

Ю.М. ДЕБРИНЮК¹, М.М. КОРОЛЬ²

ДО ПИТАННЯ ПРО ОПТИМІЗАЦІЮ ГУСТОТИ ЯЛИНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ У ЗАХІДНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Наведено результати оптимізації густоти штучних ялиників у різних типах лісорослинних умов через визначення площі поперечного перерізу дерев. Встановлено залежність зміни поточного приросту за запасом стовбурової деревини від оптимальної площі поперечного перерізу. Моделювання показників росту за густрою з визначенням меж оптимальної та критичної площі поперечного перерізу дає змогу здійснити реальний часовий прогноз росту і продуктивності плантаційних лісових культур ялини європейської.

Ключові слова: ялина європейська, густина, ріст, моделювання.

¹ **ДЕБРИНЮК Юрій Михайлович** – дійсний член Лісівничої академії наук України, академік-секретар ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісових культур і лісової селекції. Національний лісотехнічний університет України. Україна, м. Львів, 79057. Тел.: (032) 235-30-12, +38-067-195-78-36. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net

² **КОРОЛЬ Микола Михайлович** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України. Україна, м. Львів, 79057. Тел.: +38-067-67-02-055. E-mail: nikkorol@ukr.net

Вступ. Важливим лісівничим аспектом успішного росту лісових насаджень, зокрема і плантаційного спрямування, є густина деревостанів. Проте біологічні об'єкти – явище динамічне, і в природі часто не просто знайти насадження, яке мало б оптимальну структуру і густоту. Тому показник абсолютного біологічного оптимуму густоти загалом є поняттям теоретичним, оскільки неможливо досягнути абсолютної єдності між постійно змінюваними вимогами рослини та екологічними особливостями типів лісорослинних умов [5]. З огляду на це, в практичній діяльності краще оперувати показниками густоти деревостанів, максимально наближеними до оптимальних [3, 6]. Математична модель при цьому стає основою для вибору науково обґрунтованих рішень щодо оптимізації вибраних ознак. Тому важливою метою вивчення продуктивності плантаційних лісових культур (ПЛК) є створення такої моделі, яка б відображала вікові особливості росту досліджуваної породи, динаміку її густоти під час культивування у різних типах лісорослинних умов.

Вивчення динаміки густоти ялиників за типами лісорослинних умов у Західному Лісостепу показало дуже високу варіабельність цього показника [2]. У всіх вікових групах ялинових насаджень існують деревостани з надзвичайно різною густотою. При цьому зони регресії є дуже широкими, що зумовлено, насамперед, причинами антропогенного характеру. Звертає на себе увагу стрімке зниження показника густоти ялиників в період 12-20 років в усіх досліджених типах лісорослинних умов. Відкрите Л.А. Кайрюкшисом та ін. [1983] явище "стресу" дає підставу зробити припущення, що початково густе насадження доглядовими рубаннями можна довести до густоти, близької до оптимальної, і підтримувати її на такому рівні стосовно мети вирощування насаджень.

Метою роботи було здійснення моделювання густоти ялинових насаджень впродовж періоду лісовирощування на основі показника площі поперечного перерізу дерев, а також встановлення залежності зміни поточного приросту за запасом від оптимальної абсолютної повноти деревостану.

Об'єкти та методика. Об'єктом дослідження визначено насадження ялини європейської за участі породи в складі не менше ніж 80 %, які ростуть у свіжих і вологих сугрудах та грудях Західного Лісостепу України. Для моделювання густоти ялинових деревостанів використано нелінійні функції, випробувані західноєвропейськими вченими [7-11], які адекватно описують закономірності зміни густоти

насаджень, а також низки таксаційних показників з віком.

Адекватність моделей у всіх випадках визначали за квадратами різниці між фактичними і модельними значеннями (суми найменших квадратів), коефіцієнтом детермінації (R^2) лінійного зв'язку між фактичними і модельними значеннями та коефіцієнтом адекватності моделі θ .

В основу розрахунку густоти плантаційних культур покладено такі положення: а) початкова густина ПЛК ялини повинна бути високою, щоб досягнути швидкого зімкнення, зменшити витрати на агротехнічні догляди та мати можливість додаткового прибутку (реалізація новорічних ялинок); б) ПЛК повинні мати максимальний приріст стовбурової деревини; в) для забезпечення біологічної стійкості плантаційних культур та інтенсивного приросту деревини необхідно проводити регулярні розрідження плантаційних культур, дотримуючись рівномірного розміщення дерев у насадженні.

Результати дослідження. Густина деревостанів ялини на різних етапах росту значною мірою впливає не лише на показники висоти, діаметра, запасу стовбурової деревини, але й на стійкість самих насаджень. Значні відхилення густоти від оптимального показника зумовлюють зниження біологічної стійкості, істотні втрати у запасах деревини. Так, Х.О. Томазіус [7] допускав можливість втрати річного приросту в 5 % внаслідок відхилення від показника N_{opt} в бік більшої або меншої кількості дерев ялини на 1 га на $\pm 35-37\%$, а відношення показників густоти N_{max} до N_{min} при цьому буде дорівнювати 2,1. У такому випадку верхній рівень густоти можна розглядати як "екологічну межу", а нижній – як "економічну межу" [8].

Близьку до оптимальної густоту ялинових культур впродовж періоду лісовирощування доцільно визначати через площу поперечного перерізу дерев G ($m^2/га$), яка змінюється разом із всіма іншими параметрами деревостану [Едер, Петри, 1987]. Обравши оптимальне значення площі перерізу в певному віці, можна встановити і близьку до оптимальної густоту ялинового деревостану, виходячи із принципу рівномірності розміщення дерев на ділянці.

Для визначення показника G_{opt} використано відому формулу для визначення запасу ($M = GHf$), де $G_{opt} = M_{opt}/H_{opt} \cdot F_{вир}$. При цьому показник $F_{вир}$ вирівнюється функцією на основі фактичного видового числа ($F_{факт}$). Як приклад, наведено параметри моделей ялинових насаджень в умовах вологого сугруду Західного Лісостепу (табл.).

Табл. Параметри моделей ялинових насаджень в умовах вологого сугруду Західного Лісостепу

A , років	M_{opt} , $m^3/га$	H_{opt} , м	$F_{факт}$	$F_{вирівн}$	G_{opt} , $m^2/га$	D_{opt} , см	N_{opt} , шт./га	$N_{сп}$, шт./га	$G_{сп}$, $m^2/га$
5	7,5	3,5	0,762	0,779	2,773	2,7	4966	-	-
10	42,3	6,8	0,590	0,606	10,309	5,8	3839	-	3,1
15	105,2	9,9	0,543	0,548	19,402	9,1	3011	1482	9,6
20	187,3	12,8	0,520	0,520	28,176	12,2	2419	1400	16,3
25	278,8	15,4	0,506	0,504	35,851	15,2	1989	1246	22,5
30	371,7	17,9	0,497	0,493	42,214	18,0	1667	1093	27,7
35	460,5	20,1	0,490	0,485	47,322	20,6	1422	960	31,9
40	542,1	22,0	0,484	0,480	51,339	23,0	1232	847	35,3

45	614,9	23,7	0,480	0,476	54,456	25,3	1082	754	38,0
50	678,5	25,3	0,476	0,472	56,854	27,4	963	677	40,0
55	733,1	26,6	0,473	0,470	58,690	29,4	866	613	41,6
60	779,5	27,7	0,470	0,468	60,095	31,2	788	560	42,8
65	818,5	28,7	0,467	0,467	61,173	32,8	723	516	43,7
70	851,0	29,5	0,465	0,465	62,003	34,4	669	479	44,4
75	878,0	30,2	0,463	0,465	62,649	35,8	624	448	45,0
80	900,3	30,7	0,461	0,464	63,157	37,0	586	421	45,4
85	918,6	31,2	0,459	0,463	63,562	38,2	554	399	45,7
90	933,7	31,6	0,458	0,463	63,889	39,3	527	379	46,0

На основі отриманого показника G_{opt} існує можливість змодельовати криву оптимальної площі перерізу у віковій динаміці (рис. 1). На основі показника критичної густоти ($N_{кр}$) отримано критичну площу абсолютної повноти ($G_{кр}$). Досягнення показника площі перерізу нижче від критичної межі переводить високопродуктивні деревостани у розладнані низькоповнотні.

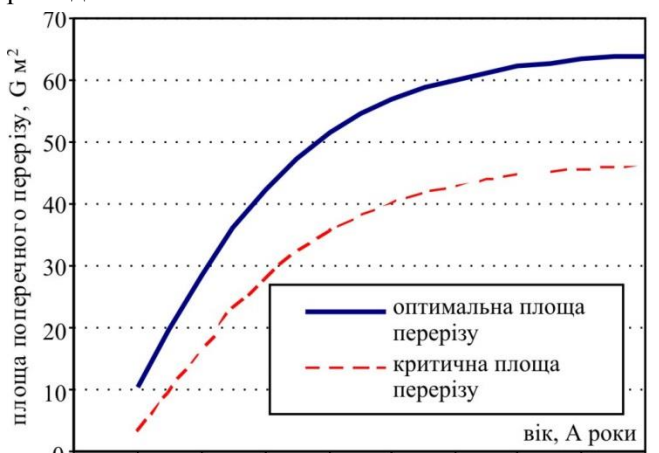


Рис. 1. Динаміка змодельованих оптимальної та критичної площі поперечного перерізу чистих ялинових насаджень в умовах C_3 Західного Лісостепу

За Н.П. Георгієвським [1], густота, яка забезпечує максимальний поточний приріст, є оптимальною. Тому досліджували динаміку поточного приросту за запасом, виходячи із показника M_{opt} . Побудована крива показує стрімке зростання показника Z_m^{pot} в умовах C_3 до 30-річного віку, після чого спостерігаємо його плавне зниження із збільшенням віку (рис. 2). Отже, чисті ялинники в умовах вологого сугруду в позаарейальних умовах вже після 30 років починають поступово втрачати інтенсивність росту.

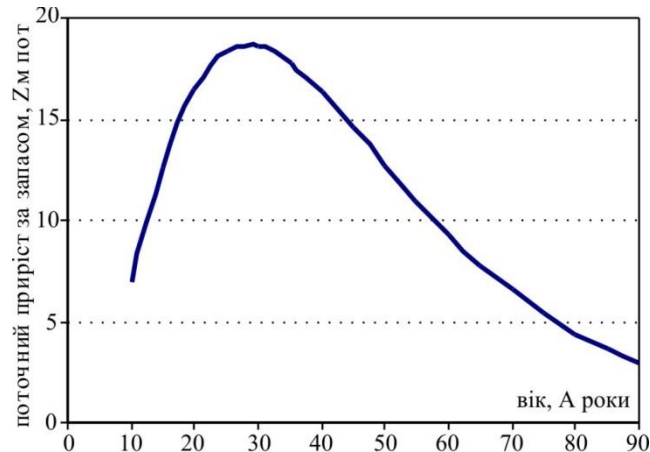


Рис. 2. Зміна поточного приросту за запасом стовбурової деревини ялини в умовах C_3 чистих насаджень Західного Лісостепу

Важливим є встановлення залежності зміни поточного приросту за запасом від оптимальної площі поперечного перерізу (рис. 3). Під час вивчення питання оптимізації густоти лісових насаджень за основу приймали чітку закономірність: із збільшенням густоти насаджень поточний приріст за запасом до певного рівня збільшується, після чого знижується. У зв'язку з цим як оптимальну приймають таку густоту, яка забезпечує максимальний показник Z_m у певний період часу.

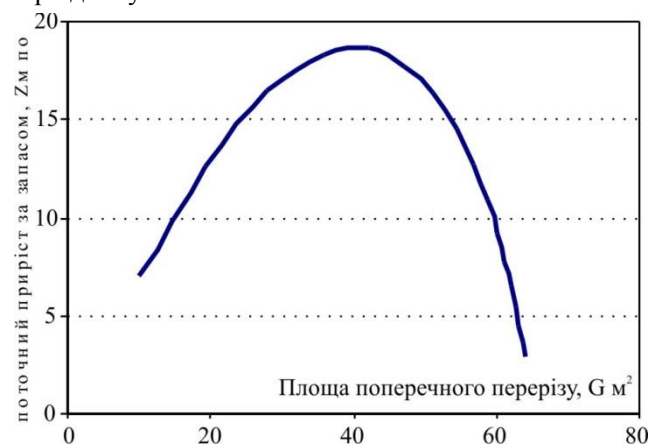


Рис. 3. Залежність показника Z_m^{pot} від оптимальної площі поперечного перерізу для ялини європейської в умовах C_3 Західного Лісостепу

Така закономірність чітко простежується в нашому випадку: максимального значення показник Z_m^{pot} досягає за показника $G_{opt} \sim 40 \text{ м}^2/\text{га}$, після чого досить стрімко знижується. Тому особливості зміни поточного приросту (Z_m^{pot} , $\text{м}^3/\text{га}$) залежно від показників A (років) та G_{opt} ($\text{м}^2/\text{га}$), є дуже важливими і їх необхідно враховувати під час прогнозування росту та продуктивності ялини в плантаційних лісових культурах у часовому проміжку.

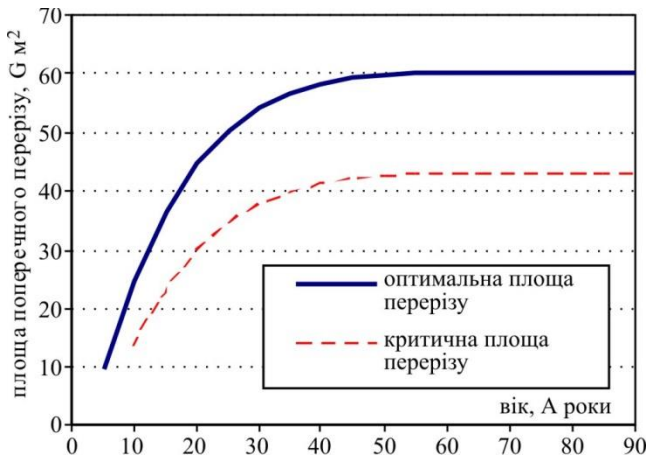


Рис. 4. Динаміка змодельованих оптимальної та критичної площ поперечного перерізу чистих ялинових насаджень в умовах D_2 Західного Лісостепу

У свіжих ґрудових типах лісорослинних умов Західного Лісостепу максимального значення показник G_{opt} досягає практично в 40-річному віці, після чого впродовж наступних 50-ти років не змінюється (рис. 4). Критична площа перерізу ($G_{кр}$) теж у цьому віці досягає найвищого свого значення ($\sim 42 \text{ м}^2/\text{га}$), після чого стабілізується.

В умовах свіжого ґруду поточний приріст за запасом максимального значення досягає раніше на 10-15 років, ніж у вологих сугрудах, після чого, як і в умовах C_3 , плавно знижується (рис. 5). Отже, зауважимо, що абсолютні значення показника $Z_m^{пот}$ в типах C_3 і D_2 є досить подібними.

Поточний приріст за запасом максимального значення досягає за значення $G_{opt} \sim 45 \text{ м}^2/\text{га}$, після чого стрімко спадає, причому спад є стрімкішим, ніж в умовах C_3 (рис. 6). У такому випадку стрімко зростає конкурентна напруженість між особинами через обмеження приросту, що одразу позначається на їхній площі поперечного перерізу.

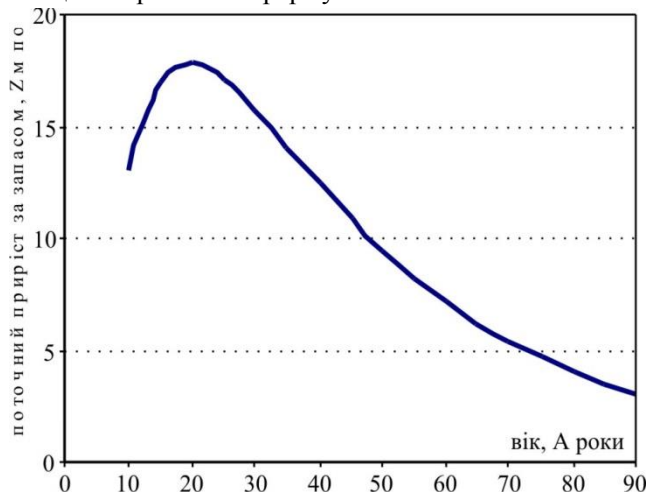


Рис. 5. Зміна поточного приросту за запасом стовбурової деревини ялини в умовах D_2 чистих насаджень Західного Лісостепу

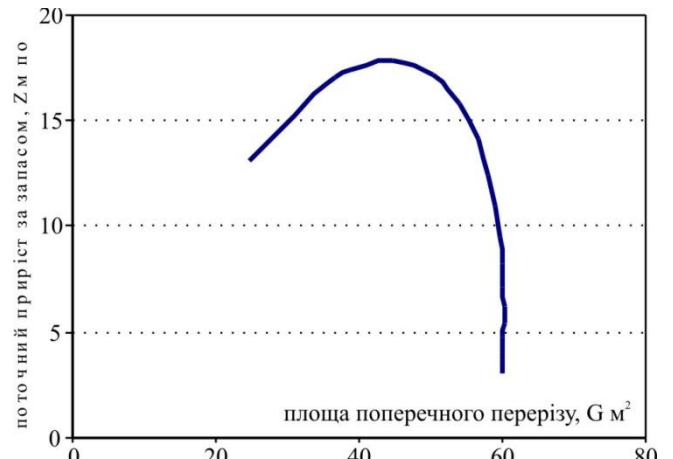


Рис. 6. Залежність показника $Z_v^{пот}$ від оптимальної площі поперечного перерізу для ялини європейської в умовах D_2 Західного Лісостепу

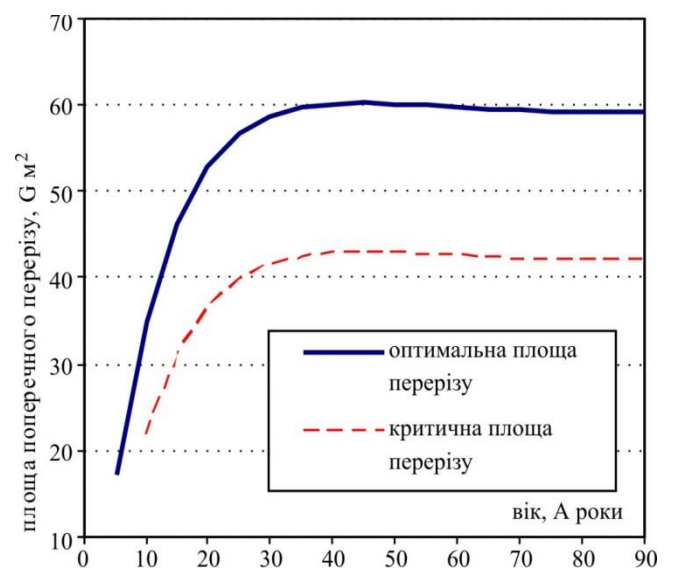


Рис. 7. Динаміка змодельованих оптимальної та критичної площ поперечного перерізу чистих ялинових насаджень в умовах D_3 Західного Лісостепу

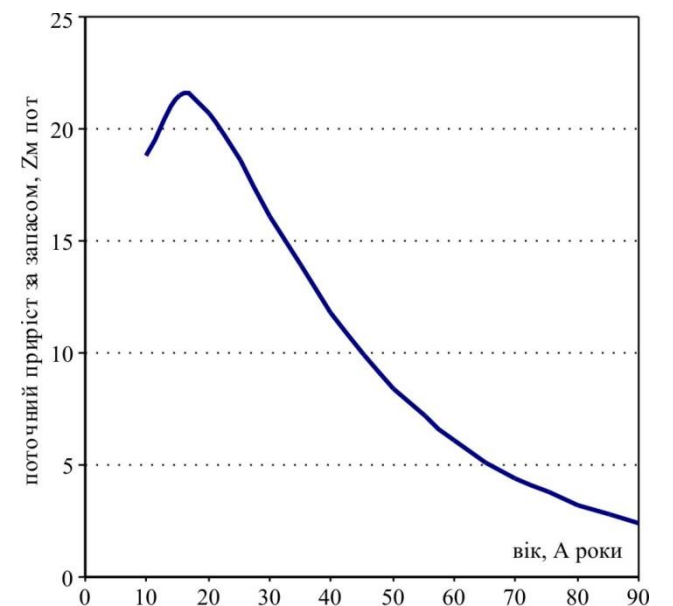


Рис. 8. Зміна поточного приросту за запасом стовбурової деревини ялини в умовах D_3 чистих

насаджень Західного Лісостепу

Для ялинових насаджень, які ростуть в умовах вологого ґрунту, показники G_{opt} і $G_{кр}$ є дуже подібними до таких в умовах свіжого ґрунту (рис. 7). Динаміка поточного приросту за запасом стовбурової деревини є також в загальних рисах подібною до умов D_2 . Однак максимальне значення Z_m^{pot} настає на 5 років пізніше, а спад поточного приросту є дещо різкішим (рис. 8). Максимального значення Z_m^{pot} досягає за показників $G_{opt} = 46-48 \text{ м}^2/\text{га}$, після чого спадає, причому так само стрімко, як і в умовах D_2 (рис. 9).

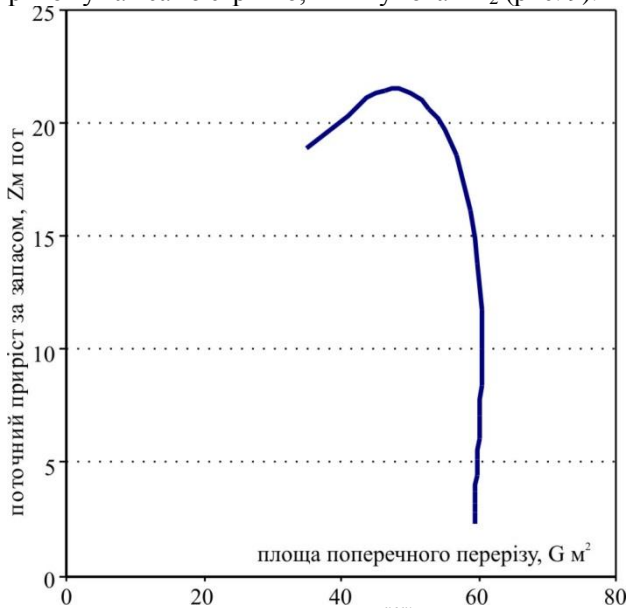


Рис. 9. Залежність показника Z_m^{pot} від оптимальної площі поперечного перерізу для ялини європейської в умовах D_3 Західного Лісостепу

Отже, моделювання показників росту ялинових насаджень за густотою з визначенням меж оптимальної та критичної площі поперечного перерізу, а також залежності між показниками Z_m^{pot} та A , Z_m^{pot} та G_{opt} дає змогу здійснити реальний часовий прогноз росту і продуктивності плантаційних лісових культур ялини європейської за досліджуваними типами лісорослинних умов Західного Лісостепу.

Висновки. Моделювання густоти ялинових деревостанів вказує на дуже високу варіабельність цього показника в усіх типах лісорослинних умов. При цьому високі запаси деревини ялина може нагромаджувати за різної густоти насаджень одного і того ж віку.

Оптимальна площа поперечного перерізу в ялинових насадженнях збільшується до 40-45-річного (умови D_2 , D_3) та до 50-60-річного (умови C_3) віку, після чого стабілізується, в абсолютних значеннях досягаючи $60-65 \text{ м}^2/\text{га}$. Критична площа поперечного перерізу стабілізується в таких самих вікових межах, за абсолютним значенням досягаючи $42-45 \text{ м}^2/\text{га}$.

Динаміка поточного приросту за запасом з віком у всіх типах лісорослинних умов має спільну тенденцію – стрімке зростання до 25-, 20- та 15-річного віку (відповідно, в умовах C_3 , D_2 і D_3), після чого настає плавне зниження абсолютних значень

показника Z_m^{pot} із збільшенням віку. Параметри розроблених моделей мають високий ступінь кореляції, що дає змогу проводити прогноз росту з достатньо високою точністю.

Єдиного оптимального вирішення питання щодо густоти садіння, як і єдиної технології вирощування плантаційних лісових культур у різних типах лісорослинних умов бути не може. Розроблені моделі можуть бути спрямовані на вирішення конкретних задач в межах обмеженого вікового діапазону з використанням певної кількості основних і допоміжних параметрів залежно від природно-кліматичних та антропогенних чинників. Тому певна модель ефективно діє в межах конкретного типу лісорослинних умов чи групи подібних типів лісу і для насаджень подібного віку, складу, структури та цільового призначення.

Розроблені моделі показують, яку густоту повинно мати насадження в конкретному віці, тобто відображають оптимізовані показники для конкретного вікового періоду. Розроблені моделі росту та продуктивності насаджень в поєднанні з оптимізацією лісогосподарських заходів дають змогу приймати раціональні рішення та визначати пріоритетні напрямки ведення лісового господарства в межах конкретного регіону.

ЛІТЕРАТУРА

1. Георгиевский Н.П. Размещение деревьев разных пород в смешанных молодняках / Н.П. Георгиевский // Лесное хозяйство : журнал. – 1962. – № 1. – С. 9-15.
2. Дебринюк Ю.М. Моделювання росту і продуктивності штучних насаджень *Picea abies* [L.] Karst. як прототипів плантаційних лісових культур у західному регіоні України / Ю.М. Дебринюк, О.І. Думанський // Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 8. – С. 83-90.
3. Дзедзюля А.А. Расчет максимального уровня густоты в зависимости от хода роста и среднего диаметра сосновых насаждений / А.А. Дзедзюля // Лесоводство и агролесомелиорация : респ. межвед. темат. научн. сб. – К. : Изд-во "Урожай". – 1988. – Вып. 76. – С. 40-44.
4. Кайрюкшис Л.А. Теоретические основы оптимизации густоты и создания моделей максимально продуктивных насаждений / Л.А. Кайрюкшис, А.И. Юодвалькис, Ю.В. Йоникас и др. // Моделирование и контроль производительности древостоев : сб. научн. тр. ЛитСХА. – Каунас : Изд-во "Академия", 1983. – С. 70-80.
5. Рябоконт А.П. Влияние густоты древостоев сосны обыкновенной на качество стволов в условиях лесостепи УССР : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. с.-х. наук. – Харьков : Изд-во ХСХИ, 1979. – 22 с.
6. Товкач Л.Н. Определение оптимальной густоты культур / Л.Н. Товкач, Г.Б. Толчеева // Создание высокопродуктивных лесных культур : сб. научн. тр. ЛенНИИЛХ. – Л. : Изд-во ЛТА, 1988. – С. 61-65.
7. Томазиус Х.О. Определение оптимальной густоты насаждений / Х.О. Томазиус // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение : межвуз. сб. научн. тр. – Л. : Изд-во РИО ЛТА. – 1978. – Вып. 7. – С. 14-23.
8. Эдер В. Показатели производительности ели в зависимости от густоты насаждений и условий местопроизрастания / В. Эдер, Х. Петри // Проблемы рубок ухода : сб. научн. тр. – М., 1987. – С. 100-107.
9. Gadov v K. Untersuchungen zur konstruktion von Wuchsmodellen für schnellwüchsige Plantagenbaumarten / K. v Gadov // Forstliche Forschungsber. – München. – 1987. – № 77. – 147 s.

10. Gadow v K. Waldwachstum. Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie Georg-August-Universität / K. v Gadow. – Göttingen, 2001. – 211 s.

11. Gadow v K. Modelling Forest Development / K. v Gadow, G.Y. Hui // Klumer Academic Publishers, Povoortrecht. – Boston-London, 1999. – 213 p.

12. Pretzsch H. Modellierung des Waldwachstums / H. Pretzsch. – Berlin : Parey Buchverlag, 2001. – 341 s.

13. Pretzsch H. Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände / H. Pretzsch // FFM. – 1992. – Vol. 115. – 332 s.

Ю.М. Дебрынюк, М.М. Король

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ГУСТОТЫ ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В ЗАПАДНОЙ ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ

Приведены результаты оптимизации густоты искусственных ельников в разных типах лесорастительных условий через определение площади поперечного сечения деревьев. Установлена зависимость изменения текущего прироста по запасу стволовой древесины от оптимальной площади поперечного сечения. Моделирование показателей роста по густоте с определением границ оптимальной и критической площадей поперечного сечения дает возможность осуществить реальный часовой прогноз роста и производительности плантационных лесных культур ели европейской.

Ключевые слова: ель европейская, густота, рост, моделирование.

Yu.M. Debrynyuk, M.M. Korol

GROWTH AND PRODUCTIVITY MODELING OF *PICEA ABIES* [L.] KARST. PLANTATIONS AS FOREST PLANTATIONS PROTOTYPE IN THE WESTERN REGION OF UKRAINE

The plantations growth with the Norway spruce in a stand tree species composition influence on density, height, diameter, and stem wood growing stock have been simulated. The results of the growth processes simulation confirm the possibility of substantial amount of growing stock accumulation in a relatively short period of time under different stand density. The parameters of the developed models have a high degree of correlation, which makes it possible to forecast with high reliability the growth of spruce stand in the plantation regime.

Keywords: Norway spruce, density, growth, modeling.

