельные ошибки будут изменяться от +1,15 до −1,85 %.

Ф. Корсунь получил средние значения систематических ошибок и среднеквадратические отклонения (табл. 6).

При установлении ошибок формулы Губера объемы, найденные по сложной формуле Симпсона, Ф. Корсунь принял за истинные.

Из всех сложных формул для практического применения наиболее удобна формула срединного сечения, предложенная Губером. Высокая точность полученных результатов дала основание Ф. Корсуню рекомендовать ее при самых точных исследованиях.

Определение объемов целых стволов при помощи простых формул дает менее точные результаты. Простая формула Смалиана и формула Симпсона систематически преувеличивают объемы целых стволов. Причиной этого являются корневые наплывы, площадь сечения которых эти формулы учитывают.

Как показали исследования коллектива кафедры таксации Воронежского лесотехнического института, простая формула Смалиана при таксации дубовых стволов дает систематическое преувеличение в среднем на 65 %, а простая формула Симпсона — на 23 %.

Вычисление объемов целых стволов при помощи простых формул Губера и Госфельда дает ошибки в ту или другую сторону.

Варьирование объемов отдельных стволов характеризуется средним квадратическим отклонением от истинного объема, равным ±12 %.

Точность простой формулы срединного сечения при таксации отрезков ствола длиной 6,5 и 8,5 м изучалась автором. Было найдено, что у отрезков ствола указанной длины объемы, вычисленные по простой формуле Губера, имеют отклонение от истинных до +18 и до −27 %.

Простая формула срединных сечений объемы отрезков ствола систематически преуменьшает в среднем на 1 %. По исследованиям Ф. Корсуня, среднеквадратические ошибки простой формулы Губера изменяются от ±8,5 до ±12,7 %.

Все сложные формулы дают почти одинаковую точность. Наиболее широкое применение имеет простейшая из них — формула срединных сечений.

Проф. Патроне [43] многократно подчеркивает, что объем отрезков, вычисленный по формуле срединного сечения, имеет ошибку, зависящую от положения отрезка в стволе. Ссылаясь на Ф. Корсуня, он отмечает, что для отрезков, включающих комлевую часть, ошибка равна —3,9 %, следующие затем отрезки имеют ошибку от —0,8 до +4,9 %, а в вершинной части +0,4 %. По мнению проф. Патроне, формула срединного сечения дает удовлетворительные результаты для множества целых стволов.

В заключение анализа стереометрических формул проф. Патроне отмечает, что дендрометрия располагает рядом формул, определяющих объемы стволов и их частей. Однако каждая из них имеет ограниченное поле применения. Наиболее широко применяется формула срединного сечения. Она крайне проста, вычисления по ней производить легко, результаты получаются удовлетворительные. В обычных условиях, когда коэффициент абсолютной формы f_0 близок к 0,50, объем множества стволов определяется с ошибкой меньшей ±4 %, с тенденцией к отрицательному ее значению (—1—2 %).

В конечном выводе проф. Патроне указывает, что ошибка является отрицательной для комлевого отрезка, положительной для отрезков, выпиленных из середины ствола, и почти нулевой для вершинных сортиментов. Объемы отдельных стволов она определяет с ошибкой ±8 % и объем множества стволов с ошибкой ±2 %.

Проф. М. Продан считает более целесообразным объемы нижнего отрезка вычислять не по сложной формуле срединного сечения, а по измененной, выведенной из формулы параболоида.

Погрешности измерений

При измерении диаметров и высоты деревьев неизбежны ошибки, обусловливающие погрешности в определении объемов деревьев. Чтобы установить влияние погрешностей измерений на точность определения объемов деревьев, проделаем ряд расчетов:

Вопрос об ошибках измерения диаметров, порождаемых неправильным положением вилки (непараллельностью при измерении ножек вилки) изучал румынский проф. Попеску-Зелетин.

Он установил, что после длительного применения наблюдается нарушение перпендикулярности подвижной ножки к линейке мерной вилки. Вследствие этого измеряемые диаметры оказываются меньше действительных. Таким образом, получаются систематические ошибки. Все эти систематические ошибки имеют отрицательный знак.

Когда подвижная ножка отклонена от перпендикулярного положения на 3—6 %, погрешность в определении площади сечения и объема ствола оказывается в пределах от 5,2 до 10,5 %.

Поскольку рассматриваемые ошибки являются систематическими, имеющими всегда отрицательный знак, результаты измерений могут исправляться, если при этом нам известен угол.

Для устранения указанных ошибок мерные вилки в процессе их применения подлежат систематической проверке.

Объем цилиндра при диаметре основания D и высоте H равен

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H. \tag{56}$$

Если при измерении диаметра цилиндра сделана ошибка $\pm d$, то действительный объем цилиндра будет равен

$$V_n = \frac{\pi}{4} (D \pm d)^2 H = \frac{\pi}{4} D^2 H \pm 2 \frac{\pi}{4} DdH + \frac{\pi}{4} d^2 H.$$

Вычтя из этого объема объем цилиндра, определяемый по формуле (56), получим величину погрешности в объеме обусловленную ошибкой при измерении диаметра. Величина погрешности в объеме $\left(m'_V\right)$ будет такова:

$$m'_V = \frac{\pi}{4} D^2 H \pm 2 \frac{\pi}{4} DdH + \frac{\pi}{4} d^2 H - \frac{\pi}{4} D^2 H = \pm \frac{\pi}{2} DdH \frac{\pi}{4} d^2 H. \tag{57}$$

Второй член полученного выражения ($\pi/4\ d^2 H$), определяющего ошибку в объеме, вследствие незначительной величины может быть исключен и ошибка в объеме принята равной

$$m''_V = \pm \frac{\pi}{4} DdH. \tag{58}$$

Величину этой ошибки выражают в процентах от объема цилиндра, определяемого по формуле (56)

$$\frac{\pi}{2} DdH : \frac{\pi}{4} D^2 H = p'_V : 100;$$

$$p'_V = \frac{400\pi DdH}{2\pi D^2 H} = \frac{200d}{D}. \tag{59}$$

На основании выведенной формулы соответственно заданной точности определения объемов может быть установлена наибольшая допустимая погрешность в измерении диаметра. Например, при диаметре 25 см и погрешности в объеме 4 % ошибка в диаметре не должна превышать

$$p'_V = 4 = \frac{200d}{25}; \qquad d = \frac{4 \cdot 25}{200} = 0{,}5 \text{ см}.$$

Та же формула позволяет по заданной величине ошибки в диаметре найти погрешность в объеме. Если в измерении высоты H допущена ошибка $\pm h$, она обусловливает следующую погрешность в объеме:

$$m''_V = \frac{\pi}{4} D^2 H \pm \frac{\pi}{4} D^2 h - \frac{\pi}{4} D^2 H = \pm \frac{\pi}{4} D^2 h. \tag{60}$$

Эта погрешность в процентах составит

$$\pm \frac{\pi}{4} D^2 h : \frac{\pi}{4} D^2 H = p''_V : 100; \qquad p''_V = \frac{100h}{H}. \tag{61}$$

Пользуясь выведенной формулой, по заданной величине погрешности в объеме можно найти наибольшую допустимую ошибку в высоте. На основе этой формулы можно решить и обратную задачу, т. е. по наибольшей ошибке в высоте, установить погрешность в объеме.

Сравнивая две выведенные формулы, заключаем, что при одинаковой относительной точности измерения диаметра и высоты, когда $d : D = h : H$, процент погрешности в объеме будет вдвое больше при ошибке в диаметре, чем при ошибке в высоте.

Ошибка в диаметре, выраженная в процентах от величины действительного диаметра, равняется

$$p_d = \pm \frac{100d}{D}. \tag{62}$$

Сравнивая эту величину с процентом погрешности в объеме, обусловленным ошибкой в диаметре $p_V = 200d : D$, можно сделать вывод, что процент погрешности в объеме равняется двойному проценту ошибки в определении диаметра, т. е.

$$p_V = 2p_d. \tag{63}$$

Если в диаметре допущена ошибка d, то площадь круга или поперечного сечения цилиндра будет иметь следующую погрешность:

$$m_g = \frac{\pi}{4} D^2 \pm 2 \frac{\pi}{2} Dd + \frac{\pi}{4} d^2 - \frac{\pi}{4} D^2 = \pm \frac{\pi}{2} Dd \pm \frac{\pi}{4} d^2.$$

Второй член полученного выражения является весьма незначительной величиной, поэтому им можно пренебречь и погрешность в площади сечения принять равной

$$m_g = \pm \frac{\pi}{2} Dd. \tag{64}$$

Погрешность в процентах, вычисленных по отношению к площади сечения, составит

$$\pm \frac{\pi}{2} Dd : \frac{\pi}{4} D^2 = p_g : 100; \qquad p_g = \pm \frac{200d}{D}. \tag{65}$$

На основании выведенной формулы можно заключить, что ошибка в диаметре влечет за собой равные проценты погрешности по объему и по площади сечения. Следовательно,

$$p_V = p_g = 2p_d. \tag{66}$$

В теории ошибок доказывается, что относительная ошибка в процентах в объеме стереометрических тел равняется

$$p_V = p_g + 2p_d, \tag{67}$$

и при многих измерениях средняя величина этой ошибки определяется по формуле

$$p_V = \sqrt{4p_d^2 + p_h^2}. \tag{68}$$

При массовых измерениях бывают ошибки различной величины. У отдельных измерений могут оказаться ошибки разные по знаку. Нам необходимо определить их среднюю величину. Вывод ее затрудняется тем, что ошибки в сторону преувеличения будут компенсироваться ошибками в сторону преуменьшения, и в итоге средняя ошибка будет приближаться к нулю. Поэтому ошибки отдельных измерений можно возвести в квадрат, полученные числа сложить, затем разделить на число ошибок и из частного извлечь квадратный корень. В результате всех этих действий будет получена средняя величина ошибки, обычно называемая в вариационной статистике **среднеквадратической ошибкой**.

Величина среднеквадратических ошибок, допускаемых при отдельных измерениях, устанавливается по следующей формуле, известной из теории ошибок:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}, \tag{69}$$

где $\sum x^2$ — сумма квадратов отклонений отдельных измерений от их среднеарифметической величины; n — число наблюдений [1].

[1] Эта формула применяется, когда число наблюдений n не превышает 15. При большем числе наблюдений формула, определяющая среднеквадратическое отклонение, имеет следующий вид:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2}{n}}.$$

Среднеарифметическая величина, выводимая на оснований отдельных наблюдений, в свою очередь имеет среднюю ошибку, определяемую по формуле

$$m = \frac{\pm \sigma}{\sqrt{n}}. \tag{70}$$

Пользуясь этими двумя формулами, при многократных измерениях можно определить степень точности отдельных измерений и точность средней величины, вычисленной на основе этих измерений.

Согласно правилам вариационной статистики, при нормальном распределении изучаемых величин в 68 случаях из 100 ошибки не превышают среднеквадратической, в 27 случаях — удвоенной среднеквадратической и в 5 случаях — утроенной.

При обмере диаметров деревья делят на ступени толщины. В пределах каждой ступени толщины существуют более мелкие деления. В ступенях толщины, близких к среднему диаметру древостоя, число деревьев, входящих в эти мелкие деления, примерно равно. В ступенях толщины, имеющих диаметр больший и меньший среднего диаметра насаждения, количество деревьев в каждом мелком делении неодинаково. Для древостоя же в целом деревья внутри каждой ступени толщины на мелкие градации по толщине распределяются в среднем равномерно. Следовательно, при разделении деревьев на ступени толщины число деревьев, диаметры которых преуменьшаются, примерно равно числу деревьев, диаметры которых преувеличиваются.

В определении площадей поперечных сечений деревьев такого уравновешивания отклонений не наблюдается. Площадь поперечного сечения, как известно, равна квадрату диаметра D^2, умноженному на постоянный коэффициент $\pi/4$. У деревьев, имеющих диаметры бóльшие, чем половина ступени, отклонение в площадях поперечных сечений не будет компенсироваться преувеличением площадей поперечного сечения деревьев, имеющих диаметры меньшие половины ступени толщины.

Отсюда можно заключить, что учет деревьев по ступеням толщины ведет к некоторому систематическому преувеличению сумм площадей сечений.

Максимальная ошибка в определении диаметра при делении деревьев по ступеням толщины равна половине ступени. Если считать, что деревья в пределах ступени толщины распределяются равномерно, средняя ошибка в определении диаметра будет равна половине максимальной.

Допустим, что диаметры деревьев мы учитывали в четных сантиметрах. Следовательно, максимальная ошибка в определении диаметра будет равна 1 см, а средняя — 0,5 см. При учете диаметров с интервалом 4 см максимальная ошибка равняется 2 см и средняя — 1 см. При диаметре древесных стволов 20 см средние ошибки 0,5 и 1 см соответственно составляют 2,5 и 5 %. Такие ошибки влекут за собой удвоенную ошибку измерений объема, т. е. в первом случае 5 %, а во втором 10 %.

Средняя величина ошибок в измерении группы деревьев определяется по формуле (70). В нашем примере они соответственно составят

$$m = \frac{\pm 5}{\sqrt{n}} \quad \text{и} \quad m = \frac{\pm 10}{\sqrt{n}}.$$

Определение объемов, как мы видим, неизбежно связано с ошибками, поэтому при вычислении объемов необходимо цифры округлять до определенного числа десятичных знаков. При таксации отдельных деревьев объем их вычисляют обычно до 0,0001 $м^3$. При массовом учете такая точность не нужна, и объем в таблицах округляют до 0,001 или даже до 0,01 $м^3$ (в таблицах объемов бревен). Количество древесины на единице площади (1 га) обычно округляют до целых кубических метров, а при глазомерной таксации — до десятков кубометров. Цифры, характеризующие запасы лесных массивов, округляют до сотен и даже тысяч кубометров.

Следует отметить общие свойства ошибок, известные из теории ошибок: малые ошибки встречаются чаще, чем большие; возможность ошибок с положительным и отрицательным знаком одинаково вероятна; с увеличением числа наблюдений сумма ошибок приближается к нулю.

Ошибки делятся на систематические и случайные. Систематическими называют ошибки с одним знаком, случайными — с обоими знаками, т. е. положительным и отрицательным.

Для характеристики величины ошибок чаще всего среднеквадратическую ошибку определяют по приводившейся выше формуле (69):

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma x^2}{n-1}}.$$

Среднеквадратическая ошибка суммы определяется из следующего выражения:

$$\sigma_s = \pm \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \ldots + \sigma_n^2}, \tag{71}$$

где σ_1, σ_2, σ_3, …, σ_n — среднеквадратические ошибки отдельных слагаемых.

Среднеквадратическую ошибку разности находят по формуле

$$\sigma_r = \pm \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \tag{72}$$

где σ_1 — среднеквадратическая ошибка уменьшаемого; σ_2 — среднеквадратическая ошибка вычитаемого.

Предположим, что при измерении диаметров допущена абсолютная ошибка m_d. Она повлечет за собой ошибку m_g в площади сечения, определяемую по формуле (64).

Сумма площадей сечений множества деревьев будет иметь следующую абсолютную ошибку:

$$m_g = \pm \sqrt{\frac{\pi^2 d_1^2 \left(md_d'\right)^2}{4} + \frac{\pi^2 d_2^2 \left(m_d''\right)^2}{4} + \ldots + \frac{\pi^2 d_n^2 \left(m_d^n\right)^2}{4}}, \quad (73)$$

или

$$m_g = \pm \sqrt{\frac{\pi^2}{4}\left[d_1^2\left(m_d'\right)^2 + d_2^2\left(m_d^a\right)^2 + \ldots + d_n^2\left(m^n d\right)^2\right]}. \quad (74)$$

Предположим, что при измерении толщины всех деревьев допущена одинаковая ошибка, равная m_d. Тогда ошибка в сумме площадей сечения всех деревьев будет следующей:

$$m_g = m_d \sqrt{\pi\left(\frac{\pi}{4}\Sigma\, d^2\right)} = m_d \sqrt{\pi\,\Sigma\, g}\,. \quad (75)$$

Ошибка в площади сечения, выраженная в процентах, окажется такой:

$$p_g = \frac{m_g \cdot 100}{\Sigma\, g} = \frac{100 m_d \sqrt{\pi\,\Sigma\, g}}{\Sigma\, g}\,. \quad (76)$$

Сумму площадей сечений Σ_g заменим произведением площади сечения среднего дерева g на общее число деревьев N, составляющих данное множество. Тогда будем иметь

$$\Sigma\, g = gN = \frac{\pi}{4} D^2 N. \quad (77)$$

Подставив $(\pi/4) D^2 N$ вместо Σg в ранее приведенное выражение, в конечном итоге получаем следующую упрощенную формулу:

$$p_g = 100 m_d \sqrt{\frac{\pi d N}{gN}} = \frac{100 m_d \sqrt{\frac{\pi^2 D^2 N}{4}}}{\frac{\pi D^2 N}{4}} =$$

$$= \frac{4 \cdot 100 m_d \sqrt{\pi^2 D^2 N}}{2\pi D^2 N} = \frac{200 m_d \pi D \sqrt{N}}{\pi D^2 N} =$$

$$= \frac{200 m_d \sqrt{N}}{DN} = \frac{2 p_d \sqrt{N}}{N} = \frac{2 p_d}{\sqrt{N}}\,. \quad (78)$$

Согласно полученной формуле для приближенного вычисления ошибки надо удвоенную ошибку в измерении среднего дерева разделить на квадратный корень из общего количества обмеренных деревьев.

Этот теоретический расчет величины средних ошибок подтверждается опытными данными, полученными А. С. Матвеевым-Мотиным. Им было заложено восемь пробных площадей и для каждой из них вычислены суммы площадей сечений при округлении диаметров до 1, 2, 4 и 5 см. Несмотря на разную дробность округления, или разную величину ошибок, допускаемых в измерении диаметров отдельных деревьев, суммы площадей сечений оказались близки между собой. На всех восьми пробных площадях отклонение в суммах площадей сечений не превышало $+0,8\%$.

Аналогичные данные получаются и при вычислении ошибок по формуле (78).

Таким образом, можно заключить, что при учете отдельных деревьев необходимо измерять диаметры как можно точнее, в противном случае при вычислении объема деревьев получатся существенные ошибки. При массовом же учете леса в измерении диаметров отдельных деревьев допустимы значительные округления, которые существенного влияния на суммарный результат не окажут, так как разные знаки взаимно уничтожаются.

М. Продан в книге «Messung der Waldbestände» («Измерение насаждений») подробно останавливается на установлении ошибок при определении диаметров и площадей сечений. Он указывает, что эти ошибки состоят из ошибок перечета; так называемых ошибок наблюдения; ошибок из-за неправильной формы поперечного сечения; ошибок, порождаемых неравномерным распределением деревьев в пределах ступеней толщины, и ошибок округления.

Ошибки перечета связаны с дефектами мерной вилки. Они могут быть самой различной величины. Ошибки наблюдения возникают от неправильного положения вилки при перечете и субъективных ошибок (обмера одного дерева 2 раза или его пропуска). При тщательном перечете, по мнению Продана, ошибки наблюдения достигают 0,3 % от площади сечения. Ошибки из-за неправильной формы ствола составляют $\pm 0,5\%$ от площади сечения. Ошибки, порождаемые неравномерным распределением деревьев в пределах ступеней толщины, зависят от характера распределения деревьев в данной ступени и составляют в более мелких ступенях толщины $\pm 0,1—0,3\%$, в более крупных $\pm 0,03—0,8\%$ от площади сечения деревьев, входящих в эту ступень. Ошибки округления колеблются от $-1,5\%$ до $+1\%$.

Данные М. Продана совпадают с результатами исследований, проводившихся в нашей стране.