

**ЛІСІВНИЧА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЖИМІВ ВИРОЩУВАННЯ ШТУЧНИХ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ У ПІВНІЧНОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ**О. М. Тарнопільська^{1*}, С. І. Мусієнко², В. А. Лук'янець³, О. В. Кобець⁴

Проведено аналіз таксаційних показників, стійкості та стану штучних соснових насаджень за 26-річний період на досліді з вивчення рубок догляду в умовах Північного Степу (на прикладі Ізюмського пристепоного бору). Виявлено, що в штучних соснових насадженнях можливо зменшити кількість рубок догляду, підвищивши їхню інтенсивність, за умови контролю густоти та стійкості насаджень на всіх етапах. Проведення проріджувань помірної (18 % за запасом) та високої (28–30 % за запасом) інтенсивності до густоти 1,6–1,2 тис. екз. га⁻¹ сприяло збільшенню середнього діаметра насаджень на 5–34 %, середньої висоти – на 6–11 % та підвищенню стійкості до фізичних впливів (зниження відносної висоти (H/D) до 96–101), суттєво не впливаючи на запас деревостанів. Проведення прохідної рубки помірної та високої інтенсивності (22–28 % за запасом) до густоти 1,0–0,7 тис. екз. на 1 га дало змогу збільшити середній діаметр на 33–42% та підвищити стійкість насаджень (зменшення H/D до 89–96), не призводячи до втрат загального запасу в довгостроковій перспективі.

Ключові слова: *Pinus sylvestris* L., інтенсивність рубок догляду, таксаційні показники, індекс стану, відносна висота (H/D).

Вступ. Рубки догляду за лісом – важливий лісівничий захід для формування господарсько цінних насаджень і покращення умов їхніх росту та розвитку. Впровадження й удосконалення інтенсивних технологій вирощування соснових культур сприяє прискоренню темпів росту дерев, що залишаються, та дає змогу підвищити продуктивність насаджень і якість деревини (Shinkarenko and Dziedzyulia, 1983; Ryabokon, 2010; Tarnopilska and Ilchenko, 2011; David *et al.*, 2018; Węgiel *et al.*, 2018; Linkevicius *et al.*, 2023; Tkach *et al.*, 2023; 2024), а також зменшити період вирощування технічно стиглої деревини на 10–30 років (Gizachew and Brunner, 2011; Moulinier *et al.*, 2015).

Попри значну кількість наукових досліджень, дотепер дискусійними залишаються питання оптимізації системи рубок догляду, особливо в середньовікових деревостанах. Нагальною є потреба у впровадженні диференційованих підходів до лісогосподарських заходів із урахуванням типів лісорослинних умов. Зокрема, спірним є питання інтенсивності зрідження насаджень і густоти деревостану після проведення рубок. Густиоту штучних соснових деревостанів регулюють шляхом проведення рубок догляду відповідної інтенсивності з певною повторюваністю зріджувань. Впливу зріджувань на ріст, продуктивність і стійкість насаджень присвячено численні вітчизняні та зарубіжні публікації (Savich *et al.*, 1978; Ryabokon, 1991; Tkachuk *et al.*, 2003; Mäkinen and Isomäki, 2004; Manoilo *et al.*, 2004; Manoylo, 2006; Nilsson *et al.*, 2010; Tarnopilska, 2014; 2015; Zhukovskyi, 2015;

¹ Тарнопільська Оксана Михайлівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: tarnoks@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4810-8892>

² Мусієнко Сергій Іванович, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: musienkosergij_les@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6581-2670>

³ Лук'янець Володимир Антонович, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: lukyanetc52@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3427-4240>

⁴ Кобець Олексій Володимирович, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: alexei_kobec@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0712-8827>

*Адреса для кореспонденції: tarnoks@ukr.net

Sendonin, 2015; Montero *et al.*, 2017, del Río *et al.*, 2017; Tarnopilska *et al.*, 2018; Ganbaatar *et al.*, 2021; Linkevičius *et al.*, 2023).

В умовах Ізюмського бору, де наявні дефіцит зволоження ґрунтів, регулярні посухи та недостатній уміст елементів живлення, значення рубок догляду набуває особливої важливості. У таких умовах найпершим завданням цих рубок є підвищення стійкості лісових насаджень (Savich *et al.*, 1978; Shinkarenko, 1990).

Сучасні тенденції рубок догляду базуються переважно на необхідності проведення інтенсивніших, проте менш частих зріджувань. Мало відомо про вплив інтенсивних зріджувань, особливо під час проведення проріджувань і прохідних рубок, на ріст, стійкість і продуктивність штучних сосняків Ізюмського бору. У зв'язку з частими запізненнями із проведенням рубок догляду та необхідністю збільшення інтенсивності зріджувань вимагають подальшого наукового обґрунтування питання, пов'язані з періодами їхньої повторюваності.

Мета досліджень – визначити вплив інтенсивності та повторюваності рубок догляду на ріст, продуктивність, стійкість і диференціацію штучних соснових насаджень в умовах Північного Степу України (на прикладі Ізюмського пристепового бору).

Матеріали й методи. Стаціонарний дослідний об'єкт закладено під керівництвом кандидата с.-г. наук І. Б. Шинкаренка в 1983 р. у Червонооскільському лісництві (кв. 66) Ізюмського лісгоспу (нині – Ізюмське надлісництво філії «Слобожанський лісовий офіс» ДП «Ліси України») у 31-річних культурах в умовах свіжого субору (В₂) на площі 0,81 га в трьох варіантах у триразовій повторності. Дослід закладено на двох варіантах іншого досліді – з дослідження прочищень, проведених у 17-річних культурах лінійно-селективним способом із суцільним вирубуванням дерев у кожному п'ятому або сьомому рядах і зріджуванням у залишених кулісах.

Рельєф ділянки досліді – середньоширокогорбкуватий. Ґрунти – дерново-борові залізисті, слабо- і середньорозвинені, у зниженнях – сильнорозвинені.

Площа кожної з п'яти дослідних секцій становить 0,04–0,06 га. Культури створено у 1952 р. на зрубі після суцільного корчування пнів і суцільної оранки за схемою розміщення садивних місць 1,5 × 0,67 м (початкова густота – 10 тис. екз. на 1 га). За культурами до 5-річного віку проводили догляди: ручний – у рядах і механізований – у міжряддях.

Загалом у насадженнях на досліді проведено одне прочищення в 17 років, одне проріджування в 31 рік і одну прохідну рубку в 50 років (табл. 1).

Таблиця 1

Інтенсивність рубок і природний відпад у штучних соснових насадженнях

Table 1

Intensity of cleaning and mortality of the pine stands

Показники Characteristics	Номери секцій Section numbers				
	1	9	5	2	6
Інтенсивність прочищення в 17 років за кількістю стовбурів, % Intensity of cleaning at 17 years old by stem numbers, %	75,0	74,1	73,2	70,4	72,2
Інтенсивність прочищення в 17 років за запасом, % Intensity of cleaning at 17 years old by volume, %	40,8	34,1	39,6	37,4	39,1
Інтенсивність проріджування в 31 рік за кількістю стовбурів, % Intensity of thinning at 31 years old by stem numbers, %	6,7	41,6	22,0	52,8	53,9
Інтенсивність проріджування в 31 рік за запасом, % Intensity of thinning at 31 years old by volume, %	1,6	18,2	7,6	27,5	30,2
Інтенсивність прохідної рубки в 50 років за кількістю стовбурів, % Intensity of thinning at 50 years old by stem numbers, %	–	19,1	26,2	43,9	37
Інтенсивність прохідної рубки в 50 років за запасом, % Intensity of thinning at 50 years old by volume, %	–	8,2	12,1	27,7	22,1

Продовження табл. 1

Table 1 (Continued)

Показники Characteristics	Номери секцій Section numbers				
	1	9	5	2	6
Природний відпад після проведення прохідної рубки за період 50–57 рр. Mortality after thinning for the period of 50–57 years					
Кількість дерев, екз.·га ⁻¹ Number of trees, stems·ha ⁻¹	250	0	134	22	0
Запас, м ³ ·га ⁻¹ Volume, m ³ ha ⁻¹	15,0	0,0	9,4	2,0	0,0
Запас, % від запасу деревостану Volume, % of stand volume	4,0	0,0	3,0	0,8	0,0

Першу рубку догляду – прочищення – проведено лінійно-селективним способом у 17-річних культурах: суцільне вирубування дерев у кожному п'ятому (секція 9) та сьомому рядах (секції 1, 2, 5, 6) і відсталих у рості дерев у чотири- та шестирядних кулісах. Інтенсивність рубок була високою та дуже високою: на секції 9 – за кількістю стовбурів – 59 %, за запасом – 30 %, на решті секцій – 67 % за кількістю стовбурів і 35 % за запасом. До проведення першої рубки догляду – прочищення – насадження мали густоту (N) 10 тис. екз.·га⁻¹, середню висоту (H) 4,7 м, середній діаметр (D) 4,0 см, запас (M) 59,1 м³·га⁻¹. Після зріджувань густота на секціях 1, 2, 5, 6 становила 3,6 тис. екз.·га⁻¹, запас – 38,2 м³·га⁻¹, на секції 9 – 3,9 тис. екз.·га⁻¹ та 42,2 м³·га⁻¹ відповідно. На всіх секціях дослідів середня висота насаджень становила 5,8 м, середній діаметр – 5,5 см.

Другу рубку догляду – проріджування – проведено в 31-річному віці. На секціях 1 і 5 інтенсивність проріджувань була низькою: 7–22 % за кількістю стовбурів та 1–8 % – за запасом. На секції 9 вона була помірною: 42 % – за кількістю стовбурів і 18 % – за запасом, на секціях 2 і 6 – високою: 53–54 і 28–30 % відповідно (Манойло, 2006). Після рубки густота деревостану за низької інтенсивності зріджування становила 2,2–2,5 тис. екз.·га⁻¹; за помірної – 1,5–1,6 тис. екз.·га⁻¹, за високої – 1,2 тис. екз.·га⁻¹ (табл. 2, рис. 1).

Третю рубку догляду – прохідну рубку – проведено в 50-річних насадженнях. На секціях 9 і 5 було застосовано рубку низької інтенсивності – 19 і 26 % за кількістю стовбурів та 8 і 12 % за запасом відповідно, на секції 6 – помірної інтенсивності – 37 % за кількістю стовбурів і 22 % за запасом, на секції 2 – високої інтенсивності – 44 % і 28 % відповідно (див. табл. 1). Після проведення прохідної рубки для подальшого росту залишили певну кількість дерев – від 1,4 до 0,7 тис. екз. на 1 га. На секції 1 із густотою деревостану близько 2,0 тис. екз.·га⁻¹ прохідну рубку не проводили, тому цю секцію взято за контроль.

Обліки в насадженнях проводили із визначенням категорій санітарного стану дерев (*Sanitary Forests Regulations in Ukraine*, 2016). Таксаційну характеристику деревостанів визначено за загальноживаними методиками лісівництва, лісознавства й лісової таксації (Hrom, 2010; Vilous *et al.*, 2020). Ступінь диференціації дерев у насадженнях оцінювали за класифікацією Крафта: I – винятково панівні дерева, які видаються над наметом деревних крон; II – панівні, головна частина деревного намету; III – співпанівні, які входять до загального намету, але є затіненими; IV – пригнічені, досягають намету деревних крон; V – цілком пригнічені, майже позбавлені гілок; ті, що відмирають (Pogrebnyak, 1968).

Під час аналізу отриманих даних визначали не лише таксаційні показники всього насадження, а й панівної частини деревостану, яка презентована деревами I і II класів росту за Крафтом. Стійкість деревостанів до пошкоджень вітром, ожеледдю й налипанням мокрого снігу оцінювали за значенням відносної висоти насаджень, яку розраховують як відношення середньої висоти H (см) до середнього діаметра D (см) – H/D . Граничне максимальне значення H/D панівних дерев насадження, яке свідчить про стійкість деревостанів до зазначених

чинників, становить за різними оцінками від 80 до 110 (Prien *et al.*, 1985; Shinkarenko, 1990; Manoylo, 2006).

Таблиця 2

Лісівничо-таксаційні показники штучних соснових насаджень до і після проведення прохідної рубки

Table 2

Mensuration characteristics of the pine stands before and after thinning

Номер секції Section number	Показники Characteristics											
	Густота, екз. га ⁻¹ / % Density, stems ha ⁻¹ / %	Середній діаметр, см* Average diameter, cm *	Середній діаметр, % Average diameter, %	Середня висота, м* Average height, m *	Сума площ поперечних перерізів, м ² ·га ⁻¹ / % Basal area, m ² ·ha ⁻¹ / %	Запас, м ³ ·га ⁻¹ / % Volume, m ³ ·ha ⁻¹ / %	Клас бонітету Quality class	Відносна повнота Relative density of stocking	Середній клас за Крафтом Average Kraft class	Середній індекс стану Average health condition index	Відносна висота (H/D) Relative height (H/D)	Поточний приріст за період 50–57 pp., м ³ ·га ⁻¹ ·рік ⁻¹ Current annual increment for 50–57 years, m ³ ·ha ⁻¹ ·year ⁻¹
50-річне насадження до проведення прохідної рубки 50-year-old stand before thinning												
1	2068/100	14,8 ^a	-	17,1 ^a	35,7/100	315/100	II	0,85	3	-	116	-
9	1546/75	17,6 ^b	-	18,7 ^b	37,5/105	354/112	I	0,86	2	-	106	-
5	1875/91	15,6 ^a	-	16,9 ^a	35,8/100	310/99	II	0,85	3	-	108	-
2	1295/63	18,1 ^{bc}	-	18,2 ^a	33,3/93	302/96	I	0,78	2	-	101	-
6	1027/50	19,8 ^c	-	19,0 ^b	31,7/89	298/95	I	0,75	2	-	96	-
50-річне насадження після проведення прохідної рубки 50-year-old stand after thinning												
1	2068/100	14,8 ^a	-	17,1 ^a	35,7	315/100	II	0,85	3	-	116	-
9	1250/60	18,7 ^b	-	19,2 ^b	34,1	325/103	I	0,78	2	-	103	-
5	1384/67	16,9 ^c	-	17,3 ^a	31,0	272/87	II	0,74	2	-	102	-
2	727/35	20,5 ^d	-	18,7 ^a	23,8	219/70	I	0,54	1	-	91	-
6	670/32	21,9 ^d	-	19,6 ^b	24,3	232/74	I	0,54	1	-	89	-
57-річне насадження, через 7 років після проведення прохідної рубки 57-year-old stand, 7 years after thinning												
1	1818/100	16,5 ^a	100	19,1 ^a	38,7/100	371/100	II	0,90	2	2	116	8,0
9	1250/69	19,6 ^b	119	19,2 ^a	37,7/97	357/96	II	0,90	2	2	98	4,6
5	1250/69	19,0 ^b	115	18,0 ^a	35,2/91	315/85	II	0,80	2	2	95	6,1
2	705/39	22,1 ^c	134	19,8 ^a	27,0/70	259/70	II	0,60	1	2	90	5,8
6	670/37	23,4 ^c	142	20,9 ^b	28,9/75	290/78	I	0,60	2	2	89	8,2

*Різні літери свідчать, що різниця між середніми показниками є статистично значущою, а однакові – що різниця є статистично незначущою.

*Different letters indicate that the difference between the means is statistically significant, while the same letters indicate that the difference between the means is not statistically significant.

Результати досліджень проаналізовано з використанням методів варіаційної статистики та графічного відображення й аналізу даних (Horoshko *et al.*, 2004). Статистичну обробку даних проведено за допомогою дисперсійного аналізу ANOVA з використанням критерію вірогідної різниці групових середніх Тьюкі (Honestly Significant Difference) для середніх діаметрів і Ман-Уїтні – для середніх висот деревостанів (Hammer *et al.*, 2001). Критичний рівень значущості під час перевірки статистичних гіпотез у дослідженні брали рівним 0,05.

Результати. Результати досліджень, отримані за 26-річний період спостережень, свідчать, що динаміка показників росту, продуктивності, стану та диференціації насаджень сосни на ділянках досліді значною мірою визначалися інтенсивністю та повторюваністю зрідження й густотою деревостану після рубки.

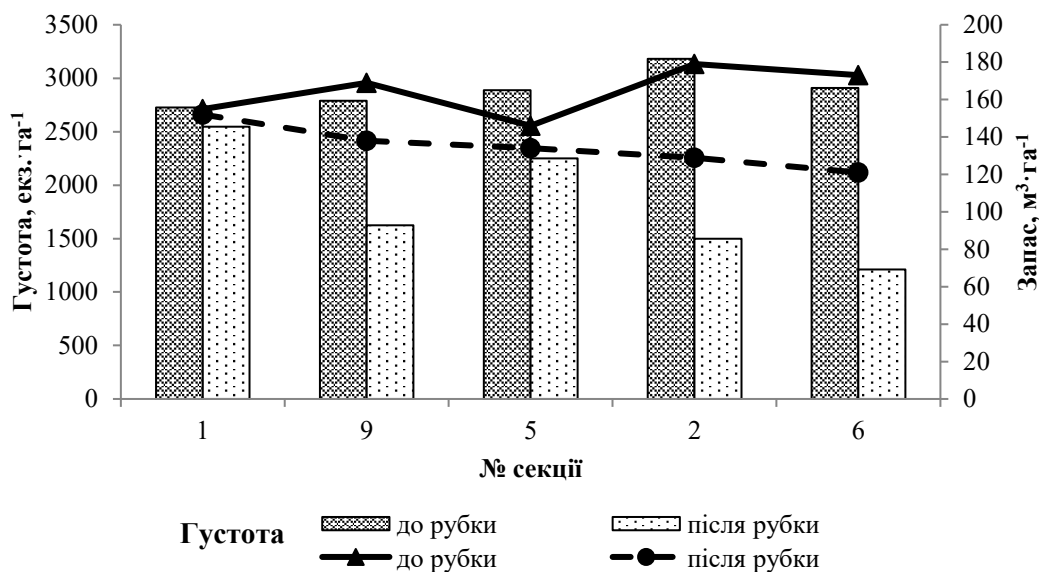


Рис. 1 – Динаміка густоти та запасу 31-річних соснових деревостанів у різних варіантах до і після проведення проріджувань

Fig. 1 – Density and volume dynamics for 31-year-old pine stands in different experimental treatments before and after the thinning

До проведення прохідної рубки у 50-річному віці (через 19 років після проведення проріджувань) у різних варіантах досліді в міру зменшення густоти деревостанів від 2 068 (секція 1) до 1 027 екз. га⁻¹ (секція 6) запаси (M) варіювали в діапазоні 354–298 м³·га⁻¹, середні діаметри (D) – від 14,8 до 19,8 см, середні висоти (H) – від 16,9 до 19,0 м, а суми площ поперечних перерізів (G) – в діапазоні 37,5–31,7 м²·га⁻¹ (рис. 2).

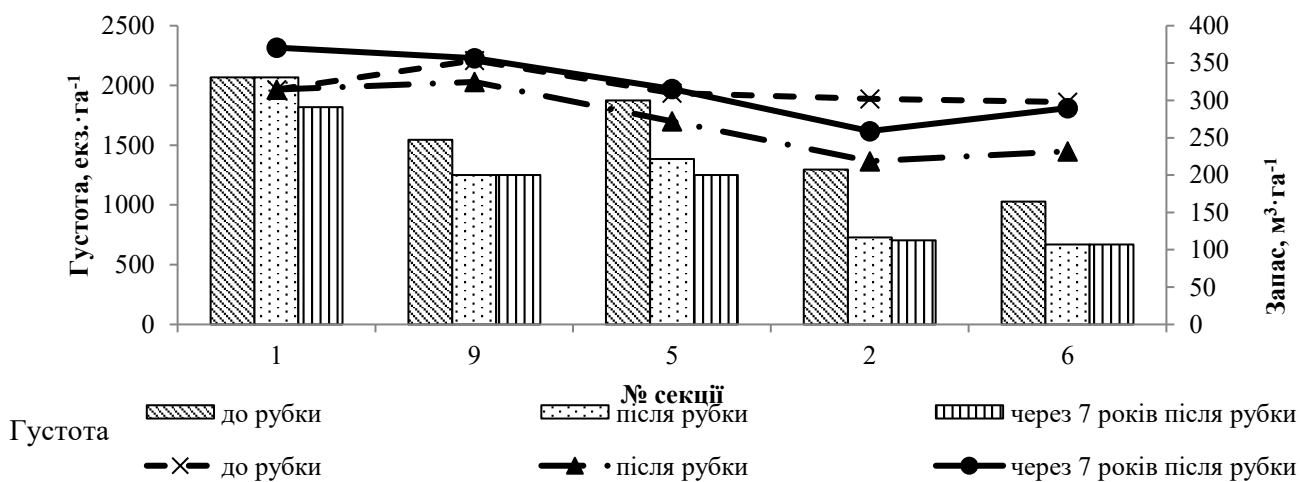


Рис. 2 – Динаміка густоти та запасу соснових деревостанів за варіантами до та після проведення прохідної рубки

Fig. 2 – Density and volume dynamics for pine stands in different experimental treatments before and after thinning

Результати досліджень, проведених у 57-річних насадженнях, свідчать, що діапазон густоти деревостанів у різних за режимами рубок догляду варіантах досліді становив 1 818–670 екз. га⁻¹, середній діаметр – 16,5–23,4 см, середня висота – 18,0–20,9 м, сума площ поперечного перерізу – 38,7–27,0 м²·га⁻¹, запас – 371–259 м³·га⁻¹, відносна повнота – 0,9–0,6, відносна висота (H/D) – 116–89. Насадження майже всіх секцій росли за II класом бонітету

та лише на секції 6 – за I. За санітарним станом деревостани на всіх секціях оцінено як ослаблені – 2. Поточний приріст за 7-річний період після проведення прохідної рубки варіював від 8,2 до 4,6 м³·га⁻¹·рік⁻¹ (див. табл. 2, рис. 2).

Упродовж зазначеного терміну в найгустіших насадженнях секцій I (контроль) і 5 відбувався доволі інтенсивний природний відпад, який становив за кількістю дерев 250 і 134 екз.·га⁻¹, за запасом – 15,0 і 9,4 м³·га⁻¹ відповідно. На варіанті із високою інтенсивністю зрідження (секція 2) всохло лише одне дерево (22 екз.·га⁻¹). На решті варіантів відпаду не відбувалося (див. табл. 1).

Кількість дерев панівної частини 57-річних насаджень (дерев I і II класів росту за Крафтом) у міру зменшення густоти деревостану варіює в діапазоні 512–301 екз.·га⁻¹, показники середнього діаметра – від 18,7 до 23,5 см, середньої висоти – від 19,5 до 20,9 м, суми площ поперечних перерізів – 25–30 м²·га⁻¹, запасу – в діапазоні 267–271 м³·га⁻¹ (табл. 3).

Таблиця 3

**Таксаційні показники панівної частини (I і II класів росту за Крафтом)
57-річних штучних соснових насаджень через 7 років після проведення прохідної рубки**

Table 3

**Mensuration characteristics of the dominant trees (I and II Kraft classes)
in 57-year-old pine stands 7 years after thinning**

Показники Characteristics	Номер секції Section number				
	1	9	5	2	6
Кількість дерев I–II класів росту за Крафтом, екз.·га ⁻¹ Number of trees of I–II Kraft classes, stems·ha ⁻¹	512	428	324	352	301
Середній діаметр, см* Average diameter, cm*	18,7 ^a	21,1 ^b	22,4 ^c	22,1 ^c	23,5 ^d
Середня висота, м* Average height, m*	19,5 ^a	19,5 ^a	19,5 ^a	19,8 ^a	20,9 ^a
Відносна висота Relative height (H/D) (H/D)	103	94	85	94	92
Запас, м ³ ·га ⁻¹ Volume, m ³ ·ha ⁻¹	267	290	231	259	271
Сума площ поперечного перерізу, м ² ·га ⁻¹ Basal area, m ² ·ha ⁻¹	28	30	25	27	27

*Різні літери свідчать, що різниця між середніми показниками є статистично значущою, а однакові – що різниця є статистично незначущою.

*Different letters indicate that the difference between the means is statistically significant, while the same letters indicate that the difference between the means is not statistically significant.

Обговорення. Під час аналізу результатів дослідження впливу рубок догляду важливо враховувати ефективність не лише проведення окремих рубок догляду, а їхньої системи, оскільки кожне зріджування різною мірою впливає на особливості росту й формування насаджень у майбутньому. Важливо зазначити, що очищення, проведені у 17-річних насадженнях лінійно-селективним способом із суцільним видаленням дерев у кожному сьомому ряду та у кожному п'ятому ряду, однаковою мірою вплинули на показники росту, запас і формування насаджень на обох варіантах досліду: суттєвої різниці між ними через 14 років не було виявлено (Manoylo, 2006). Тому проріджування проводили в подібних за таксаційними показниками 31-річних насадженнях.

Зважаючи на те, що насадження сосни на дослідній ділянці від стадії молодняків до середньовікових вирощували в режимах різної густоти, важливими є результати обліків 50-річних культур до проведення прохідної рубки в різних варіантах досліду, тобто через 19 років після проведення проріджувань. Згідно з отриманими даними (див. табл. 2, рис. 1, 2) поступове збільшення інтенсивності проріджувань – від низької (секція 1) до дуже високої (секція 6) – різною мірою вплинуло на зменшення запасів і сум площ поперечного перерізу насаджень, проте їхні значення до 50-річного віку стали майже однаковими на всіх варіантах. Різниця між показниками запасу становила 1–16 %, а між показниками суми площ поперечного перерізу – 5–11 %, сягаючи максимального значення у варіанті з проведенням

проріджувань помірної інтенсивності з вилученням 18 % запасу деревостану (секція 9). Ці дані збігаються з результатами багаторічних досліджень Linkevičius *et al.* (2023), які зазначають, що інтенсивне зріджування в молодняках сосни сприяло збільшенню приросту за запасом. Найбільший приріст за запасом відбувався в густішому насадженні сосни на контрольній ділянці, що призвело до нагромадження тут найбільшого поточного запасу. Проте автори зауважують, що збільшення інтенсивності зріджування та ознаки стабілізації росту в контрольних насадженнях не можуть гарантувати їм збереження найвищої продуктивності та сумарного запасу в майбутньому.

У міру збільшення інтенсивності зрідження вірогідно на 5 % рівні значущості збільшилися середній діаметр і висота деревостанів. Відносна повнота насаджень досягла 0,8–0,9.

Так, через 19 років після проведення проріджувань густота деревостану на різних варіантах дослідів різнилася на 9–50 %. У зріджених різною мірою деревостанах, порівнюючи з контролем (секція 1), середній діаметр був вищим на 5–34 %, середня висота – на 6–11 %. Загалом ці висновки узгоджуються з результатами багатьох інших досліджень. Так, del Río *et al.* (2017) стверджують, що зріджування високої інтенсивності сприяє збільшенню середнього діаметра насаджень, хоча автори визнають, що частина цього збільшення зумовлена видаленням тонших дерев. Такий самий вплив зріджування на середній діаметр виявили Montero *et al.* (2017), Mäkinen and Isomäki (2004), Nilsson *et al.* (2010), Linkevičius *et al.* (2023) та інші. Існують і суперечливі результати щодо впливу зріджування на показник середньої висоти (Mäkinen and Isomäki, 2004). За даними цих авторів, вплив густоти насаджень на значення середньої висоти виявився незначним. Результати досліджень Linkevičius *et al.* (2023) показали, що незначне зменшення густоти насаджень сприяє збільшенню середньої висоти, але зріджування високої інтенсивності призводить до зниження середньої висоти сосни звичайної. Негативний вплив високої густоти на середню висоту насаджень також відзначають Burkhardt and Tomé (2012).

Вирощені у зрідженому стоянні штучні соснові деревостани не лише не поступалися густішим за стійкістю до фізичних навантажень, але й перевершували їх, про що свідчить значення відносної висоти (H/D). Так, на варіантах із низькою інтенсивністю проріджувань (секції 1, 5) відносна висота становила 116–108, що свідчить про загущеність деревостанів. На варіанті з помірною інтенсивністю зрідження (секція 9) показник H/D зменшився до 106, а на варіантах із високою інтенсивністю зрідження (секції 2, 6) – до 96–101. Подібні результати отримали І. Б. Шинкаренко і В. О. Манойло, досліджуючи інтенсивність проріджувань в Ізюмському бору (Shinkarenko, 1990; Manoylo, 2006).

У 50-річних насадженнях у цьому досліді, окрім секції 1, проведено прохідну рубку інтенсивністю від низької до високої. Оскільки експериментальну рубку проведено переважно низовим методом, інтенсивність зріджування за кількістю стовбурів була значно більшою, ніж за запасом (див. табл. 1). Відносна повнота насаджень після проведення рубки низької інтенсивності зменшилася на 0,1, а після помірної та високої – на 0,2. Найбільшим запасом характеризувався варіант із низькою інтенсивністю рубок (секція 9). Перевершення зростало у міру збільшення інтенсивності рубок та зменшення густоти деревостанів на 3–33 %. Висоти та діаметри середніх дерев збільшилися у міру зростання інтенсивності рубок. Відносна висота насаджень на варіантах із низькою інтенсивністю рубок (секції 5, 9) зменшилася до 103–102, а з помірною та високою інтенсивністю – до близько 90 (див. табл. 2).

Наведені в таблиці 2 дані свідчать, що через сім років після проведення прохідної рубки наявний запас і сума площ поперечного перерізу 57-річних деревостанів на варіантах дослідів були меншими на 3–30 %, порівнюючи з контрольним варіантом (деревостан без рубок, секція 1). Зважаючи на те, що частка поточного приросту за запасом має тенденцію до зростання в міру збільшення інтенсивності зріджування та зменшення густоти деревостанів, різниця між показниками запасу нівелюватиметься (рис. 3). Це узгоджується

з результатами багаторічних досліджень, отриманими в досліді проф. Б. І. Гаврилова (Tkach *et al.*, 2024).

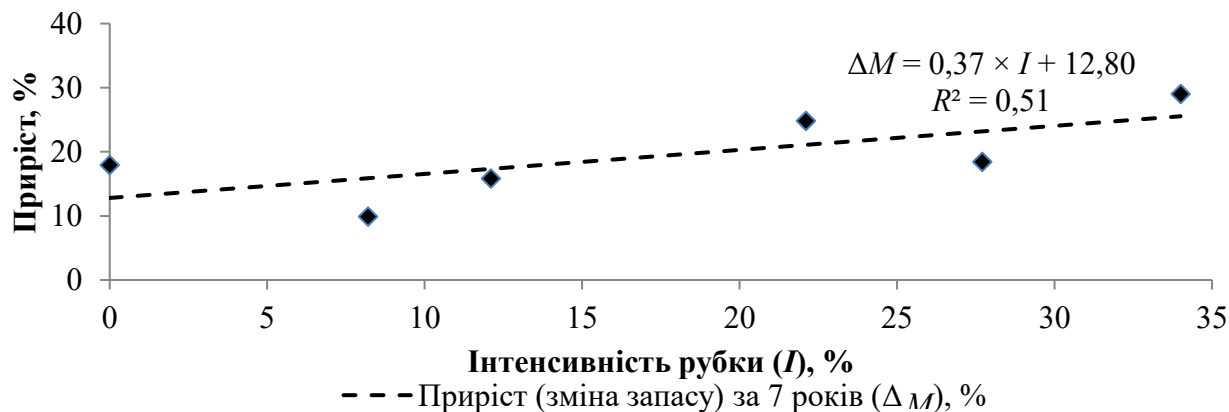


Рис. 3 – Приріст соснових насаджень за запасом через 7 років після проведення прохідної рубки залежно від її інтенсивності

Fig. 3 – Pine stand volume increment 7 years after thinning, depending on its intensity

Зростання інтенсивності зріджування призвело до збільшення середніх діаметра та висоти насаджень (рис. 4). Середні діаметри деревостанів закономірно та значуще збільшуються зі зменшенням густоти деревостану. При цьому різниця між середніми діаметрами на цих варіантах і на контролі становить 15–42 %.

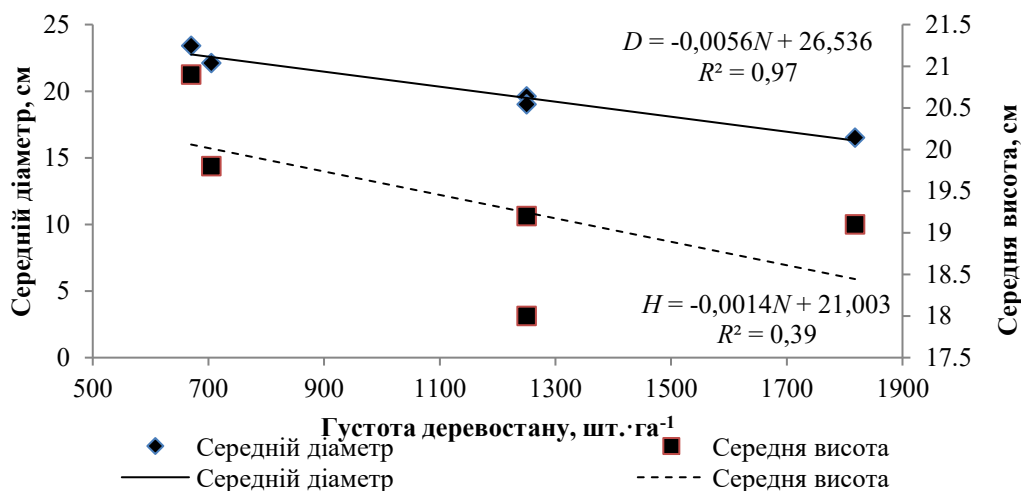


Рис. 4 – Зміна середніх висоти та діаметра 57-річних соснових насаджень залежно від густоти

Fig. 4 – Changes in average height and diameter of 57-year-old pine stands depending on the stand density

Показники середньої висоти деревостанів на варіантах дослідів в діапазоні густоти 1,8–1,3 тис. екз./га⁻¹ суттєво не різняться. Значуще більшою виявилася середня висота на варіанті з проведенням прохідної рубки помірної інтенсивності (секція 6) до густоти 0,7 тис. екз./га⁻¹, порівнюючи з іншими варіантами (див. табл. 2). Найвищим середнім діаметром характеризується також цей деревостан (секція 6), в якому було проведено прочищення дуже сивокої інтенсивності (39 %) у поєднанні з проріджуванням високої (30 %) та прохідною рубкою помірної інтенсивності (22 %).

Інтенсивніші рубки догляду посилюють стійкість насаджень до фізичних навантажень, що демонструє значення відносної висоти (H/D), яка зменшується зі зменшенням густоти деревостанів з 98 до 89 (див. табл. 2). На контролі (секція 1) із густотою деревостану 1,8 тис. екз./га⁻¹ цей показник перевищує критичне значення 110.

Протягом семи років після проведення прохідних рубок у найбільш густих до зрідження насадженнях – на контролі (секція 1) і на варіанті з низькою інтенсивністю рубок (секція 5) – відбувався значний природний відпад – 250 екз.·га⁻¹ (4 % за запасом) і 134 екз.·га⁻¹ (3 % за запасом) відповідно (див. табл. 1). Загалом санітарний стан насаджень на всіх варіантах був добрим (див. табл. 2)).

Результати аналізу панівної частини 57-річних насаджень свідчать, що зі збільшенням інтенсивності прохідної рубки та зменшенням густоти деревостанів частка дерев I і II класів росту за Крафтом збільшується від 52 до 100 %, за сумою площ поперечного перерізу – від 71 до 100 % і за запасом – від 72 до 100 % (рис. 5, 6). Навіть у найгустішому насадженні на площу поперечного перерізу і запас панівних дерев припадає більше половини відповідних показників усього насадження.

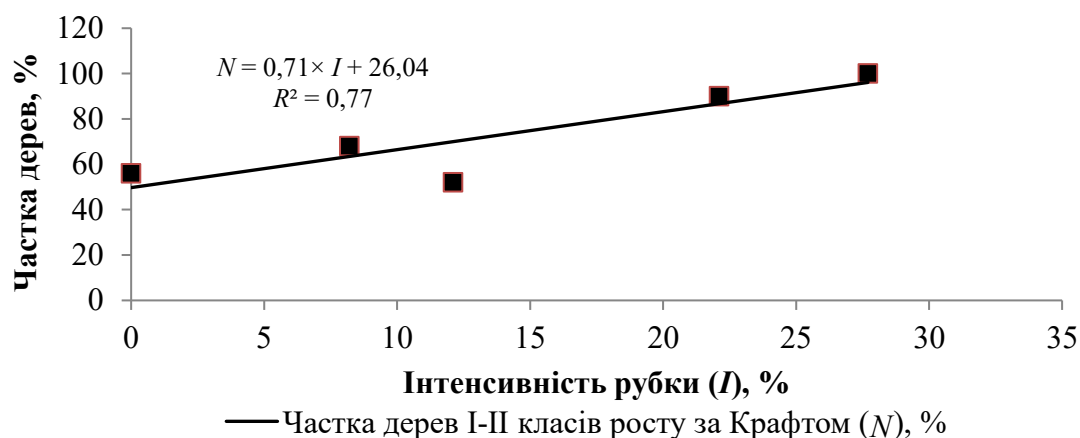


Рис. 5 – Частка кількості дерев панівної частини деревостану (I і II класів росту за Крафтом) (%) на 1 га через 7 років після проведення прохідної рубки залежно від інтенсивності зріджувань

Fig. 5 – The proportion of dominant trees (I and II Kraft classes) (%) per 1 ha 7 years after thinning, depending on thinning intensity

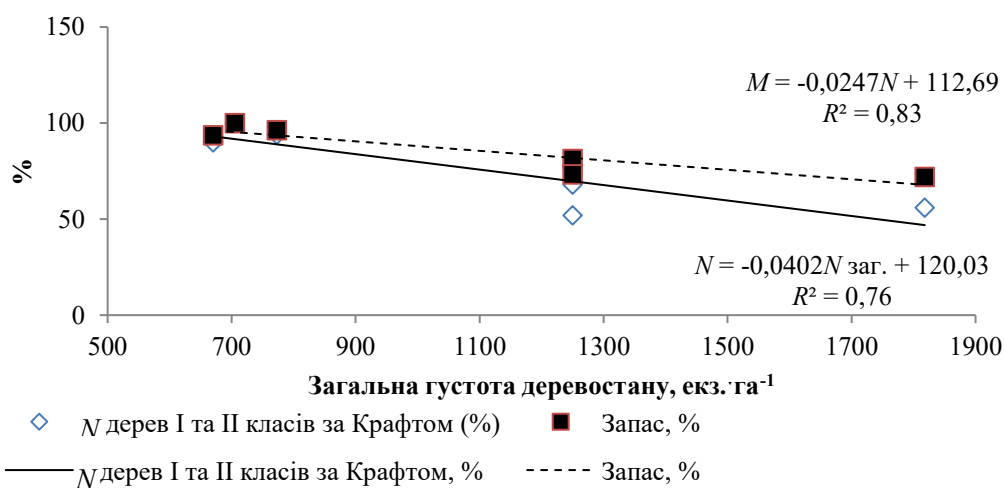


Рис. 6 – Частка кількості й запасу дерев панівної частини деревостану (I і II класів росту за Крафтом) залежно від густоти деревостану

Fig. 6 – The proportion of the number and volume of dominant trees in the stand (I and II Kraft classes) depending on the stand density

Висоти панівних дерев майже не різняться між собою, тоді як середні висоти всього деревостану мають чітку тенденцію до збільшення зі зменшенням густоти. Показник

середнього діаметра найкращих дерев зі збільшенням інтенсивності зріджування зростає від 113 % у найгустішому (секція 9) до 126 % у найбільш зрідженому деревостані (секція 6), як порівняти з контролем (секція 1).

Відносна висота (H/D) панівної частини зріджених деревостанів густотою 1,3–0,7 тис. екз.·га⁻¹ не перевищує значення 94, що демонструє високу стійкість панівних дерев до дії вітру, ожеледі та налипання мокрого снігу. На контролі (секція 1) із густотою 1,8 тис. екз.·га⁻¹ цей показник становить 103, що також є в межах норми, хоча свідчить про деяке погіршення стійкості до фізичних впливів, порівнюючи з іншими варіантами. Одержані дані свідчать, що в 57-річних насадженнях сосни зі збільшенням наявної густоти від 0,7 до 1,8 тис. екз.·га⁻¹ відбуваються погіршення росту та зменшення стійкості до фізичних впливів навіть найкращої частини деревостану.

Таким чином, результати тривалих досліджень на стаціонарних дослідних об'єктах дають змогу надати такі рекомендації щодо режимів вирощування штучних соснових деревостанів.

У Північному Степу в умовах свіжого субору у вузькорядних (ширина міжрядь – 2 м і менше) густих (близько 10 тис. екз.·га⁻¹) штучних насадженнях сосни за неможливості проведення освітлень можна проводити першу рубку – прочищення – у віці 13–17 років лінійно-селективним способом із видаленням кожного п'ятого або сьомого рядів і зріджуванням у залишених кулісах, залишаючи для подальшого росту близько 3,6 тис. дерев на га. Другу рубку – проріджування помірної або високої інтенсивності – варто проводити в 25–30 років, залишаючи 1,6–1,2 тис. дерев на га.

Першу прохідну рубку (переважно помірної інтенсивності) у таких насадженнях доцільно проводити в 50–55 років із залишенням для подальшого росту близько 0,7 тис. найкращих дерев на 1 га. Другу прохідну рубку слід проводити низької або помірної інтенсивності через 15–20 років із таким розрахунком, щоб густина насаджень становила 0,5–0,6 тис. дерев на га.

Висновки. У штучних соснових насадженнях Північного Степу можливо зменшити кількість рубок догляду, підвищивши їхню інтенсивність, за умови контролю густоти і стійкості насаджень на всіх етапах. Важливо враховувати густоту насаджень після проведення рубок догляду, щоб підтримувати оптимальну площу живлення дерев. Менш часті, проте інтенсивні рубки зменшують кількість механічних втручань, сприяють швидшому формуванню стійких і продуктивних деревостанів. Водночас інтенсивність рубок догляду має ґрунтуватися на фактичному стані насаджень, щоб уникнути надмірного зрідження та втрати їхньої стійкості до вітро- і сніговалів, вітро- і сніголамів та шкідників. Такий підхід створює сприятливі умови для індивідуального росту й розвитку залишених дерев і формування здорового та стійкого насадження. Проведення проріджувань помірної (18 % за запасом) та високої інтенсивності (28–30 % за запасом) до густоти 1,6–1,2 тис. екз.·га⁻¹ сприяло збільшенню середнього діаметра соснових насаджень на 5–34%, середньої висоти на 6–11 % та підвищенню стійкості до фізичних впливів (зниженню відносної висоти H/D до 96–101), суттєво не впливаючи на запас деревостанів. Проведення прохідної рубки помірної та високої інтенсивності (22–28 % запасом) до густоти близько 1,0–0,7 тис. екз. на 1 га дало змогу збільшити середній діаметр на 33–42% та підвищити стійкість насаджень (відносна висота H/D зменшилася до 89–96), не призводячи до втрат загального запасу в довгостроковій перспективі.

Результати досліджень слід використовувати під час формування нормативних документів з господарювання в штучних соснових лісах.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами в межах виконання тем УкрНДІЛГА, замовником яких було Державне агентство лісових ресурсів України (№ держреєстрації 0120U101888 та 0125U001779).

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Bilous, A.M., Kashpor, S.M. and Myroniuk V.V. (2020) *Forest Inventory Handbook*. Dnipro: Lira (in Ukrainian).

- Burkhardt, H.E. and Tomé, M. (2012) 'Quantifying Stand Density', in *Modeling Forest Trees and Stands*, Eds.; Springer: Dordrecht, pp. 175–200. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3170-9_8
- David, H.C., Péllico Netto, S., Arce, J.E., Woycikiewicz, A.P.F., Araújo, E.J.G. and Miranda, R.O.V. (2018) 'Intensive management for optimizing the production of high-value logs of pine forests in southern Brazil', *Ciência Florestal*, 28(3), pp. 1303–1316. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509833352>
- del Río, M., Bravo-Oviedo, A., Pretzsch, H., Löf, M. and Ruíz-Peinado, R. (2017) 'A review of thinning effects on Scots pine stands: From growth and yield to new challenges under global change', *Forest Systems*, 26 (2), eR03S. <https://doi.org/10.5424/fs/2017262-11325>
- Ganbaatar, B., Jamsran, T., Gradel, A. and Sukhbaatar G. (2021) 'Assessment of the effects of thinnings in Scots pine plantations in Mongolia: a comparative analysis of tree growth and crown development based on dominant trees', *Forest Science and Technology*, 17 (3), pp. 135–143. <https://doi.org/10.1080/21580103.2021.1963326>
- Gizachew, B. and Brunner, A. (2011) 'Density-growth relationships in thinned and unthinned Norway spruce and Scots pine stands in Norway', *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26 (6), pp. 543–554. <https://doi.org/10.1080/02827581.2011.611477>
- Hammer, O., Harper, D.A.T. and Ryan, P.D. (2001) 'PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis', *Palaeontologia Electronica*, 4, pp. 1–9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Horoshko, M.P., Miklush, S.I. and Khomyuk, P.G. (2004) *Biometrics*. Lviv: Kamula (in Ukrainian).
- Hrom, M.M. (2010) *Forest mensuration*. Lviv: RVV NLTU (in Ukrainian).
- Linkevičius, E., Šilinskas, B., Beniušienė, L., Aleinikovas, M. and Kliucius, A. (2023) 'The growing dynamic of pure Scots pine stands using different thinning regimes in Lithuania', *Forests*, 14, 1610. <https://doi.org/10.3390/f14081610>
- Mäkinen, H. and Isomäki, A. (2004) 'Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland', *Forest Ecology and Management*, 201(2), pp. 311–325. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.016>
- Manoilo, V.O., Shynkarenko, I.B., Tarnopilska, O.M. and Lukyanets, V.A. (2004) 'The influence of different methods of clear-cutting on the condition and productivity of pine crops in the Northern Steppe', *Forestry and Forest Melioration*, 107, pp. 79–84 (in Ukrainian).
- Manoylo, V.O. (2006) *Pine forests of steppe-side of Leftbank Ukraine and optimization of their cultivation*. PhD thesis. Kharkiv: URIFFM (in Ukrainian).
- Montero, G., Cañellas, I., Ortega, C. and del Río, M. (2001) 'Results from a thinning experiment in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration stand in the Sistema Ibérico Mountain Range (Spain)', *Forest Ecology and Management*, 145, pp. 151–161.
- Moulinier, J., Brais, S., Harvey, B.D. and Koubaa, A. (2015) 'Response of boreal Jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) stands to a gradient of commercial thinning intensities, with and without N fertilization', *Forests*, 6(8), pp. 2678–2702. <https://doi.org/10.3390/f6082678>
- Nilsson, U., Agestam, E., Ekö, P.-M., Elfving, B., Fahlvik, N., Johansson, U., Karlsson, K., Lundmark, T. and Wallentin, C. (2010) 'Thinning of Scots pine and Norway spruce monocultures in Sweden', *Studia Forestalia Suecica*, 219. Swedish University of Agricultural Sciences: Umeå, Sweden. ISBN 978-91-86197-76-6.
- Pogrebnyak, P.S. (1968) *General forestry*. Moscow: Kolos (in Russian)
- Prien, S., Gartner, S., Wenk, G. and Otto, L. (1985) 'Dispositionen faktoren für Schneeschaden – Erkenntnisstand. Probleme Folgerungen', *Sozialistische Forstwirtschaft*, 5, pp.129–160 (in German).
- Ryabokon, A.P. (1991) 'Thirty years' experience of growing pine crops with different placement schemes', *Lesovedenie*, 5, pp. 3–13 (in Russian).
- Ryabokon, O.P. (2010) *Forest qualimetry*. Kharkiv: Nove slovo (in Ukrainian).
- Sanitary Forests Regulations in Ukraine*. (2016). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No 756 dated 26 October 2016. Available at: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/555-95-%D0%BF> (Accessed 10 September 2025) (in Ukrainian).
- Savich, Yu.N., Ovsyankin, V.N. and Poluboyarinov, O.I. (1978) 'About growth, productivity and resilience of pine stands established at different planting density', *Scientific Works of UkrSKHA*, 213, pp. 27–38 (in Ukrainian).
- Sendonin, S.E. (2015) 'Application of different methods and intermediate cuttings intensities and their influence on the pine stands formation', *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 219, pp. 98–103 (in Ukrainian).
- Shinkarenko, I.B. (1990) 'The productivity of artificial pine forests in connection with tending felling and the prerequisites for their instability to wind and snow', *Forestry and Forest Melioration*, 80, pp. 53–58 (in Russian).
- Shinkarenko, I.B. and Dziedzyulia, A.A. (1983) *Optimisation of density regimes in targeted pine cultivation*. Review information. Forestry and Forest Science. Moscow: TsBNTI leskhov (in Russian).
- Tarnopilska, O.M. (2014) 'Dynamics of indexes and relative productivity of crowns of artificial Scots pine stands in different density regimes in Steppe zone', *Forestry and Forest Melioration*, 125, pp. 53–63 (in Ukrainian).
- Tarnopilska O.M. (2015). The effect of different tending felling regimes on growth, productivity and merchantable structure of artificial pine stands in Izyum pine forest', *Scientific Bulletin of UNFU*, 25(5), pp. 100–106 (in Ukrainian).

- Tarnopilska, O.M., and Ilchenko, S.V. (2011) 'Influence of commercial thinning on growth, productivity and commercial value of pine plantations', *Forestry and Forest Melioration*, 118, pp. 105–110 (in Ukrainian).
- Tarnopilska O., Musienko S., Lyalin O., Tkach L. and Babenko V. (2018) 'The effect of alternative thinning regimes on growth and stability of Scots pine plantations in Southern forest-steppe in Ukraine', *Forestry Ideas*, 1(55), pp. 51–72.
- Tkach, V.P., Tarnopilska, O.M., Ilchenko, S.V., Tarnopilskyi, P.B., Kobets, O.V., Lukyanets, V.A. and Rumiantsev, M.H. (2023) 'The impact of growing regimes for planted scots pine stands on the quality characteristics of the tree trunk phytomass components in the left-bank part of the Northern Steppe of Ukraine', *Forestry and Forest Melioration*, 142, pp. 35–46 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.143.2023.30>
- Tkach, V., Tarnopilska, O., Luk'yanets, V., Musienko, S., Kobets, O., Rumiantsev, M. and Bondarenko, V. (2024) 'Density optimisation of pine plantations in the Left-Bank Steppe in Ukraine', *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 66(2), pp. 104–117. <https://doi.org/10.2478/ffp-2024-0009>
- Tkachuk, V.I., Havrylenko, A.P. and Tarnopilskyi, P.B. (2003) 'Targeted cultivation of Scots pine forest plantations in Polissia', *Proceedings of the Forest Academy of Sciences of Ukraine*, 2, pp. 58–51 (in Ukrainian).
- Węgiel, A., Bembenek, M., Łacka, A. and Mederski, P. (2018) 'Relationship between stand density and value of timber assortments: a case study for Scots pine stands in north-western Poland', *New Zealand Journal of Forestry Science*, 48, 12. DOI: [10.5902/1980509833352](https://doi.org/10.5902/1980509833352)
- Zhukovskiy, O.V. (2015) 'The growth and performance of experimental Scots pine plantations with different density' *Scientific Bulletin of UNFU*, 25(10), pp. 109–113. <https://doi.org/10.15421/40251016>

SILVICULTURAL EFFICIENCY OF CULTIVATION REGIMES FOR ARTIFICIAL PINE STANDS IN THE NORTHERN STEPPE OF UKRAINE

Tarnopilska O. M.^{1*}, Musienko S. I.², Lukyanets V. A.³, Kobets O. V.⁴

An analysis of mensuration characteristics, stand resilience, and condition of planted pine stands over a 26-year period was conducted in a thinning experiment in the Northern Steppe of Ukraine, using the Izyum steppe forest as a case study. The results demonstrate that, in artificial pine stands, the number of thinning operations can be reduced by increasing thinning intensity, provided that stand density and resilience are carefully monitored throughout all development stages. Moderate thinning (18% of stand volume) and heavy thinning (28–30% of stand volume), reducing stand density to 1,600–1,200 stems·ha⁻¹, resulted in increases in mean stand diameter by 5–34% and mean height by 6–11%, and enhanced resistance to physical stress, as indicated by a reduction in the relative slenderness ratio (H/D) to 96–101, without a significant decrease in total stand volume. Moderate and heavy thinning (22–28 % of stand volume), reducing stand density to approximately 1,000–700 stems·ha⁻¹, led to an increase in mean diameter by 33–42% as well as the stand resilience (H/D reduced to 89–96), while maintaining total stand volume over the long term.

Key words: *Pinus sylvestris* L., stand tending felling intensity, stand mensuration characteristics, health condition index, relative slenderness ratio.

Дата надходження рукопису 06.10.2025

Дата прийняття до друку 05.11.2025

Дата публікації 29.12.2025

¹ Tarnopilska Oksana, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: tarnoks@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4810-8892>

² Musiyenko Serhiy, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: musienkosergij_les@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6581-2670>

³ Lukyanets Volodymyr, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: lukyanetc52@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3427-4240>

⁴ Kobets O. V., PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: alexei_kobec@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0712-8827>

* Correspondence: tarnoks@ukr.net