

15. Рябчук В.П., Заячук В.Я., Мельник Ю.А., Постоловський Д.А. Влияние морфометрических показателей ствола и кроны на урожайность плодовых растений Украины// Лесн. журнал. – 1995, № 6. – С. 16-22.

16. Рябчук В.П., Заячук В.Я., Постоловський Д.О. Вплив освітлення на плодоношення бузини чорної та калини звичайної// Лісовий журнал. – 1995, № 2. – С. 24-25.

17. Рябчук В.П. Недревна продукція лісу. – Львів: Світ, 1996. – 312 с.

18. Рябчук В.П., Осадчук Л.С., Юськевич Т.В., Максим Я.В. Шляхи збільшення об'ємів заготівлі живиці// Наук. вісник УНАУ. – К.: УНАУ. – 1998, вип. 8. – С. 258-262.

19. Рябчук В.П. Подсочка березы и клена в широколиственных лесах и лесостепи: Автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.03.03/ ЛТА. – Л., 1984. – 401 с.

20. Рябчук В.П. Соки лиственных деревьев. – Львов: Выща школа, 1988. – 152 с.

21. Свириденко В.Е., Швиденко А.Й. Лісівництво. – К.: Сільгоспосвіта, 1995. – 364 с.

22. Стрянець Г.В. Плодоношення видів роду *Rubus* L. в лісових фітоценозах Українського Розточчя: Автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.03/ УкрДЛТУ. – Львів, 1997. – 17 с.

23. Юськевич Т.В., Ватаманюк Н.М. Вміст терпентинного масла в живиці окремих видів хвойних порід// Наук. вісник УкрДЛТУ: Проблеми та перспективи розвитку лісового господарства. – Львів: УкрДЛТУ. – 1998, вип.9.2. – С. 191-193.

24. Юськевич Т.В. Визначення смолопродуктивності хвойних порід в умовах західного регіону України// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1997, вип. 7. – С. 15-18.

УДК 630*5

Пров. інж. О.П. Бала – Національний аграрний ун-т

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗУ РОСТУ СЕРЕДНЬОГО ДІАМЕТРА, СУМИ ПЛОЩ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ ТА ЗАПАСУ У МОДАЛЬНИХ ШТУЧНИХ НАСАДЖЕНЬ ДУБА ЗВИЧАЙНОГО ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

На основі розроблених таблиць ходу росту модальних насаджень було створено комплекс математичних моделей для прогнозу росту середнього діаметра, суми площ поперечних перерізів та запасу дубових лісостанів, які знайдуть використання при актуалізації таксаційних показників бази даних "Повидільна таксаційна характеристика лісів".

Ключові слова: Модальні насадження таблиці ходу росту, математичне моделювання, актуалізація таксаційних показників.

Eng. O.P. Bala – National agriculture University

Modeling of growth prognosis by mean diameter, basal area and mean growing stock in modal artificial Oak stands for Foreststep zone of Ukraine

On basis of created modal yield table the complex of mathematical models for growth prognosis by mean diameter, basal area and mean growing stock in Oak stands has been created, can be used for actualization of inventory characteristics in database "Stratum inventory characteristics of forest".

Keywords: Modal yield table, mathematical modelling, actualization of inventory characteristics.

Актуалізація таксаційних параметрів проводиться у насадженнях відбулися природні процеси росту, на основі розроблених математичних моделей прогнозу росту [5]. На сьогодні існують нормативи для актуалізації таксаційних показників [3], однак вони не повністю відповідають природнім процесам росту та вимогам виробника.

Для моделювання прогнозу росту за всіма таксаційними показниками було вирішено використати методичний підхід, що й для моделювання прогнозу росту середньої висоти [1], а співвідношення значення таксаційного показника рік вперед до того ж показника на теперішній час 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.

Значення таксаційних показників визначались за розробленими таблицями ходу росту (ТХР) модальних насаджень відповідно для регіонів Лісостепу та за класами бонітету [2]. Отримані співвідношення, як для середньої висоти, так і для середнього діаметра та суми площ поперечних перерізів мають подібний характер зміни з віком. Для середнього діаметра отримане відношення відрізняється лише для ліво- та правобережної частини лісостепової зони, для суми площ поперечних перерізів – ще й за класами бонітету.

Динаміку отриманого співвідношення для сум площ поперечних перерізів для I^a та V^a класів бонітету наведено на рис. 1.

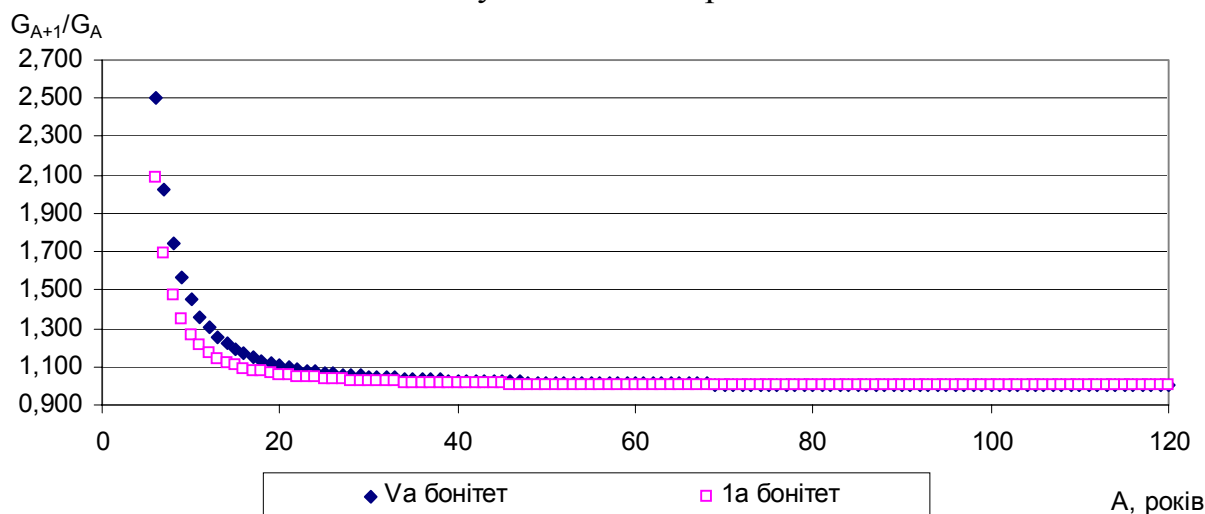


Рис. 1. Динаміка відношення суми площ поперечних перерізів на 1 га 1 рік вперед до цього ж показника на теперішній час

Для моделювання досліджуваного співвідношення, в результаті аналізу рівнянь, які б найбільш точно описали його зміну з віком, була використана формула наступного виду

$$\frac{T_{A+1}}{T_A} = \frac{1}{c_0 + \frac{c_1}{A+1} + \frac{c_2}{(A+1)^2} + \frac{c_3}{(A+1)^3}}. \quad (2)$$

Таке рівняння дає нам можливість розрахувати значення показника лише на один рік, проте періоди актуалізації можуть бути до 20 років, тому провівши нескладні математичні перетворення отримаємо модель яка дасть можливість прогнозувати значення таксаційного показника на більш трива-

лий період. Крім того перевірка показала, що дана модель виконує одну із головних особливостей моделей актуалізації – інваріантності з віком

$$T_{A+n} = T_A \cdot \prod_{i=1}^n \left(\frac{1}{c_0 + \frac{c_1}{A+i} + \frac{c_2}{(A+i)^2} + \frac{c_3}{(A+i)^3}} \right), \quad (3)$$

де $^\circ$ – період актуалізації.

Для моделювання прогнозу росту середнього діаметра були отримані наступні рівняння для ліво- (T_{A+n}^L) та правобережної (T_{A+n}^R) частини лісостепової зони

$$D_{A+n}^L = D_A \cdot \prod_{i=1}^n \left(\frac{1}{1,004 - \frac{1,022}{A+i} - \frac{3,881}{(A+i)^2} + \frac{4,497}{(A+i)^3}} \right), \quad (4)$$

$$D_{A+n}^R = D_A \cdot \prod_{i=1}^n \left(\frac{1}{1,004 - \frac{1,082}{A+i} - \frac{4,198}{(A+i)^2} + \frac{5,288}{(A+i)^3}} \right), \quad (5)$$

Сума площ поперечних перерізів розраховувалась не тільки для різних регіонів лісостепової зони, але і окремо за класами бонітету та частинами деревостану (деревостан загалом та головна порода). Коефіцієнти рівняння (3) моделювання прогнозу росту суми площ поперечних перерізів наведено у табл. 1.

Складнішим виявилось знаходження залежності досліджуваного співвідношення для запасу деревостану, на рис. 2 зображено його динаміку для різних класів бонітету. На відміну від попередніх випадків крива має різку точку перегину у певному віці, при чому чим нижче клас бонітету тим більший цей вік.

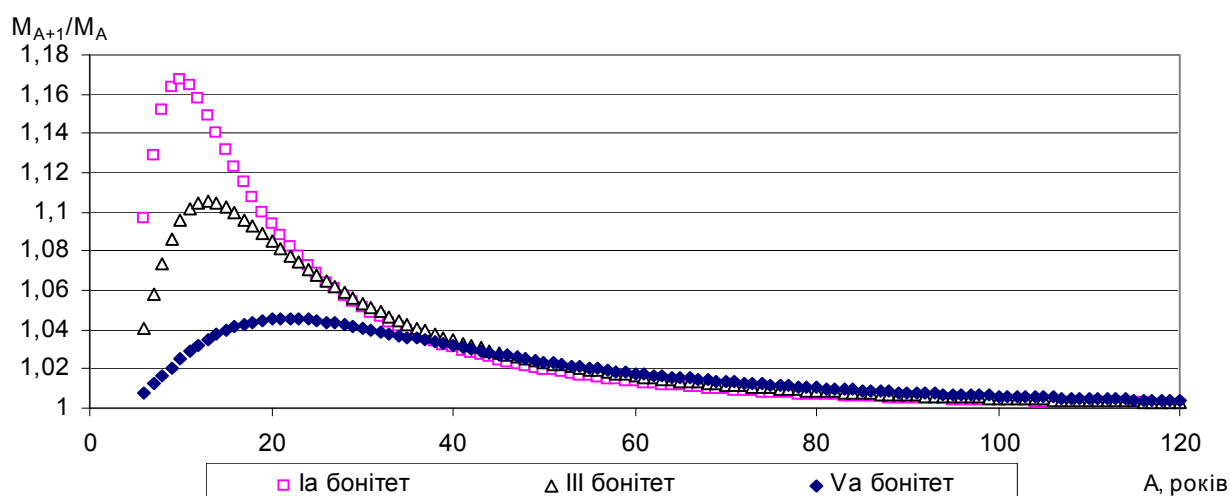


Рис. 2. Динаміка відношення запасу на 1 га 1 рік вперед до запасу на теперішній час у розрізі класів бонітету

Табл. 1. Коефіцієнти рівняння (3) моделювання прогнозу росту суми площ поперечних перерізів за класами бонітету та частинами лісостану

Клас бонітету	Значення коефіцієнтів рівняння							
	деревостан				дуб			
	C_0	C_1	C_2	C_3	C_0	C_1	C_2	C_3
Лівобережна частина Лісостепу								
Γ^b	0,999	0,278	-27,682	46,359	0,995	0,094	-25,708	40,845
Γ^a	0,998	0,307	-29,905	56,042	0,995	0,124	-27,927	50,504
I	0,998	0,340	-32,501	67,736	0,994	0,158	-30,516	62,156
II	0,997	0,367	-35,354	81,163	0,994	0,186	-33,359	75,524
III	0,997	0,366	-38,216	95,577	0,993	0,186	-36,210	89,864
IV	0,998	0,299	-40,625	109,468	0,994	0,120	-38,608	103,674
V	0,999	0,108	-41,780	120,030	0,996	-0,068	-39,761	114,170
V^a	1,003	-0,289	-40,520	123,163	0,999	-0,461	-38,516	117,267
Правобережна частина Лісостепу								
Γ^b	0,997	0,507	-32,043	64,596	0,993	0,404	-30,865	61,244
Γ^a	0,996	0,519	-34,184	74,796	0,993	0,410	-33,002	71,413
I	0,996	0,516	-36,361	85,654	0,993	0,414	-35,163	82,235
II	0,996	0,483	-38,362	96,593	0,993	0,381	-37,109	93,136
III	0,997	0,397	-39,931	106,654	0,994	0,297	-38,735	103,160
IV	0,999	0,227	-40,622	114,334	0,996	0,128	-39,427	110,814
V	1,002	-0,071	-39,820	117,389	0,998	-0,167	-38,635	113,866
V^a	1,006	-0,545	-36,774	113,060	1,003	-0,639	-35,612	109,577

Підібрати модель яка б точно пройшла по всіх точках кривої досить складно, тому було вирішено розділити її на дві більш прості. Точка поділу припадає на вік дещо старший, ніж максимальне значення (вік екстремуму). Пошук математичних моделей дав змогу отримати наступну систему рівнянь

$$M_{A+1} = \begin{cases} M_A \cdot \prod_{i=1}^n (a_0 + a_1(A+i) + a_2(A+i)^2 + a_3(A+1)^3) & A \leq k \\ M_A \cdot \prod_{i=1}^n (a_0 + a_1/(A+i) + a_2/(A+i)^2 + a_3/(A+1)^3) & A > k \end{cases} \quad (4)$$

де k – точка (вік) поділу кривої, років.

З даних рис. 2 чітко видно, що коефіцієнт k безпосередньо залежить від класу бонітету, а експериментальним шляхом було встановлено, що він дорівнює для: Γ^b – 12, Γ^a – 13, I – 14, II – 15, III – 17, IV – 20, V – 25, V^a – 30. Для універсалізації отриманих математичних моделей їхні коефіцієнти додатково вирівнювались з допомогою поліномів або парабол різного порядку, де аргументом був клас бонітету.

Для першого рівняння системи (4) в результаті пошуку адекватних моделей було вибрано рівняння виду

$$a_x = c_0 + c_1 \cdot H_{100} + c_2 \cdot H_{100}^2 + c_3 \cdot H_{100}^3, \quad (5)$$

де: x – номер коефіцієнту; H_{100} – індекс класу бонітету (середня висота у віці 100 років), м.

Табл. 2. Коефіцієнти рівняння (5) для лівобережної частини Лісостепу

Коефіцієнти рівняння (4)	Коефіцієнти рівняння (5)			
	c_0	c_1	c_2	c_3
Деревостан				
a_0	0,987	$2,67 \cdot 10^{-3}$	$-4,40 \cdot 10^{-4}$	$-1,76 \cdot 10^{-6}$
a_1	$3,73 \cdot 10^{-3}$	$-7,22 \cdot 10^{-4}$	$9,19 \cdot 10^{-5}$	$2,20 \cdot 10^{-6}$
a_2	$1,32 \cdot 10^{-4}$	$-4,62 \cdot 10^{-5}$	$5,63 \cdot 10^{-6}$	$-4,90 \cdot 10^{-7}$
a_3	$-4,47 \cdot 10^{-5}$	$9,89 \cdot 10^{-6}$	$-7,71 \cdot 10^{-7}$	$2,46 \cdot 10^{-8}$
Дуб звичайний				
a_0	0,998	$2,70 \cdot 10^{-3}$	$-4,45 \cdot 10^{-4}$	$-1,77 \cdot 10^{-6}$
a_1	$3,65 \cdot 10^{-3}$	$-7,30 \cdot 10^{-4}$	$9,30 \cdot 10^{-5}$	$2,23 \cdot 10^{-6}$
a_2	$1,35 \cdot 10^{-4}$	$-4,66 \cdot 10^{-5}$	$5,68 \cdot 10^{-6}$	$-4,95 \cdot 10^{-7}$
a_3	$-4,51 \cdot 10^{-5}$	$9,99 \cdot 10^{-6}$	$-7,78 \cdot 10^{-7}$	$2,49 \cdot 10^{-8}$

Індекс класу бонітету відповідно рівний: I^b – 36,7; I^a – 33,0; I – 29,2; II – 25,4; III – 21,7; IV – 17,9; V – 14,2; V^a – 10,4. Коефіцієнти отриманих рівнянь для лівобережної частини Лісостепу наведено у табл. 2, для правобережної – табл. 3.

Табл. 3. Коефіцієнти рівняння (5) для правобережної частини Лісостепу

Коефіцієнти рівняння (4)	Коефіцієнти рівняння (5)			
	c_0	c_1	c_2	c_3
Деревостан				
a_0	0,983	$4,22 \cdot 10^{-3}$	$-6,35 \cdot 10^{-4}$	$1,95 \cdot 10^{-6}$
a_1	$6,74 \cdot 10^{-3}$	$-1,58 \cdot 10^{-3}$	$1,80 \cdot 10^{-4}$	$8,70 \cdot 10^{-7}$
a_2	$-4,25 \cdot 10^{-4}$	$8,98 \cdot 10^{-5}$	$-4,62 \cdot 10^{-6}$	$-3,71 \cdot 10^{-7}$
a_3	$-2,44 \cdot 10^{-5}$	$5,46 \cdot 10^{-6}$	$-4,99 \cdot 10^{-7}$	$2,29 \cdot 10^{-8}$
Дуб звичайний				
a_0	0,990	$4,26 \cdot 10^{-3}$	$-6,40 \cdot 10^{-4}$	$1,96 \cdot 10^{-6}$
a_1	$6,73 \cdot 10^{-3}$	$-1,59 \cdot 10^{-3}$	$1,82 \cdot 10^{-4}$	$8,75 \cdot 10^{-7}$
a_2	$-4,28 \cdot 10^{-4}$	$9,04 \cdot 10^{-5}$	$-4,66 \cdot 10^{-6}$	$-3,74 \cdot 10^{-7}$
a_3	$-2,46 \cdot 10^{-5}$	$5,50 \cdot 10^{-6}$	$-5,02 \cdot 10^{-7}$	$2,31 \cdot 10^{-8}$

Для вирівнювання коефіцієнтів другого рівняння системи (4) застосовувалось декілька формул:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= c_0 + c_1 \cdot H_{100} + c_2 \cdot H_{100}^2 + c_3 \cdot H_{100}^3; \\ b_1 &= c_0 + \frac{c_1}{H_{100}} + \frac{c_2}{H_{100}^2} + \frac{c_3}{H_{100}^3}; \\ b_2(b_3) &= c_0 + \frac{c_1}{H_{100}} + \frac{c_2}{H_{100}^2} + \frac{c_3}{H_{100}^3} + \frac{c_4}{H_{100}^4}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Коефіцієнти рівнянь (6) для лівобережжя наведено у табл. 4, для правобережжя – табл. 5.

Актуалізація відносної повноти проводилась за класичним у лісовій таксації методом через актуалізовану суму площ поперечних перерізів на 1 га. Після знаходження відносної повноти виникає потреба у внесенні поправки (K), яка враховує вплив цього показника на запас насадження. Оскільки дані прогнозу росту базуються на ТХР модальних насаджень, тому при повноті 0,7 (вона є модальною) непотрібно вносити поправки до запасу. Для

дослідження впливу відносної повноти на середній запас насадження була використана база даних "Повидільна таксаційна характеристика лісів".

Табл. 4. Коефіцієнти рівнянь (6) для лівобережної частини Лісостепу

Коефіцієнти рівняння (4)	Коефіцієнти рівняння (6)				
	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4
Деревостан					
b_0	0,996	$-4,93 \cdot 10^{-5}$	$8,42 \cdot 10^{-8}$	$5,18 \cdot 10^{-8}$	—
b_1	-1,386	89,427	-1404,102	7060,371	—
b_2	25,288	2533,494	-78657,411	1170935,844	-5919224,253
b_3	444,563	-58364,556	1531632,717	—	114223113,64
Дуб звичайний					
b_0	0,996	$5,57 \cdot 10^{-5}$	$-1,62 \cdot 10^{-6}$	$6,08 \cdot 10^{-8}$	—
b_1	-1,120	90,623	-1353,421	6675,474	—
b_2	26,571	2110,515	-68357,332	1020362,144	-5167530,628
b_3	397,132	-52442,200	1359433,763	—	101063867,80

Табл. 5. Коефіцієнти рівнянь (6) для правобережної частини Лісостепу

Коефіцієнти рівняння (4)	Коефіцієнти рівняння (6)				
	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4
Деревостан					
b_0	0,997	$-2,05 \cdot 10^{-4}$	$3,28 \cdot 10^{-6}$	$1,80 \cdot 10^{-8}$	—
b_1	-0,690	72,899	-1224,345	6275,268	—
b_2	21,223	2024,038	-64049,962	997318,657	-5148297,105
b_3	388,689	-49845,196	1336540,613	—	102226087,39
Дуб звичайний					
b_0	0,998	$-1,13 \cdot 10^{-4}$	$1,52 \cdot 10^{-6}$	$3,00 \cdot 10^{-8}$	—
b_1	-0,524	72,994	-1173,857	5931,265	—
b_2	22,773	1692,955	-55554,805	871425,715	-4521055,637
b_3	346,421	-44953,698	1190076,599	—	91172746,390

Попередньо вона була розділена за відотною повнотою від 0,5 до 0,9, інші повноти займають дуже малу частку серед штучних дубових насаджень. Після поділу бази даних, використавши ту ж модель, що застосована для моделювання запасу для ТХР [2], отримані математичні моделі, які характеризували залежність середнього запасу від віку лісостанів у розрізі відносних повнот. Запас встановлений для повноти 0,7 є базовим. Для знаходження поправки використовуємо наступне співвідношення

$$K = \frac{M_{\text{Факт}}}{M_{\text{Баз}}}, \quad (5)$$

де: $M_{\text{Факт}}$ – запас насадження при фактичній повноті, м^3 ; $M_{\text{Баз}}$ – запас насадження при повноті 0,7, м^3 .

У результаті пошуку адекватних математичних залежностей встановлено, що модель для знаходження співвідношення (5) має такий вигляд:

$$\frac{M_{\text{Факт}}}{M_{\text{Баз}}} = a_0 + \frac{a_1}{A} + \frac{a_2}{A^2} + \frac{a_3}{A^3}. \quad (6)$$

Коефіцієнти рівняння (6) наведено у табл. 6.

Табл. 6. Коефіцієнти рівняння (6) у розрізі відносних повнот

Фактична відносна повнота	Коефіцієнти рівняння			
	a_0	a_1	a_2	a_3
0,5	0,325	61,361	-2795,222	33633,032
0,6	0,907	-3,241	-135,374	2628,027
0,8	1,091	7,687	-293,907	3311,873
0,9	1,038	30,800	-1103,710	11852,120

Усі отримані коефіцієнти рівняння вирівнювались за допомогою поліному третього степеня із використанням в якості аргументу відносної повноти:

$$\begin{aligned} a_0 &= -14,422 + 57,868 \cdot P - 71,172 \cdot P^2 + 28,844 \cdot P^3, \\ a_1 &= 2133,4 - 8369,4 \cdot P + 10635 \cdot P^2 - 4368,1 \cdot P^3, \\ a_2 &= -83657 + 324543 \cdot P - 409329 \cdot P^2 + 167382 \cdot P^3, \\ a_3 &= 965099 - 3735720 \cdot P + 4710090 \cdot P^2 - 1929050 \cdot P^3 \end{aligned}$$

де P – відносна повнота насаджень.

Порівняння отриманих нормативів актуалізації таксаційних параметрів із вже існуючими даними [3, 4] показало, що за середньою висотою розбіжностей у прогнозі росту майже немає, за діаметром – істотна розбіжність спостерігається лише у стиглому віці. Найбільше відхилення даних існуючих нормативів від показників модальних насаджень у всіх вікових періодах прослідковують за запасом та варіює від 10 до 45 м³ у різні вікові періоди. Отримані нами моделі дають змогу визначити показники модальних насаджень з похибкою у 2-3 м³.

Літератури

1. Бала О.П. Моделювання прогнозу росту за середньою висотою в штучних дубових насадженнях України// Наук. вісник НАУ: 36. наук. праць. – К.: НАУ. – 2002, № 54. – С. 219-224.
2. Бала О.П., Лакида П.І. Моделювання динаміки таксаційних показників штучних модальних дубових деревостанів Лісостепу України// Наук. вісник НАУ: 36. наук. праць. – К.: НАУ. – 2002, № 71. – С. 155-162.
3. Строчинский А.А. Методическое и нормативно-информационное обеспечение системы регулирования продуктивности лесных насаждений на Украине: Автореф. дис... в виде научн. доклада д-ра с.-х. наук: 06.03.02. – К., 1992. – 70 с.
4. Строчинський А.А. До методики актуалізації повноти і запасу деревостану в системі неперервного лісовпорядкування// Наук. вісник НАУ. – К.: НАУ. – 1999, вип. 17. – С. 242-246.
5. Швець М.І. Перехід вітчизняного лісовпорядкування на технологію безперервної лісоінвентаризації// Матер. міжнар. конф. "Лісівнича наука та освіта: стан та перспективи розвитку". – К.: НАУ. – 1997. – С. 250-252.