

УДК 531.731.2

А.Е. Алексеев, С.В. Бутаков

Архангельский государственный технический университет

Алексеев Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры технологии конструкционных материалов и машиностроения Архангельского государственного технического университета. Имеет более 200 научных трудов в области лесопиления.

Тел.: (8182) 21-61-63



Бутаков Сергей Владимирович родился в 1983 г., окончил в 2005 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электротехники и энергетических систем АГТУ. Имеет более 10 печатных работ в области технологии деревообработки.

E-mail: ser-butakov@yandex.ru



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Предложена методика измерения объемов древесных материалов на основе использования высокотехнологичного газодинамического способа.

Ключевые слова: объем бревен, газодинамический способ, методика измерения, экспериментальная установка.

В последние годы активно разрабатывают нетрадиционные и высокотехнологичные (с использованием информационных технологий) методы и способы измерений объемов древесных материалов, к которым относятся и газодинамические. Газодинамические способы измерений объема можно разделить на две большие группы: пневмометрические и акустические [3]. Первые предполагают единичное возмущение газовой среды или периодическое с низкой частотой, вторые – периодическое со звуковой и сверхзвуковой частотами.

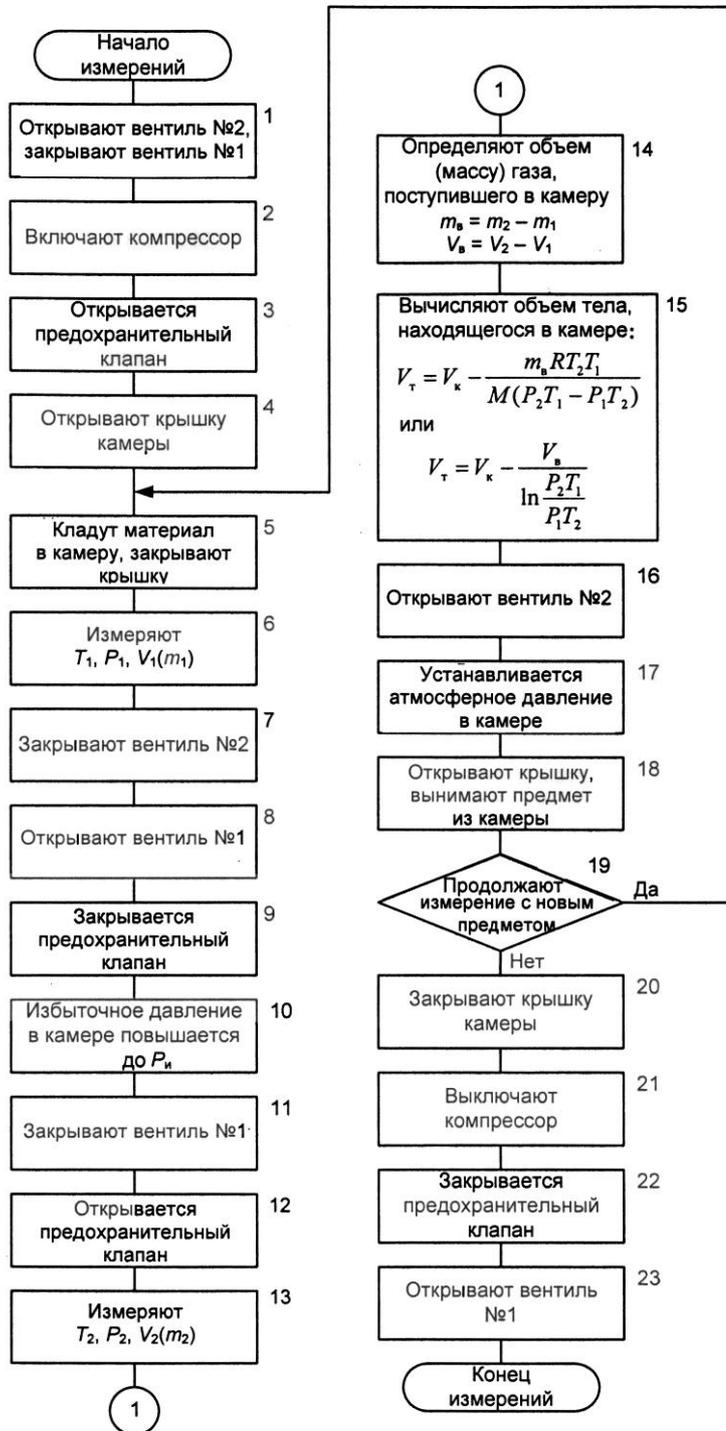


Рис. 1. Алгоритм процесса определения объема

Газодинамические способы позволяют измерять физический объем древесных материалов произвольной формы. При работе с совокупностью материалов отпадает необходимость определять коэффициент полндревесности.

В целях обоснования параметров процесса измерения объемов древесных материалов газодинамическим способом используют одну измерительную емкость, в которой создают избыточное давление воздуха. Это сокращает продолжительность процесса без снижения точности. Для определения количества поступающего в емкость воздуха используют объемный (или массовый) счетчик.

Древесные материалы помещают в герметичную камеру объемом V_k , измеряют начальные температуру T_1 и давление P_1 воздуха в ней. Затем через объемный (или массовый) счетчик подают в камеру определенное количество атмосферного воздуха, очищенного от пыли и влаги, и измеряют конечные температуру T_2 и давление P_2 воздуха. Объем тела определяют расчетным путем, используя алгоритм, представленный на рис. 1. Теоретически показано [1], что оптимальный режим измерения по показателям точности и чувствительности наблюдается при приближении объема измеряемого материала к объему камеры.

Функцию точности определения объемов древесных материалов газодинамическим способом представим в виде погрешности определения объема, которая включает в себя систематические и случайные составляющие. При использовании объемного счетчика газа и наличии только случайных составляющих погрешностей, а также пренебрегая корреляционной связью параметров и отличием закона распределения погрешности от нормального, получаем следующую формулу функции точности для определения объема тела:

$$\Delta V_T = \sqrt{\Delta V_k^2 + \frac{1}{\left(\ln \frac{P_0 T_1 + P T_1}{P_0 T_2}\right)^2} \Delta V_b^2 + \frac{V_b^2}{\left(\ln \frac{P_0 T_1 + P T_1}{P_0 T_2}\right)^4} \left(\left(\frac{\Delta P_0 P}{P_0 (P + P_0)} \right)^2 + \left(\frac{\Delta T_1}{T_1} \right)^2 + \left(\frac{\Delta P}{P + P_0} \right)^2 + \left(\frac{\Delta T_2}{T_2} \right)^2 \right)}$$

где

V_T – погрешность;

P_0 – атмосферное давление;

P – избыточное давление воздуха в камере;

$\Delta V_k, \Delta V_b, \Delta T_1, \Delta T_2, \Delta P, \Delta P_0$ – случайные составляющие погрешности.

Погрешность определения объема тела ΔV_T не зависит от объема камеры V_k , но зависит от погрешности его измерения ΔV_k . При увеличении T_1 и P погрешность ΔV_T уменьшается при неизменном уровне остальных факторов.

Расчеты показывают, что при $\Delta T_1 = \Delta T_2 = 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta P_0 = \Delta P = 10 \text{ Па}$; $\Delta V_k = 10^{-4} \text{ м}^3$; $\Delta V_b = 0,68 \text{ дм}^3$ относительная погрешность определения объема тела $\delta V_T = 0,4 \text{ \%}$. При увеличении ΔV_b возрастает ΔV_T по параболической зависимости при фиксированных значениях остальных факторов (рис. 2).

Применение газодинамического способа для определения объемов круглых лесоматериалов требует исключить из результатов измерения объемы коры и припуски по длине, т.е. перевести измеренный физический объем круглых лесоматериалов в плотный. Анализ показал, что введение переводных коэффициентов возможно, если предположить, что бревно имеет правильную форму.

Предположим, что известна длина бревна L без припуска и диаметр d_b (или радиус r_b) его верхнего торца без коры (рис. 3). Припуск Δ по длине зависит от длины бревна: $\Delta = \Delta(L)$. Допустим, что бревно представляет собой тело вращения, т.е. возможные криволинейность оси и эллиптичность поперечного сечения не учитываются.

Примем

$$y_1 = f_1(x, r_b, L, c),$$

где c – коэффициент, характеризующий форму образующей.

Учитывая, что толщина коры h_k зависит от диаметра (или от радиуса) бревна с корой, получим

$$h_k = h_k(y_1) = h_k(f_1(x, r_b, L, c)) = h_k(x, r_b, L, c).$$

Газодинамический способ позволяет найти коэффициент c по результатам измерения физического объема бревна:

$$V_\phi = \pi \int_0^{L+\Delta(L)} (f_1(x, r_b, L, c))^2 dx = F(L, r_b, c) = Q. \quad (1)$$

Решим уравнение (1) относительно c :

$$c = c(L, r_b, Q).$$

В результате для образующей бревна с корой и толщины коры получим следующие выражения:

$$y_1 = f_1(x, r_b, L, Q); \quad h_k = h_k(x, r_b, L, Q).$$

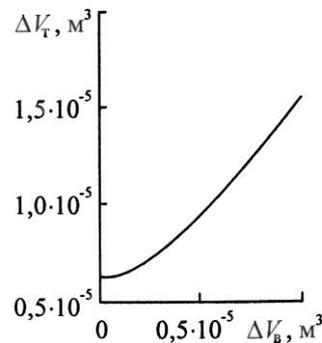
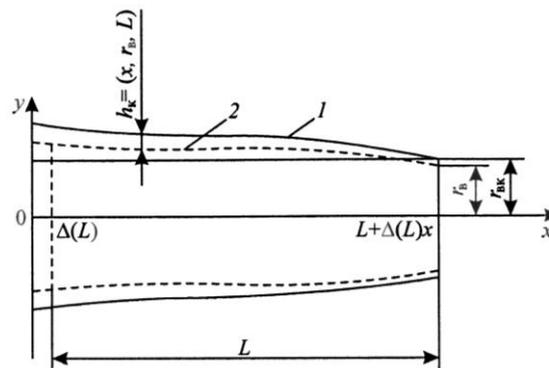


Рис. 2. Зависимость ΔV_T от ΔV_B

Рис. 3. Определение объема бревна без коры и припусков по длине: 1 – $y_1 = f_1(x, r_b, L)$; 2 – $y_2 = f_2(x, r_b, L)$



Плотный объем бревна без коры и припуска по длине

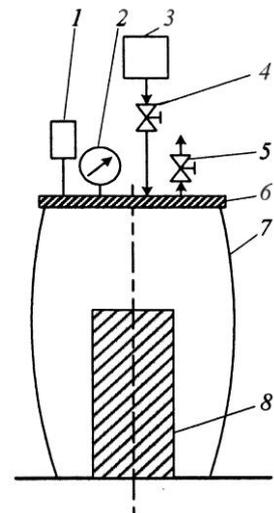
$$V_{\text{п}} = \pi \int_{\Delta(L)}^{L+\Delta(L)} (f_1(x, r_{\text{в}}, L, Q) - (x, r_{\text{в}}, L, Q))^2 dx = V_{\text{п}}(r_{\text{в}}, L, Q).$$

В процессе исследований предусматривалось проведение разведывательного эксперимента в целях определения отклонения объема древесных материалов, измеренного газодинамическим способом, от полученного геометрическим способом объема, и основных экспериментов для создания математических моделей в виде уравнений регрессии для определения объема древесного материала в зависимости от диапазона измеряемого объема.

Предложенный способ определения объемов древесных материалов реализован в экспериментальной измерительной установке (рис. 4). Измеряемое тело помещают в камеру, соединенную с воздушным компрессором КВ-10 и измерительными приборами (цифровой термометр-гигрометр и манометр). При проведении разведывательного эксперимента использовали встроенный дифференциальный микроманометр ЛТА-4 с диапазоном измерения 0...2400 Па, в основных экспериментах – деформационный манометр с диапазоном измерения 0...1,6 кгс/см² и погрешностью измерения 1,6 %*. Производительность компрессора на холостом ходу – 12,36 л/мин, объем камеры – 122,43 дм³.

На основании предварительных результатов, показывающих влияние пористости структуры древесины на измеряемый объем, введен теоретический коэффициент K_0 . Он характеризует пористость образцов древесины с учетом влажности, градиента давления при избыточном давлении воздуха в камере и рассчитывается на основе справочных данных [2, 4]:

Рис. 4. Экспериментальная установка:
1 – цифровой термометр-гигрометр, 2 – манометр, 3 – воздушный компрессор КВ-10, 4 – первый вентиль, 5 – второй вентиль, 6 – крышка камеры, 7 – камера, 8 – измеряемое тело



* Применение разных манометров обусловлено тем, что основные эксперименты проводили при более высоком давлении, так как при этом уменьшается погрешность определения объема и появляется возможность выявить влияние избыточного давления на результаты измерения.

$$V_{\tau} = K_0(V_{\kappa} - V_{\text{п.г}}), \quad (2)$$

где $V_{\text{п.г}}$ – объем пустого пространства в камере, определяемый газодинамическим способом (см. рис. 1).

В *разведывательном эксперименте* варьировали измеряемый объем путем изменения количества образцов и избыточное давление в камере. В качестве образцов использовали отрезки сосновых досок толщиной 50 мм, шириной 250 мм и объемом 7 дм³. В качестве выходной величины выбирали относительную разницу δV между объемом тела, измеренным геометрическим способом по габаритным размерам, и объемом тела, полученным газодинамическим способом. Опыт начинали с измерения величин, необходимых для определения коэффициента K_0 , затем в камеру помещали образцы, закрывали вентиль 4, одновременно включая компрессор 3 и секундомер. При достижении в камере запланированного для данного опыта избыточного давления воздуха одновременно выключали компрессор и секундомер и фиксировали время τ . Воздух из камеры сбрасывали в атмосферу, открыв вентиль 4. Объем образцов, определяемый газодинамическим способом, находили по формуле (2). Для этого рассчитывали объем пустого пространства по формуле

$$V_{\text{п.г}} = \frac{Q_{\kappa} \tau P_0}{P},$$

где Q_{κ} – производительность компрессора.

В *основных экспериментах* использовали три диапазона измеряемого объема, дм³: 7...21, 21...35, 35...49. Варьировали избыточное давление в камере, а также приведенный объем пустого пространства в камере $V_{\text{п.п}}$ за счет изменения измеряемого объема образцов:

$$V_{\text{п.п}} = V_{\kappa} - \frac{V_{\tau}}{K_0}.$$

Выходной величиной являлся объем пустого пространства в камере $V_{\text{п.г}}$, определяемый газодинамическим способом. Опыты проводили по экспериментальному В-плану второго порядка, при этом число опытов составляло 10 без учета дублирования. Регрессионная модель второго порядка в натуральных обозначениях факторов имеет следующий вид:

$$V_{\text{п.г}} = B_0 + B_1 V_{\text{п.п}} + B_2 P + B_{11} V_{\text{п.п}}^2 + B_{22} P^2 + B_{12} V_{\text{п.п}} P.$$

Натуральные обозначения факторов: $X_1 = V_{\text{п.п}}$, $X_2 = P$; нормализованные: x_1, x_2 .

Каждый опыт в основных экспериментах проводили в два этапа. Воздух подавали сначала в пустую камеру до достижения определенного давления и фиксировали время τ_{κ} подачи, затем в камеру с образцами до того же давления и измеряли время τ подачи. Если оба этапа осуществлять в одинаковых условиях, при одинаковом избыточном давлении в камере и использовании одинакового компрессора, то

$$V_{\text{п.г}} = V_{\kappa} \frac{\tau}{\tau_{\kappa}}.$$

Как показал разведывательный эксперимент, существует небольшое различие между объемами образцов, измеренными геометрическим и газодинамическим способами. Это является следствием влияния следующих факторов: характеристик воздуха, отклонения от квазистатического процесса подачи воздуха в камеру, изменчивости характеристик древесины данной породы, нелинейного характера распределения давления в древесине, изменчивости минимального давления в порах древесины.

Коэффициент корреляции между объемами образцов, измеренными геометрическим и газодинамическим способами, составил 0,998. Число дублированных опытов для основных экспериментов $n = 15$. При увеличении измеряемого объема рассеивание разницы между объемами δV увеличивается относительно математического ожидания (рис. 5).

Эксперименты показали, что математическая модель при увеличении измеряемого объема может быть упрощена. Это подтверждают теоретические выводы. Установлена линейная взаимосвязь создаваемого в камере избыточного давления P и объема пустого пространства в камере $V_{п.г}$, измеряемого газодинамическим способом, что обусловлено пористой структурой древесины. Предложена адекватная математическая модель для определения объема с коэффициентами k_{1-4} , полученными экспериментально, и с теоретическим коэффициентом K_0 :

$$V_T = K_0 \left(V_k - \frac{V_{п.г} + k_1 P + k_2}{k_3 P + k_4} \right),$$

где k_1, k_2, k_3, k_4 – коэффициенты, зависящие от временных условий процесса измерения; размеров, породы и влажности древесных материалов; размеров измерительной камеры; создаваемого в камере давления; атмосферных условий при проведении измерений.

Для диапазона измеряемого объема 35...49 дм³ при изменении избыточного давления от 16120 до 25790 Па в случае сосновых образцов объемом 7 дм³ со средней влажностью древесины 15,1 % ($K_0 = 1,472$) и объема измерительной камеры 122,43 дм³ экспериментально получены следующие значения коэффициентов: $k_1 = -0,001413$; $k_2 = 30,8553$; $k_3 = -1,5048351 \cdot 10^{-5}$; $k_4 = 1,3724$.

Для этого случая на рис. 6, а представлены графики зависимости $V_T = f(V_{п.г})$ при трех значениях избыточного давления в камере $P_{и}$, Па: 16 120, 20 990, 25 790. Зависимость $V_T = f(V_{п.г})$ – линейная. При увеличении $P_{и}$ и неизменном объеме измеряемого материала V_T имеем: $V_{п.г}$ уменьшается при $V_T = 35...42$ дм³, $V_{п.г}$ увеличивается при $V_T = 42...49$ дм³. Такие колебания

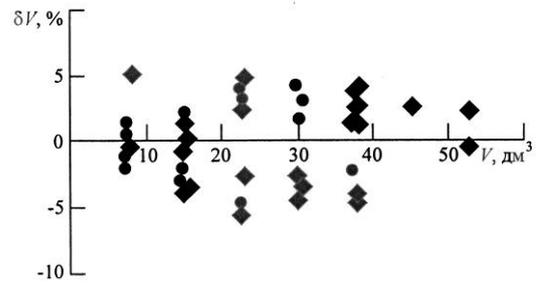


Рис. 5. Распределение относительной разницы между объемами

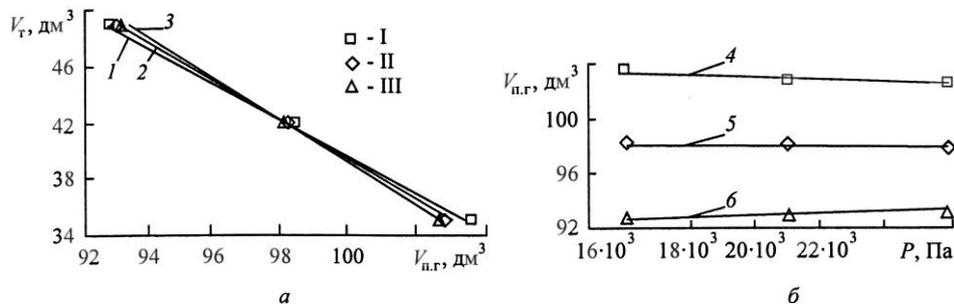


Рис. 6. Графические зависимости для функций $V_T = f(V_{п.г})$ – а и $V_{п.г} = f(P)$ – б:
 1 – $P = P_3 = 16\ 120$ Па; 2 – 20 990 Па; 3 – 25 790 Па; 4 – $V_T = V_{T_3} = 35$ дм³; 5 – 42 дм³;
 6 – 49 дм³ (I–III – экспериментальные данные)

можно объяснить нелинейным характером распределения давления в древесине при избыточном давлении воздуха в камере. Причем скорость уменьшения $V_{п.г}$ с увеличением P снижается. Это свидетельствует об уменьшении влияния V_T на $V_{п.г}$ с ростом P .

На рис. 6, б представлены графики зависимости $V_{п.г} = f(P)$ при трех значениях V_T , дм³: 35, 42 и 49. Зависимость $V_{п.г} = f(P)$ – линейная.

Таким образом, в ходе эксперимента показана возможность использования газодинамического способа для определения объемов древесных материалов; разработана методика и экспериментальная установка; проведены измерения образцов пиломатериалов. Установленные параметры процесса измерений и требования к режимам могут быть использованы при апробировании метода в производственных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, А.Е. Применение газодинамического способа определения объемов лесоматериалов на предприятиях ЛПК [Текст] / А.Е. Алексеев, С.В. Бутаков // Деревообраб. пром-сть. – 2008. – № 2. – С. 7–9.
2. Боровиков, А.М. Справочник по древесине [Текст]: справочник / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев; под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.
3. Можегов, Н.А. Автоматические средства измерений объема, уровня и пористости материалов [Текст] / Н.А. Можегов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 120 с.
4. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения [Текст]: учеб. для лесотехн. вузов / Б.Н. Уголев. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.

Поступила 22.11.07

A.E. Alekseev, S.V. Butakov
 Arkhangelsk State Technical University

Experimental Assessment of Determining Wood Materials Volumes by Gas-dynamic Method

The technique for measuring volumes of wood materials is offered based on using the high-technology gas-dynamic method.

Keywords: log volume, measuring technique, gas-dynamic method, experimental device.