

УДК 630\*56

**А. Ю. ТЕРЕНТЬЄВ, О. П. БАЛА, В. М. ВОЛОДИМИРЕНКО<sup>\*†</sup>**  
**АНАЛІЗ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУ РОСТУ ЗА СЕРЕДНЬОЮ ВИСОТОЮ**  
**ШТУЧНИХ НАСАДЖЕНЬ СОСНИ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ**

*Національний аграрний університет, м. Київ*

Проведено порівняння показників прогнозування середньої висоти з існуючими нормативами для соснових насаджень. Доведено можливість застосування моделей прогнозу росту для насаджень, у яких проведено рубки догляду різної інтенсивності.

Ключові слова: середня висота, прогноз росту, моделювання.

Одним із основних таксаційних показників, що використовуються як при побудові таблиць ходу росту, так і при моделюванні прогнозу росту, є середня висота насадження. Тому її точне прогнозування є дуже важливим для актуалізації бази даних при безперервному лісовпорядкуванні. У зв'язку з тим, що моделі прогнозу росту застосовують при розрахунку показників для складання проекту організації й розвитку підприємства, ці моделі мають забезпечувати достатньо високу точність і відповідати певним критеріям.

Окрім визначення загального виду рівняння та розрахунку його коефіцієнтів, важливим при розробці моделі прогнозування росту є аналіз її функціональної придатності для використання на виробництві. Зокрема, необхідно проаналізувати поведження функції на різних вікових проміжках, що дає змогу точніше здійснити прогнозування росту насадження на певний період. Для моделювання прогнозу росту за висотою з використанням методики, описаної раніше [1], отримано рівняння:

$$H_{A+n} = H_A \times \prod_{i=1}^n \frac{1}{1,0122 - \frac{1,3788}{A-i}}$$

де  $A$  – вік насадження;

$H_{A+n}$  – висота насадження через  $n$  років;

$H_A$  – висота насадження на даний момент.

Аналіз придатності отриманих результатів проводили шляхом порівняння з даними постійних пробних площ (ППП), закладених у чистих насадженнях сосни звичайної співробітниками кафедри лісівництва Національного аграрного університету [3], а також із розробленими нами таблицями ходу росту (ТХР) для модальних насаджень сосни звичайної Полісся України та чинними нормативами [2].

Порівняння проводили в декілька етапів на різних вікових проміжках за такою методикою. Було виділено 6 груп із різним періодом прогнозування. З метою запобігання накопиченню похибки під час розрахунків початкову висоту на кожен віковий проміжок брали з порівнюваних таблиць.

Для довготермінового періоду прогнозування використано дві групи з такими віковими проміжками: перша група – віком від 5 до 125 років, друга група – з проміжками від 5 до 60 і від 60 до 125 років.

У середньотерміновому періоді прогнозування також виділено дві групи для насаджень віком від 5 до 125 років та періодами прогнозування через 15 і 30 років. Для короткотермінового періоду використано 2 групи віком від 5 до 125 років і періодами повторюваності в 5 і 10 років.

Результати, отримані при прогнозуванні, порівнювали з даними таблиць, які брали за еталонні для певного віку, й розраховували їхні абсолютну та відносну похибки, що дало змогу проаналізувати поведження функції на різних часових проміжках росту насадження.

Результати порівняння прогнозу росту за середніми висотами із розробленими ТХР наведено в табл. 1

<sup>\*</sup> © А. Ю. Терентьєв, О. П. Бала, В. М. Володимиренко, 2008

<sup>†</sup> Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор П. І. Лакида

Порівняння прогнозу росту середньої висоти з розробленими модальними ТХР

Вік	Висота за даними ТХР	Віковий проміжок, років								
		довготерміновий прогноз						середньотерміновий прогноз		
		від 5 до 125			5 – 60 і 60 – 125			від 5 з періодом 30 років		
		прогноз	різниця	похибка, %	прогноз	різниця	похибка, %	прогноз	різниця	похибка, %
10	3,54	–	–	–	–	–	–	–	–	–
15	6,41	–	–	–	–	–	–	–	–	–
20	9,23	–	–	–	–	–	–	–	–	–
25	11,85	–	–	–	–	–	–	–	–	–
30	14,23	–	–	–	–	–	–	–	–	–
35	16,38	–	–	–	–	–	–	9,72	6,66	-40,6
40	18,34	–	–	–	–	–	–	–	–	–
45	20,13	–	–	–	–	–	–	–	–	–
50	21,77	–	–	–	–	–	–	–	–	–
55	23,27	–	–	–	–	–	–	–	–	–
60	24,66	–	–	–	15,29	9,38	38,0	–	–	–
65	25,95	–	–	–	–	–	–	27,23	1,28	+4,9
70	27,13	–	–	–	–	–	–	–	–	–
75	28,23	–	–	–	–	–	–	–	–	–
80	29,24	–	–	–	–	–	–	–	–	–
85	30,18	–	–	–	–	–	–	–	–	–
90	31,05	–	–	–	–	–	–	–	–	–
95	31,85	–	–	–	–	–	–	31,90	0,05	+0,2
100	32,59	–	–	–	–	–	–	–	–	–
105	33,28	–	–	–	–	–	–	–	–	–
110	33,92	–	–	–	–	–	–	–	–	–
115	34,51	–	–	–	–	–	–	–	–	–
120	35,06	–	–	–	–	–	–	–	–	–
125	35,56	21,41	14,15	39,8	34,54	1,03	2,9	34,32	1,25	3,5

Продовження табл. 1

Вік	Висота за даними ТХР	Віковий проміжок, років								
		середньотерміновий прогноз			короткотерміновий прогноз					
		від 5 з періодом 15 років			від 5 з періодом 10 років			від 5 з періодом 5 років		
		прогноз	різниця	похибка, %	прогноз	різниця	похибка, %	прогноз	різниця	похибка, %
10	3,54	–	–	–	–	–	–	2,50	1,03	-29,2
15	6,41	–	–	–	4,00	2,41	-37,6	5,65	0,76	-11,8
20	9,23	5,50	3,73	-40,4	–	–	–	8,81	0,42	-4,6
25	11,85	–	–	–	11,16	0,69	-5,8	11,69	0,16	-1,3
30	14,23	–	–	–	–	–	–	14,25	0,02	+0,2
35	16,38	16,32	0,06	-0,4	16,54	0,16	+1,0	16,51	0,13	+0,8
40	18,34	–	–	–	–	–	–	18,53	0,18	+1,0
45	20,13	–	–	–	20,54	0,41	+2,0	20,33	0,20	+1,0
50	21,77	22,41	0,64	+3,0	–	–	–	21,97	0,20	+0,9
55	23,27	–	–	–	23,67	0,40	+1,7	23,46	0,18	+0,8
60	24,66	–	–	–	–	–	–	24,82	0,16	+0,6
65	25,95	26,44	0,50	+1,9	26,24	0,29	+1,1	26,07	0,13	+0,5
70	27,13	–	–	–	–	–	–	27,22	0,09	+0,3
75	28,23	–	–	–	28,38	0,15	+0,6	28,28	0,06	+0,2
80	29,24	29,42	0,18	+0,6	–	–	–	29,26	0,02	+0,1
85	30,18	–	–	–	30,19	0,01	+0,03	30,16	0,01	-0,1
90	31,05	–	–	–	–	–	–	31,00	0,05	-0,2
95	31,85	31,70	0,15	-0,5	31,71	0,14	-0,4	31,77	0,08	-0,3
100	32,59	–	–	–	–	–	–	32,47	0,12	-0,4
105	33,28	–	–	–	33,01	0,28	-0,8	33,13	0,15	-0,5
110	33,92	33,45	0,47	-1,4	–	–	–	33,73	0,19	-0,6
115	34,51	–	–	–	34,10	0,41	-1,2%	34,29	0,22	-0,6
120	35,06	–	–	–	–	–	–	34,80	0,25	-0,7%
125	35,56	34,80	0,77	2,6	35,02	0,54	1,5	35,28	0,29	0,8%

При довготерміновому прогнозуванні в першій групі, тобто на весь період росту насадження, абсолютна похибка сягала 14,2 м, відносна – 39,8 %.

У той же час, при зменшенні періоду вдвічі величина похибки для середньої висоти насадження віком старше 60 років становила в абсолютних величинах 1,03 м, а у відносних 2,9 %.

Для насаджень віком до 60 років величина похибки становить 9,38 м в абсолютних і 38,0 % у відносних величинах.

Для середньотермінового періоду прогнозування величина похибки при періоді в 30 років сягала 6,66 м в абсолютних і 40,4 % у відносних величинах для насаджень віком до 35 років. Для насаджень віком 35 – 65 років похибка становила 1,28 м, або 4,9 %, для насаджень віком 65 – 95 років – 0,05 м (0,2 %).

При прогнозуванні з періодом у 15 років лише для насаджень віком до 20 років похибка в абсолютних величинах сягала 3,73 м, що у відносних величинах становить 40,4 %, для прогнозу в насадженнях старшого віку величина відносної похибки не перевищила 3 %.

Оскільки короткотерміновий прогноз застосовують при складанні різноманітних планів ведення господарства, найбільш важливим є аналіз результатів прогнозування саме на цей період.

При прогнозуванні росту деревостанів віком до 15 років величина абсолютної та відносної похибок становила 2,41 м і 37,6 % відповідно. У подальшому величини похибок прогнозу середньої висоти для насаджень віком від 15 років з періодом у 10 років коливалися в межах 0,01 – 0,69 м в абсолютних і 2,02 – 5,8 % у відносних величинах.

Подібна тенденція спостерігається для прогнозування з періодом у 5 років, а саме лише для прогнозу 5 – 10 і 10 – 15 років величини похибок становили 1,03 м (29,2 %) та 0,76 м (11,8 %) відповідно. На інших вікових проміжках величина абсолютної похибки не перевищила 0,42 м (4,6 %).

Отже, з наведеного аналізу даних табл. 1 випливає:

- найбільша похибка спостерігається при прогнозуванні росту у молодому віці;
- збільшення точності прогнозування в молодняках може бути досягнуто за рахунок зменшення періоду прогнозування;
- висока точність як для довгострокового, так і для короткострокового прогнозів досягається для насаджень віком старше 15 – 20 років.

Результати аналізу прогнозу росту середньої висоти на основі чинних ТХР наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Порівняння прогнозу росту середньої висоти із діючими ТХР**

Вік	Висота за даними ТХР	Віковий проміжок, років								
		від 10 до 80			10 – 40 та 40 – 80			від 10 з періодом 20 років		
		про-гноз	різ-ниця	похиб-ка, %	про-гноз	різ-ниця	похиб-ка, %	про-гноз	різ-ниця	похиб-ка, %
15	6,90	–	–	–	–	–	–	–	–	–
20	9,70	–	–	–	–	–	–	–	–	–
25	12,30	–	–	–	–	–	–	–	–	–
30	14,70	–	–	–	–	–	–	13,38	1,32	-7,0
35	16,90	–	–	–	–	–	–	–	–	–
40	18,90	–	–	–	17,56	1,34	-7,1	–	–	–
45	20,70	–	–	–	–	–	–	–	–	–
50	22,30	–	–	–	–	–	–	23,34	1,04	+4,7
55	23,70	–	–	–	–	–	–	–	–	–
60	25,00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
65	26,20	–	–	–	–	–	–	–	–	–
70	27,20	–	–	–	–	–	–	28,43	1,23	+4,5
75	28,20	–	–	–	–	–	–	–	–	–
80	29,00	29,27	0,27	+0,9	31,50	2,50	+8,6	–	–	–

Вік	Висота за даними ТХР	Віковий проміжок, років								
		від 10 з періодом 15 років			від 10 з періодом 10 років			від 10 з періодом 5 років		
		прогноз	різниця	похибка, %	прогноз	різниця	похибка, %	прогноз	різниця	похибка, %
15	6,90	–	–	–	–	–	–	6,39	0,51	-7,4
20	9,70	–	–	–	8,79	0,91	-9,4	9,49	0,21	-2,2
25	12,30	11,13	1,17	-9,5	–	–	–	12,28	0,02	-0,1
30	14,70	–	–	–	14,77	0,07	+0,5	14,79	0,09	+0,6
35	16,90	–	–	–	–	–	–	17,06	0,16	+1,0
40	18,90	19,41	0,51	+2,7	19,29	0,39	+2,1	19,11	0,21	+1,1
45	20,70	–	–	–	–	–	–	20,95	0,25	+1,2
50	22,30	–	–	–	22,87	0,57	+2,5	22,59	0,29	+1,3
55	23,70	24,64	0,94	+4,0	–	–	–	24,03	0,33	+1,4
60	25,00	–	–	–	25,63	0,63	+2,5	25,27	0,27	+1,1
65	26,20	–	–	–	–	–	–	26,43	0,23	+0,9
70	27,20	28,03	0,83	+3,1	27,73	0,53	+2,0	27,49	0,29	+1,1
75	28,20	–	–	–	–	–	–	28,36	0,16	+0,6
80	29,00	–	–	–	29,40	0,40	+1,4	29,24	0,24	+0,8

Аналіз проводили за наведеною вище методикою, відмінність полягала у початковому віці – 10 років та верхній границі прогнозування – 80 років. При прогнозуванні на весь віковий проміжок від 10 до 80 років абсолютна похибка сягала 0,27 м і у відносних величинах 0,9 %.

При зменшенні вікового проміжку прогнозування росту середньої висоти удвічі в період з 10 до 40 та від 40 до 80 років похибки в абсолютних і відносних показниках сягали: 1,34 м (7,1 %) та 2,5 м (8,6 %) відповідно. У подальшому величина похибки, як і в попередньому випадку, значно знизилася при зменшенні періоду прогнозування. Найбільше значення похибки одержано для прогнозу росту за висотою в молодих насадженнях. Так при прогнозуванні росту насаджень віком від 10 років та періодом у 10 років величина похибки на віковому проміжку 10 – 20 років становила 0,91 м в абсолютних величинах, або 9,4 % у відносних. При прогнозуванні насаджень старшого віку величини похибок коливались у межах 0,07 – 0,63 м (від 2,54 до 0,5 %).

Аналіз отриманих результатів свідчить, що:

– величина похибки при прогнозуванні на період 15 і більше років коливається в межах 2,7 – 9,5 %, що в абсолютних величинах становить 0,5 – 2,5 м;

– найбільша величина похибки при прогнозуванні на період до 15 років і найменша для насаджень віком понад 20 років становить 0,63 м (2,5 %);

– похибка для насаджень віком до 25 років від’ємна, тобто прогнозовані дані мають менші значення для насаджень віком понад 25 років, навпаки – змодельовані дані мають від’ємне значення похибки.

На нашу думку, основною причиною похибки є невідповідність класам бонітету, оскільки для існуючих даних, узятих із ТХР, його визначали за таблицею проф. М. М. Орлова, а прогноз розробляли за класами динамічної бонітетної шкали, розробленої нами раніше.

Аналіз придатності моделі для насаджень, у яких проведено різні за інтенсивністю рубки догляду, проводили на основі пробних площ, закладених кафедрою лісівництва НАУ [3].

Насадження до моменту проведення дослідів були перегушені. Пробні площі закладені в умовах свіжого субору Боярської ЛДС Київської області у вигляді 3 секцій: секція А контрольна – рубки догляду не проводили, Б – помірне зрідження 19,6 % від запасу, В – інтенсивне зрідження 34,8 % від запасу.

Бонітет насаджень за шкалою проф. М. М. Орлова становить 1а, середні висоти дещо виходять за верхні границі динамічної бонітетної шкали, розробленої нами, тому для прогнозування ми приймаємо бонітет насаджень – 1d.

Отримані результати порівняння прогнозу на постійних пробних площах для різних секцій наведено в табл. 3 – 5.

Таблиця 3

**Порівняння прогнозу росту за середньою висотою чистих штучних насаджень  
(рубки догляду не проводили)**

Вік	Фактична висота насаджень	Прогноз через 5 років			Прогноз через 10 років			Прогноз через 20 років		
		прогноз	різниця	похибка, %	прогноз	різниця	похибка, %	прогноз	різниця	похибка, %
30	16,10	–	–	–	–	–	–	–	–	–
35	18,50	18,69	0,19	+1,0%	–	–	–	–	–	–
40	18,80	20,92	2,12	+11,3%	21,13	2,33	+12,4%	–	–	–
45	22,70	20,84	1,86	-8,2%	–	–	–	–	–	–
50	24,20	24,77	0,57	+2,4%	22,74	1,46	-6,0%	25,15	0,95	+4,0%

Таблиця 4

**Порівняння прогнозу росту за середньою висотою чистих штучних насаджень  
(помірна інтенсивність зрідження)**

Вік	Фактична висота насаджень	Прогноз через 5 років			Прогноз через 10 років			Прогноз через 20 років		
		прогноз	різниця	похибка, %	прогноз	різниця	похибка, %	прогноз	різниця	похибка, %
30	16,60	–	–	–	–	–	–	–	–	–
35	19,00	19,27	0,27	+1,4	–	–	–	–	–	–
40	19,50	21,49	1,99	+10,2	21,79	2,29	+11,7	–	–	–
45	23,20	21,62	1,58	-6,8	–	–	–	–	–	–
50	24,50	25,32	0,82	+3,3	23,59	0,91	-3,7	25,93	1,43	+5,8

Таблиця 5

**Порівняння прогнозу росту за середньою висотою чистих штучних насаджень (інтенсивне зрідження)**

Вік	Фактична висота насаджень	Прогноз через 5 років			Прогноз через 10 років			Прогноз через 20 років		
		прогноз	різниця	похибка, %	прогноз	різниця	похибка, %	прогноз	різниця	похибка, %
30	16,50	–	–	–	–	–	–	–	–	–
35	19,50	19,15	0,35	-1,8	–	–	–	–	–	–
40	20,70	22,05	1,35	+6,5	21,66	0,96	+4,6	–	–	–
45	23,80	22,95	0,85	-3,6	–	–	–	–	–	–
50	24,60	25,97	1,37	+5,6	25,04	0,44	+1,8	25,77	1,17	+4,8

Для секції, де рубки догляду не проводили (табл. 3), похибку понад 5 % виявлено на проміжках 35 – 40 і 40 – 45 років. При прогнозуванні росту середньої висоти з періодом у 10 років були отримані такі результати: 30 – 40 років – 2,33 м. (12,4 %); 40 – 50 років – 1,46 м. (6,0 %). Прогноз на весь доступний віковий проміжок, від 30 до 50 років, дав позитивний результат, величини абсолютних і відносних похибок становили 0,95 м (3,9 %).

Для секції, де проведено рубки догляду помірної інтенсивності (табл. 4), спостерігається подібна ситуація, тобто похибка перевищує 5 % при прогнозуванні для тих самих вікових проміжків, величини похибок при цьому дещо нижчі, ніж у попередньому випадку. Так для прогнозування з періодом у 5 років абсолютні похибки коливаються в межах 0,27 – 1,99 м.

Для секції, де проведено інтенсивне зрідження (табл. 5), похибка прогнозу з періодом у 5 років коливається в межах від 0,35 до 1,37 м, або 1,79 – 6,5 %. При прогнозуванні росту середньої висоти з періодом у 10 років абсолютні похибки коливаються в межах 0,44 – 0,96 м, відносні – 1,8 – 4,6 %.

Із збільшенням періоду прогнозування величина похибки зменшується, причому для насаджень, у яких проведено різні за інтенсивністю рубки догляду, величина похибки менша порівняно з насадженнями, де рубки не проводили. Це дає можливість спрогнозувати ріст за середньою висотою для насаджень, у яких проведені рубки догляду, беручи за основу висоту після проведення зрідження.

**Висновки.** Аналіз наведених таблиць свідчить, що для розроблених і існуючих нормативів похибка характерна для насаджень вікової групи молодняки. При цьому із зменшенням періоду прогнозування похибка зменшується, для насаджень віком понад 15 років без урахування моделювання прогнозу росту в молодому віці похибка коливається в межах 5 %, а отже, цілком прийнятна. Зі зменшенням періоду моделювання в молодому віці похибка значно зменшується. Для фактичних насаджень розроблені моделі прогнозують ріст після рубок догляду з незначним відхиленням.

Отже, в результаті проведених досліджень підтверджено, що отримані моделі надають можливість достатньо точно прогнозувати ріст штучних соснових насаджень за середньою висотою на будь-який період прогнозування з використанням висоти у поточний час як базової.

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Бала О. П. Моделювання прогнозу росту за середньою висотою в штучних дубових насадженнях України // Наук. вісн. НАУ: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2002. – № 54. – С. 219 – 224.

2. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии / Под. ред. А. З. Швиденко и др. – К.: Урожай, 1987. – 560 с.

3. Свириденко В. Е. Лесоводственная оценка разных степеней изреживания древостоя при прореживании в сосновых насаждениях свежей суборей // Лесовыращ. и защ. лесоразв.: сб. науч. тр. Укр. с.-х. акад. – К., 1992. – С. 25 – 30.

Terentjev A., Bala O., Volodymyrenko V.

ANALYSIS OF PREDICTION MODEL OF AVERAGE HEIGHT GROWTH FOR ARTIFICIAL PINE STANDS IN POLESYE OF UKRAINE

*National Agrarian University*

Comparison of indicators of average height prediction with existing specifications for pine stands has been made. Possibility of prediction models use for stands after different intensity of thinning was proved.

**К e y w o r d s :** average height, growth prediction, modeling.

Терентьев А. Ю., Бала А. П., Владимиренко В. Н.

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА РОСТА СРЕДНЕЙ ВЫСОТЫ ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ

*Национальный аграрный университет*

Произведено сравнение показателей прогнозирования средней высоты с существующими нормативами для сосновых насаждений. Доказана возможность применения моделей прогноза роста для насаждений, в которых проведены рубки ухода разной интенсивности.

**К л ю ч е в ы е с л о в а :** средняя высота, прогноз роста, моделирование

*Одержано редколегією 2.09.2008 р.*