

УДК 630\*17:582.475:630\*232(477.87) Доц. В.М. Володимиренко, канд. с.-г. наук;  
доц. О.П. Бала, канд. с.-г. наук – Національний аграрний ун-ет, м. Київ

## АКТУАЛІЗАЦІЯ ТАКСАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ШТУЧНИХ МОДАЛЬНИХ ЯЛИНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Запропоновано методику прогнозування росту штучних ялиників середньогірського поясу Карпат. Розроблено моделі прогнозу таксаційних параметрів для ялинових лісостанів, що зростають у раменях, сураменях та бучинах, суббучинах.

**Ключові слова:** актуалізація, апроксимація, моделювання, коефіцієнт детермінації, критерій Ст'юдента.

*Assoc. prof. V.M. Volodymyrenko; assoc. prof. O.P. Bala –  
National agrarian university, Kyiv*

### Actualization of valuation parameters for artificial fir stands of Ukrainian Carpathians mountains

The offered method of prognostication of growth of artificial fir-groves to the middle belt of Carpathians mountains. The models of prognosis of parameters fixedness the price are developed for spruce lisostaniv, that grow in ramenyah, souramenyah and bouchinah, soubouchinah.

**Keywords:** actualization, approximation, design, coefficient of determinatsii, criterion St'yudenta.

У сучасних умовах, коли лісове господарство переходить на методи управління лісами на засадах сталого розвитку, розроблення нових нормативів для оцінки стану лісів та прогнозу їх росту є одним із важливих питань. Ефективне використання банку даних "Лісовий фонд України" для вирішення комплексу лісооблікових задач та задач лісовпорядчого проектування вимагає розроблення нових методів і математичних моделей актуалізації основних лісівничо-таксаційних ознак деревостанів. Від рівня наукової обґрунтованості моделей залежать прогнозні оцінки стану лісових насаджень, інтегральні характеристики лісового фонду, зміст і обсяги проектних господарських заходів, розміри проміжного та головного лісокористування [4, 5]. Важливо, щоб методи актуалізації таксаційних показників були узгодженими, базувались на природних закономірностях росту лісових насаджень і враховували наявність функціонального зв'язку між окремими ознаками, а параметри математичних моделей встановлені на основі достатньої вихідної інформації [12].

Актуалізація таксаційних параметрів здійснюється у насадженнях, де не відбувалось ніяких змін, крім природних процесів росту, для цього використовуються розроблені математичні моделі прогнозу. Були досліджені різні варіанти таких моделей для оцінки основних таксаційних параметрів штучних ялинових деревостанів Карпат [2]. Вибір моделей базувався на дослідженнях В.В. Антанайтіса [1], М.М. Свалова [8], А.З. Швиденка, А.А. Строчинського, П.І. Лакиди [11], В.В. Загреєва [6], К.Є. Нікітіна та інших.

Для моделювання прогнозу росту за всіма таксаційними показниками, крім запасу, було застосовано методичний підхід, що використовує співвідношення значення таксаційного показника рік вперед до того ж показника на теперішній час та визначати його як функцію від віку деревостану, оскільки для штучних насаджень він може бути визначений із точністю до 1 року.

$$\frac{T_{A+1}}{T_A} = f(A), \quad (1)$$

де:  $T_{A+1}$  – значення таксаційного показника рік вперед;  $T_A$  – значення таксаційного показника зараз;  $A$  – вік насадження, років.

У прогнозуванні росту штучних ялиників необхідно, насамперед, оцінити майбутню висоту насадження для корінних та похідних ялиників, що зростають у різних типах лісорослиних умов. Основою для моделювання прогнозу росту слугували розроблені таблиці ходу росту штучних модальних ялиників, що зростають у раменах, сураменах та бучинах, суббучинах [2].

Оброблення даних та оцінку коефіцієнтів регресії методом найменших квадратів виконано на персональному комп'ютері. Під час моделювання співвідношення  $H_{A+1}/H_A$  методом регресійного аналізу було досліджено рівняння такого вигляду:

$$\frac{H_{A+1}}{H_A} = a_0 + \frac{a_1}{a_2 \cdot (A+1)^{a_3}}, \quad (2)$$

З рівняння 2 випливає, що прогноз висоти на один рік вперед здійснюється за формулою:

$$H_{A+1} = H_A \cdot \left( a_0 + \frac{a_1}{a_2 \cdot (A+1)^{a_3}} \right). \quad (3)$$

Відповідно, прогноз висоти на період  $(A+2)$  роки здійснюється за формулою:

$$H_{A+2} = H_{A+1} \cdot \left( a_0 + \frac{a_1}{a_2 \cdot (A+2)^{a_3}} \right), \quad (4)$$

на період  $(A+3)$  роки –

$$H_{A+3} = H_{A+2} \cdot \left( a_0 + \frac{a_1}{a_2 \cdot (A+3)^{a_3}} \right) \text{ і т.д.} \quad (5)$$

Використовуючи стандартну технологію послідовної підстановки матимемо:

$$H_{A+3} = H_A \cdot \left( a_0 + \frac{a_1}{a_2 \cdot (A+1)^{a_3}} \right) \cdot \left( a_0 + \frac{a_1}{a_2 \cdot (A+2)^{a_3}} \right) \cdot \left( a_0 + \frac{a_1}{a_2 \cdot (A+3)^{a_3}} \right), \quad (6)$$

Узагальнюючи рівняння 6, отримаємо:

$$H_{A+n} = H_A \cdot \prod_{i=1}^n \left( a_0 + \frac{a_1}{a_2 \cdot (A+i)^{a_3}} \right), \quad (7)$$

де  $n$  – період прогнозу.

Унаслідок апроксимації математичної моделі отримано значення коефіцієнтів регресії:  $a_0=0,995$ ,  $a_1=0,263$ ,  $a_2=0,045$ ,  $a_3=1,404$ .

Коефіцієнт детермінації отриманої моделі становить 0,99, що свідчить про майже 100 %-ву варіацію залежної змінної. Необхідно відзначити, що перевірка адекватності регресійної моделі, дослідження залишків від регресії можливі лише за достатньої кількості спостережень. За малої кількості спос-

тережень (у цьому випадку їх 115) важко, а іноді неможливо дати адекватну оцінку. Тому, не наводиться перевірка основних статистичних гіпотез відносно моделі (2).

Підставивши в рівняння 7 значення коефіцієнтів  $a_0, a_1, a_2, a_3$ , матимемо модель прогнозу середньої висоти для корінних ялинників Карпат

$$H_{A+n} = H_A \cdot \prod_{i=1}^n \left( 0,995 + \frac{0,263}{0,045 \cdot (A+i)^{1,404}} \right). \quad (8)$$

Аналогічним шляхом було знайдено модель для прогнозування середньої висоти штучних ялинників, що зростають в бучинах та суббучинах. Унаслідок досліджень було отримано таку модель:

$$H_{A+n} = H_A \cdot \prod_{i=1}^n \left( 0,995 + \frac{0,021}{0,004 \cdot (A+i)^{1,435}} \right). \quad (9)$$

Подібну методику було використано для моделювання прогнозу середнього діаметра штучних ялинників. Для всіх класів бонітету отримані дані співвідношень виявились подібними. За допомогою регресійного аналізу було отримано аналітичні вирази для отриманих кривих. Для прогнозу середнього діаметра корінних ялинників, що зростають у раменах, сураменах пропонуємо модель

$$D_{A+n} = D_A \cdot \prod_{i=1}^n \left( 0,997 + \frac{0,194}{0,034 \cdot (A+i)^{1,406}} \right), \quad (10)$$

для похідних ялинників

$$D_{A+n} = D_A \cdot \prod_{i=1}^n \left( 0,998 + \frac{2,496}{0,416 \cdot (A+i)^{1,461}} \right). \quad (11)$$

Графічне дослідження тенденції динаміки співвідношення сум площ поперечних перерізів для кожного класу бонітету різних умов місцезростання ялинників показало, що значення  $G_{A+1}/G_A$  з підвищенням класу бонітету зменшується, ця різниця істотна до 40 років, а потім значення співвідношень майже збігаються (рис. 1, 2). Тому, для кожного класу бонітету корінних та похідних ялинових деревостанів було виконано апроксимацію залежності

$$\frac{G_{A+1}}{G_A} = a_0 + \frac{a_1}{a_2 \cdot (A+1)^{a_3}}. \quad (12)$$

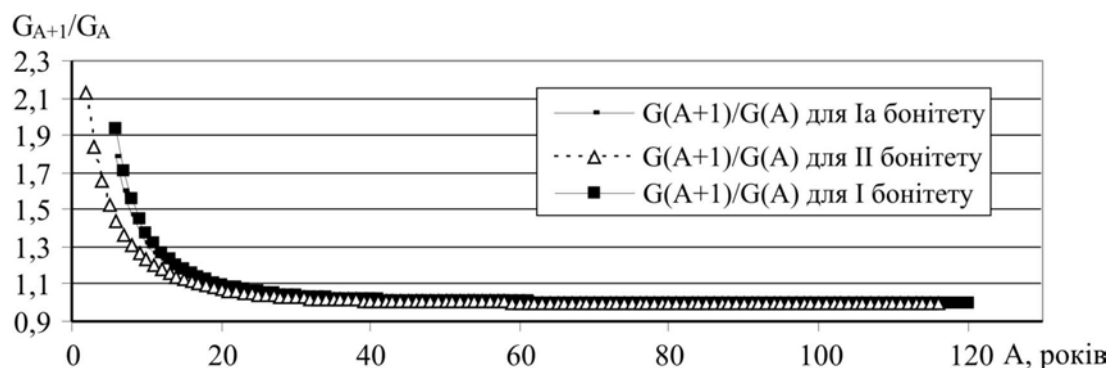


Рис. 1. Динаміка відношення суми площ поперечних перерізів в  $(A+1)$  років до  $A$  років штучних ялинників, що зростають у раменах та сураменах

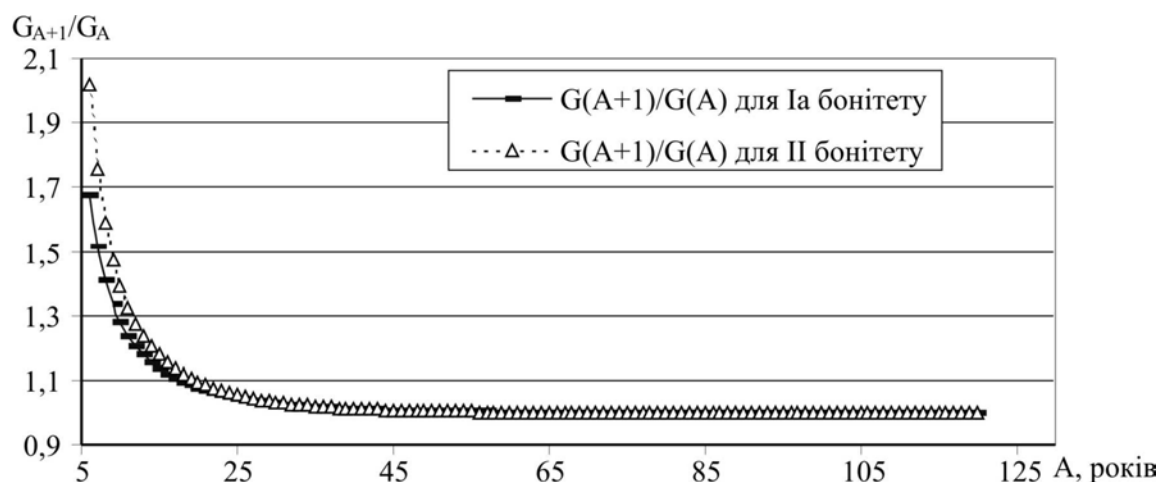


**Рис. 2.** Динаміка відношення суми площ поперечних перерізів в  $(A+1)$  до  $A$  років штучних ялиників, що зростають в бучинах та суббучинах

Відповідно, для прогнозу використаємо рівняння такого вигляду:

$$G_{A+n} = G_A \cdot \prod_{i=1}^n \left( a_0 + \frac{a_1}{a_2 \cdot (A+i)^{a_3}} \right). \quad (13)$$

Значення параметрів рівняння (13) для кожного класу бонітету наведено в табл. 1.

**Табл. 1.** Значення параметрів рівняння моделі прогнозу суми площ поперечних перерізів для ялиників залежно від класу бонітету

| Клас бонітету                               | Параметри рівняння (13)                    |       |       |       |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                             | Ялиники, що зростають у раменях, сураменях |       |       |       |
|                                             | $a_0$                                      | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ |
| I <sup>b</sup>                              | 0,994                                      | 0,120 | 0,004 | 1,923 |
| I <sup>a</sup>                              | 0,993                                      | 1,051 | 0,029 | 0,965 |
| I                                           | 0,993                                      | 0,529 | 0,011 | 2,014 |
| II                                          | 0,993                                      | 0,260 | 0,004 | 2,072 |
| III                                         | 0,992                                      | 0,049 | 0,001 | 2,141 |
| IV                                          | 0,993                                      | 0,087 | 0,001 | 2,226 |
| Ялиники, що зростають у бучинах, суббучинах |                                            |       |       |       |
| I <sup>b</sup>                              | 0,994                                      | 0,104 | 0,005 | 1,854 |
| I <sup>a</sup>                              | 0,994                                      | 0,724 | 0,024 | 1,939 |
| I                                           | 0,993                                      | 0,270 | 0,006 | 2,027 |
| II                                          | 0,993                                      | 0,280 | 0,004 | 2,120 |
| III                                         | 0,993                                      | 0,790 | 0,008 | 2,219 |
| IV                                          | 0,994                                      | 0,286 | 0,002 | 2,327 |

З метою зменшення використання значної кількості коефіцієнтів та отримання загальної моделі було вирівняно значення отриманих параметрів рівняння залежно від класу бонітету. Для цього використано спеціальний показник, що називається індекс класу бонітету ( $H_{120}$ ) – це значення висоти середини класу бонітетної шкали у віці 120 років.

Унаслідок моделювання для корінних ялиників отримано такі рівняння:

$$a_0 = 1,0009 - \frac{0,4565}{H_{120}} + \frac{7,7201}{H_{120}^2} - \frac{36,4969}{H_{120}^3}; \quad (14)$$

$$a_1 = 9,7493 - 1,2553 \cdot H_{120} + 0,051 \cdot H_{120}^2 - 0,0006 \cdot H_{120}^3; \quad (15)$$

$$a_2 = 0,029 \cdot \exp(-0,3139 \cdot |H_{120} - 35,1|); \quad (16)$$

$$a_3 = 2,9231 - 0,046 \cdot H_{120} + 0,0005 \cdot H_{120}^2. \quad (17)$$

Параметри  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_3$  описані рівняннями параболічного типу,  $a_2$  – експоненціальною функцією. Практика застосування регресійного аналізу показує, що немає необхідності розглядати в рівняннях надто високі степені та добутки багатьох аргументів. На лінійну частину рівняння часто припадає найбільша інформація, а внесок нелінійної частини порівняно невеликий. Тому, в дослідженнях у пошуку рівнянь коефіцієнтів, поступово вводилися нелінійні члени для покращення апроксимації функції.

Для ялиників, що зростають у бучинах, суббучинах, отримано такі моделі:

$$a_0 = 1,003 - \frac{0,6476}{H_{120}} + \frac{14,0459}{H_{120}^2} - \frac{97,7938}{H_{120}^3}; \quad (18)$$

$$a_1 = -155,25 + 22,88 \cdot H_{120} - 1,2321 \cdot H_{120}^2 + 0,0289 \cdot H_{120}^3 - 0,0002 \cdot H_{120}^4; \quad (19)$$

$$a_2 = 176,077 + 4,319 \cdot H_{120} - 0,016 \cdot H_{120}^2 - 45,157 \cdot H_{120}^{1/2} - 242,774 \cdot H_{120}^{-1/2}; \quad (20)$$

$$a_3 = 2,7661 - 0,0235 \cdot H_{120}. \quad (21)$$

Шляхом регресійного аналізу для визначення коефіцієнтів  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  були застосовано моделі параболічного типу, а для  $a_3$  – лінійного.

Отже, якщо підставити значення коефіцієнтів 14-17 в модель 13, буде отримано модель прогнозу суми площ поперечних перерізів для штучних ялиників, що зростають у раменях, сураменях, а значення коефіцієнтів, наведені в рівняннях 18-21 – модель прогнозу суми площ поперечних перерізів для штучних ялиників, що зростають у бучинах, суббучинах.

Актуалізацію запасу було здійснено за іншою методикою, а саме через відсоток поточного приросту запасу  $P_M$  [3, 7, 10], який було пораховано на основі модальних таблиць ходу росту за допомогою персонального комп'ютера для всіх класів бонітету корінних та похідних ялиників.

Дослідження форми математичних моделей  $P_M$  виконали шляхом аналізу регресії рівнянь параболічного типу. Унаслідок виконаного статистичного аналізу на основі використання моделей запасу штучних ялиників було встановлено таку математичну модель:

$$P_M = a_0 + a_1 \cdot A + a_2 \cdot A^2 + a_3 \cdot A^{1/2}. \quad (22)$$

Коефіцієнти регресії 22 значення  $t$ -критерію Ст'юдента наведені в табл. 2.

З даних табл. 2 видно, що модель відсотка приросту (22) пояснює 99 % варіації залежної змінної, а також має значущі на 5 %-му рівні ( $t$ -критерій коливається в межах від 3,2 до 51,5) коефіцієнти регресії.

Для практичної реалізації пропонуємо таку модель прогнозу запасу штучних ялиників, що зростають у раменях, сураменях та бучинах, суббучинах

$$M_{A+n} = M_A / (1 - \frac{P_M \cdot n}{100}). \quad (23)$$

**Табл. 2. Параметри математичної моделі (22) для знаходження відсотка поточного приросту за запасом**

| Клас бонітету    | Коефіцієнти і t-критерії |           |        |           |         |           |         |           |                         |
|------------------|--------------------------|-----------|--------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|-------------------------|
|                  | $a_0$                    | $t_{a_0}$ | $a_1$  | $t_{a_1}$ | $a_2$   | $t_{a_2}$ | $a_3$   | $t_{a_3}$ | Коефіцієнт детермінації |
| Корінні ялинники |                          |           |        |           |         |           |         |           |                         |
| $\Gamma^b$       | 42,8678                  | 51,5      | 0,7251 | 26,8      | -0,0010 | 17,1      | -10,473 | 36,0      | 0,99                    |
| $\Gamma^a$       | 41,2327                  | 38,7      | 0,6701 | 19,4      | -0,0009 | 11,9      | -9,876  | 26,5      | 0,99                    |
| I                | 38,9472                  | 29,2      | 0,6009 | 13,9      | -0,0008 | 8,1       | -9,097  | 19,5      | 0,99                    |
| II               | 36,1776                  | 23,2      | 0,5234 | 10,3      | -0,0006 | 5,6       | -8,197  | 15,1      | 0,99                    |
| III              | 33,2057                  | 19,9      | 0,4466 | 8,2       | -0,0005 | 4,0       | -7,276  | 12,4      | 0,99                    |
| IV               | 30,4219                  | 18,9      | 0,3830 | 7,3       | -0,0004 | 3,2       | -6,471  | 11,5      | 0,99                    |
| Похідні ялинники |                          |           |        |           |         |           |         |           |                         |
| $\Gamma^b$       | 52,6948                  | 44,2      | 1,1143 | 24,7      | -0,0020 | 16,8      | -14,357 | 32,0      | 0,99                    |
| $\Gamma^a$       | 55,8218                  | 43,2      | 1,1962 | 24,5      | -0,0022 | 16,8      | -15,322 | 31,5      | 0,99                    |
| I                | 59,1965                  | 41,6      | 1,2860 | 23,9      | -0,0024 | 16,6      | -16,372 | 30,6      | 0,99                    |
| II               | 63,0113                  | 39,8      | 1,3879 | 23,2      | -0,0026 | 16,2      | -17,561 | 29,5      | 0,99                    |
| III              | 67,6651                  | 37,7      | 1,5117 | 22,3      | -0,0028 | 15,7      | -19,007 | 28,1      | 0,997                   |
| IV               | 74,1057                  | 34,8      | 1,6831 | 20,9      | -0,0032 | 14,9      | -21,008 | 26,2      | 0,99                    |

Для корінних ялинників змодельовані значення коефіцієнтів:

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 19,8043 + 0,5985H_{120}; \\
 a_1 &= 2,6051 + 0,2110H_{120} - 0,0012H_{120}^2 - 1,3323H_{120}^{1/2}; \\
 a_2 &= 0,0030 - 0,0006H_{120}^{1/2} - \frac{0,0163}{H_{120}}; \\
 a_3 &= -30,0520 - 2,3888H_{120} + 0,0139H_{120}^2 + 14,6765H_{120}^{1/2},
 \end{aligned} \tag{24}$$

Для похідних ялинників визначено такі значення коефіцієнтів:

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 111,8772 - 2,4542H_{120} + 0,0242H_{120}^2; \\
 a_1 &= 2,6933 - 0,0657H_{120} + 0,0007H_{120}^2; \\
 a_2 &= -0,00096 - \frac{0,0430}{H_{120}}; \\
 a_3 &= -5,412 - \frac{404,801}{H_{120}} + \frac{2053,064}{H_{120}^2},
 \end{aligned} \tag{25}$$

де  $H_{120}$  – індекс класу бонітету (величина середини класу бонітету за шкалою проф. М.М. Орлова в базовому віці 120 років).

Моделі 24-25 мають прийнятні статистичні показники, коефіцієнт детермінації становить вище 0,95, коефіцієнти регресій значущі на 5 %-му рівні. Прогнозування видового числа визначають передбаченням запасу, середньої висоти та суми площ поперечних перерізів та вираховують за допомогою класичної формули таксації.

Загалом можна відзначити, що зважаючи на статистичні характеристики, оцінки адекватності моделей та значущості коефіцієнтів рівнянь, отримані моделі прогнозу росту є прийнятними для вирішення виробничих і наукових проблем.

## Література

1. Антанайтис В.В. Современное направление лесоустройства. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 280 с.
2. Володимиренко В.М. Особливості росту та прогноз продуктивності штучних модальних ялинових деревостанів Українських Карпат: Дис. канд.... с.-г. наук: 06.03.02. – К., 2006. – 162 с.
3. Володимиренко В.М. Прогноз запасу модальних штучних смеречників Українських Карпат// Тези доповідей: Конф. наук.-пед. працівників, наукових співробітників і аспірантів. – К.: НАУ, 2006. – С. 72.
4. Загребов В.В., Волков В.Д. Принципы построения отраслевой автоматизированной системы управления лесным хозяйством// Лесное хозяйство. – 1972, № 6. – С. 6-11.
5. Загребов В.В., Швиденко А.З. Принципы построения единой нормативной базы для таксации лесов// Лесное хозяйство. – 1988, № 10. – С. 32-36.
6. Загребов В.В., Гусев Н.Н., Саликов Н.Я. Методические рекомендации по составлению таблиц хода роста древостоев. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1975. – 36 с.
7. Розробити методику актуалізації основних таксацийних показників деревостанів лісоутворювальних порід України. Звіт по госпдоговірній темі № 40/15 (проміжний). – К.: НАУ, 1997. – 17 с.
8. Свалов Н.Н. Прогнозирование роста древостоев// Методы учета и прогноза лесных ресурсов. – М.: Наука и техника, 1978. – С. 110-196.
9. Строчинский А.А., Швиденко А.З., Лакида П.И. Модели роста и продуктивность оптимальных древостоев. – К.: изд. УСХА, 1992. – 144 с.
10. Строчинський А.А. До методики актуалізації повноти і запасу деревостану в системі неперервного лісовпорядкування// Наук. вісник НАУ: Зб. наук. праць. – К.: НАУ. – 1999, вип. 17. – С. 242-246.
11. Швиденко А.З., Строчинский А.А., Лакида П.И. Нормативно-информационное обеспечение системы учета и рационального использования лесосырьевых ресурсов Украинских Карпат// Развитие лесного хозяйства в западных областях УССР за годы Советской власти: Тез. докл. респ. конф. – Львов, 13-15 июня 1989. – С. 120-121.
12. Юдицкий Я.А. Моделирование закономерностей роста древостоев как основа обновления лесотаксационной информации/ Автореф. дис... канд. с.-х. наук: 06.03.02. – К.: УСХА, 1982. – 20 с.

УДК 630\*5+630.221\*76

Доц. О.А. Гірс, канд. с.-г. наук – Національний аграрний університет, м. Київ

## НОРМАТИВИ ТОВАРНОЇ СТРУКТУРИ ПЕРЕСТІЙНИХ СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ РЕКРЕАЦІЙНИХ ЛІСІВ УКРАЇНИ, ЇХНЄ РОЗРОБЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ

Розроблено товарні таблиці для перестійних сосняків рекреаційних лісів України, за результатами дослідної перевірки яких встановлено їхню достатньо високу точність. Необхідність розроблення нормативів доведено їх істотними відмінностями від товарних таблиць для стиглих соснових деревостанів.

**Ключові слова:** параметри будови насаджень, бета-розподіл, товарні таблиці, точність нормативів, систематична та вибіркова помилки.

*Assoc. prof. O.A. Girs – National agrarian university, Kyiv*

## Tables of commodity structure of overripened pine plantings of recreation forests of Ukraine, their development and analysis

Commodity tables are developed for the overripened pine forests of the recreational forests of Ukraine, as a result of experimental verification of which their high exactness is determined. The necessity of development of norms is proved by their substantial distinctions from commodity tables for pine shelterwoods.