

СОРТИМЕНТАЦИЯ ОСИННИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Simulation model, enabling to determine a volume of large, medium and small timber, firewood and waste products from aspen trunks on the basis of a diameter at breast height and height of a tree is described in this paper.

Сортиментный учет леса на корню является одной из важнейших задач, решаемых лесной таксацией. В практике отечественного лесного дела для этого применяют сортиментные таблицы. За рубежом в настоящее время для решения аналогичных задач, как правило, используются математические модели образующей древесного ствола [10,11]. Возможность широкого использования вычислительной техники делает такой подход к проблеме учета леса на корню весьма гибким и удобным. В нашей республике также проводились аналогичные исследования. В частности, Воинов Н.Т. описывал образующую древесных стволов осины полиномом 5-й степени [1,2]. Однако он его не использовал при разработке уравнений для сортиментного учета леса [2,3]. В результате им была получена математическая модель, которая может выполнять функции сортиментных таблиц. Никаких дополнительных возможностей она не предоставляет. Аналогичные модели были разработаны для березы и ольхи черной [5,6].

Кроме того, для березы была построена имитационная модель, позволяющая вычислить объем крупной, средней и мелкой деловой древесины [7]. Так как в ее основе лежит образующая древесного ствола, она позволяет определить выход древесины любых размеров. Однако с помощью этой модели невозможно определить объем дров и отходов. Этого недостатка лишена аналогичная модель, построенная для дубовых древостоев [8].

В данной работе предлагается имитационная модель для сортиментного учета осиновых лесов на корню.

При построении модели предполагалось, что существует функция, описывающая образующую древесного ствола:

$$d(x), \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (1)$$

такая, что для дерева средней формы можно определить диаметр на любой высоте по формуле

$$D(h) = c \cdot d(h / H), \quad (2)$$

где $D(h)$ - диаметр ствола в коре на высоте h , см; c - коэффициент, постоянный для каждого конкретного ствола; h - высота измерения диаметра, м; H - высота дерева, м.

Зная высоту ствола и его диаметр в коре на высоте груди, можно определить коэффициент c по формуле

$$c = D(1,3) / d(1,3 / H). \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим

$$D(h) = D(1,3) \cdot \frac{d(h / H)}{d(1,3 / H)}. \quad (4)$$

Если предположить, что функция (1) в равной степени может использоваться как для ствола в коре, так и для ствола без коры, или, другими словами, что отношение диаметров без коры к соответствующим диаметрам в коре для древесной породы постоянно, то можно записать:

$$D_{\text{БК}}(h) = K \cdot D(h), \quad (5)$$

где $D_{\text{БК}}(h)$ - диаметр ствола без коры на высоте h , см; K - коэффициент перехода от диаметров в коре к соответствующим диаметрам без коры.

В качестве $d(x)$ было решено использовать степенную функцию:

$$d(x) = (1 - x)^a \quad (6)$$

Она довольно проста и вместе с тем достаточно точно описывает форму ствола [4].

В случае использования уравнения (6) выражение (4) будет выглядеть следующим образом:

$$D(h) = D(1,3) \cdot \left(\frac{H - h}{H - 1,3} \right)^a. \quad (7)$$

Так как на практике важно определить объем сортиментов, получаемых из ствола, целесообразно от диаметров перейти к площадям сечений. Учитывая (5) и (7), получим:

$$G(h) \equiv G(1,3) \cdot \left(\frac{H - h}{H - 1,3} \right)^{2a}, \quad (8)$$

$$G_{\text{БК}}(h) = K^2 \cdot G(h), \quad (9)$$

где $G(h)$ - площадь сечения ствола на высоте h в коре, м^2 ; $G_{\text{БК}}(h)$ - площадь сечения ствола на высоте h без коры, м^2 .

Используя (8) и (9), легко определить объем любого сортимента:

$$V(h_{\text{Н}}, h_{\text{В}}) = \int_{h_{\text{Н}}}^{h_{\text{В}}} G(x) dx = \frac{G(1,3) \cdot [(H - h_{\text{Н}})^{2a+1} - (H - h_{\text{В}})^{2a+1}]}{(H - 1,3)^{2a} \cdot (2 \cdot a + 1)}, \quad (10)$$

$$V_{\text{БК}}(h_{\text{Н}}, h_{\text{В}}) = \int_{h_{\text{Н}}}^{h_{\text{В}}} G_{\text{БК}}(x) dx = K^2 V(h_{\text{Н}}, h_{\text{В}}). \quad (11)$$

При определении выхода древесины различных категорий необходимо также знать, на какой высоте расположен тот или иной диаметр. Воспользовавшись уравнениями (5) и (7), можно выразить h через диаметр в коре (D) или без коры ($D_{\text{БК}}$):

$$h = H - (H - 1,3) \cdot \left(\frac{D}{D(1,3)} \right)^{1/a}, \quad (12)$$

$$h = H - (H - 1,3) \cdot \left(\frac{D}{K \cdot D(1,3)} \right)^{1/a}. \quad (13)$$

Объемы древесины различных категорий вычислялись следующим образом. Сначала определялось положение на стволе диаметров 25,0 см ($h'_{\text{КС}}$), 12,5 см ($h'_{\text{СМ}}$) и 2,5 см ($h'_{\text{МД}}$) без коры по уравнению (13), а также 2,5 см в коре ($h'_{\text{ДО}}$) по уравнению (12). Они отделяют друг от друга крупную, среднюю и мелкую деловую древесину, дрова и отходы соответственно. Однако фактическая граница между древесиной различных категорий будет расположена ниже по стволу. Это вызвано тем, что при раскряжевке эти диаметры редко будут попадать на границы между сортами. В большинстве случаев они будут делить их на части. Это приведет к тому, что нижняя часть такого сорта будет отнесена к более мелкой категории древесины, так как классифицируются они по диаметру в верхнем отрубе. Расстояние, на которое фактическая граница между категориями древесины окажется ниже диаметра, разграничивающего данные категории, будет зависеть в основном от средней длины сортов, получаемых при раскряжевке. Перечень заготавливаемых сортов для конкретной породы, как правило, стабилен. В связи с этим в настоящей модели считается, что эта величина (O) постоянна для породы. Она используется в качестве параметра модели для определения фактических границ между категориями древесины:

$$\begin{aligned} h_{\text{КС}} &= h'_{\text{КС}} - O, & h_{\text{СМ}} &= h'_{\text{СМ}} - O, \\ h_{\text{МД}} &= h'_{\text{МД}} - O, & h_{\text{ДО}} &= h'_{\text{ДО}} - O. \end{aligned}$$

Если высота расположения какой-либо границы между категориями древесины принимала отрицательное значение, это означало, что из данного ствола древесина соответствующей категории крупности не может быть получена. В таких случаях высота расположения данной границы приравнивалась к нулю.

Кроме того, считалось, что деловая древесина может заготавливаться только из нижней части ствола, а верхняя часть в связи с наличием различных пороков пригодна только для заготовки дров. Процент деловой части ствола (по длине) также использовался в качестве параметра модели (P). В том случае, если высоты $h_{кс}$, $h_{см}$ или $h_{мд}$ оказывались больше, чем абсолютное значение длины деловой части ствола, соответствующие границы опускались до значения $P \cdot H$.

Далее с помощью уравнений (10) и (11) определялись объемы ствола, крупной, средней и мелкой деловой древесины, дров и отходов:

$$\begin{aligned} V_{ст} &= V(0, H), & V_{ме} &= V_{бк}(h_{см}, h_{мд}), \\ V_{кр} &= V_{бк}(0, h_{кс}), & V_{др} &= V(h_{мд}, h_{до}), \\ V_{ср} &= V_{бк}(h_{кс}, h_{см}), & V_{от} &= V_{ст} - V_{кр} - V_{ср} - V_{ме} - V_{др}. \end{aligned}$$

Оценка параметров модели a , K , O и P выполнялась нелинейным методом наименьших квадратов по материалам сортиментных таблиц Ф.П.Моисеенко для осиновых древостоев [9]. В расчетах использовались только объемы ствола, крупной, средней и мелкой деловой древесины, а также дров, так как объем отходов полностью определяется этими пятью величинами. В результате расчетов были получены следующие значения параметров: $a=1.248$; $K=0.9079$; $P=0.5241$; $O=0.2881$. Кроме того, были вычислены статистики: $R^2=0.9996$; $F=175635$; $S=0.01954 \text{ м}^3$. Значение приведенных показателей говорит о хорошей согласованности имитационной модели с сортиментными таблицами.

Предлагаемую модель можно использовать для сортиментного учета леса на корню.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воинов Н.Т. Изучение образующей древесного ствола с помощью ЭЦВМ // Новое в лесоводстве. - Мн.: Ураджай, 1969. - Вып. 19. - С. 117-123.
2. Воинов Н.Т. Составление объемных и сортиментных таблиц на основе математического моделирования с применением ЭЦВМ. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. - Мн., 1971.
3. Воинов Н.Т. Математические модели объемных и сортиментных таблиц осины // Лесохозяйственная наука и практика. - 1972. - Вып. 22. - С. 27-30.
4. Кофман Г.Б. Рост и форма деревьев. - Новосибирск: Наука, 1986.
5. Машковский В.П. Регрессионные модели сортиментных таблиц Моисеенко Ф.П. по березе // Рациональное использование и воспроизводство лесных ресурсов. Научные труды. Московский государственный университет леса. - М., 1992. - С. 162-165.

6. Машковский В.П. Аппроксимация сортиментных таблиц Моисеенко Ф.П. по ольхе черной // Современные аспекты лесной таксации. Сборник научных трудов Института леса Академии наук Беларуси. Вып. 38.- Гомель, 1994. Ч. 1. - С. 89-90.
7. Машковский В.П. Моделирование выхода деловой древесины по категориям крупности из стволов березы // Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов. Научные труды. Московский государственный университет леса. - М., 1994. - С. 28-32.
8. Машковский В.П. Математическая модель сортиментных таблиц //Международная научно-практическая конференция "Лес-95". Тезисы докладов. - Мн., 1995. - С. 19.
9. Моисеенко Ф.П. Таблицы для сортиментного учета леса на корню. - Мн.: Государственное издательство БССР, 1961.
10. Laasasenaho J. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Commun. Inst. For. Fenn. 108. - Helsinki, 1982.
11. Lappi J. Mixed linear models for analysing and predicting stem form variation of scots pine. Commun. Inst. For. Fenn. 134. - Helsinki, 1986.

УДК 630*254.11

С.С.Цай, аспирант

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗУЮЩЕЙ И ОБЪЕМОВ ДРЕВЕСНЫХ СТВОЛОВ ЕЛИ

The base approaches of taper curve and volume modelling for spruce are considered here. The results of mathematics model testing with control material are presented.

Исходным материалом для построения модели образующей и объемов древесных стволов послужили таблицы объема и сбега стволов ели проф. Захарова В.К.

Для аппроксимации образующей древесного ствола была изучена средняя относительная форма стволов ели (в коре, без коры) по разрядам высот, где диаметры на относительных высотах выражались в процентах от диаметра на 0.1 высоты дерева.

Средняя статистическая кривая для каждого разряда высот аппроксимировалась методом кусочно-полиномиального приближения с использованием кубических полиномов. Приняты следующие узловые точки: 5%; 20%; 45%; 80% от длины ствола. Следовательно, для аппроксимации одной образующей древесного ствола требуется 5 уравнений. Таким образом, для шести разрядов высот по ели (в коре, без коры) было получено 60 уравнений связи диаметров в зависимости от диаметра на высоте груди и относительной длины (в % от длины ствола) до места определяемого диаметра.