

ISSN 2226-0099

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Херсонський державний аграрний університет»



Таврійський науковий вісник

Сільськогосподарські науки

Випуск 110

Частина 2



Видавничий дім
«Гельветика»
2019

*Рекомендовано до друку вченою радою ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»
(протокол № 5 від 24.12.2019 року)*

Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Вип. 110. Частина 2. – Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2019. – 250 с.

«Таврійський науковий вісник» входить до Переліку фахових видань, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора та кандидата наук у галузі сільськогосподарських наук, на підставі Наказу МОН України від 21 грудня 2015 року № 1328 (Додаток № 8).

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 23212-13052ПР від 22.03.2018 року.

Редакційна колегія:

Аверчев Олександр Володимирович – проректор з наукової роботи та міжнародної діяльності ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет», д.с.-г.н., професор – головний редактор

Вожегова Раїса Анатоліївна – директор Інституту зрошувального землеробства НААН України (м. Херсон), д.с.-г.н., професор, член-кор. НААН, заслужений діяч науки і техніки України

Ушкаренко Віктор Олександрович – завідувач кафедри землеробства ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет», д.с.-г.н., професор, академік НААН

Шахман Ірина Олександрівна – доцент кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет», к.географ.н., доцент

Домарацький Євгеній Олександрович – доцент кафедри рослинництва, генетики, селекції та насінництва ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет», д.с.-г.н., доцент

Лавренко Сергій Олегович – доцент кафедри землеробства ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет», к.с.-г.н., доцент

Лавриненко Юрій Олександрович – заступник директора з наукової роботи Інституту зрошувального землеробства НААН України (м. Херсон), д.с.-г.н., професор, чл.-кор. НААН

Коковихін Сергій Васильович – заступник директора Інституту зрошувального землеробства НААН України, д.с.-г.н., професор

Рахметов Джамал Бахлулович – завідувач відділу нових культур Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка Національної академії наук України, д.с.-г.н., професор

Србіслав Денчіч – член-кор. Академії наук і мистецтв та Академії технічних наук Сербії, д.ген.н., професор (Сербія)

Осадовский Збигнев – ректор Поморської Академії, д.біол.н., професор (Слупськ, Польща)

УДК 630*53:630*423.3-4

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-2.21>

МОДЕЛЮВАННЯ ГУСТОТИ ШТУЧНИХ СОСНЯКІВ, СТІЙКИХ ДО ПОШКОДЖЕНЬ ТВЕРДИМИ ОПАДАМИ, В СТЕПУ УКРАЇНИ

Головащенко М.Ф. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства,

Херсонський державний аграрний університет

У статті висвітлюються результати досліджень щодо встановлення шляхом моделювання оптимальної густоти штучних сосняків, за якої вони будуть стійкими до пошкодження твердими опадами (мокрим снігом, ожеледдю).

Завданням досліджень було розробити математичну модель вирощування насаджень сосни II–IV класів, стійких до пошкодження твердими опадами. Матеріалом для розробки моделей густоти штучних сосняків, стійких до пошкодження твердими опадами, послугували тривалі (до 30 років) спостереження на постійних дослідках з густоти садіння та рубок догляду в Ізюмському пристеповому бору (ДП «Ізюмське ЛГ») та на Нижньодніпровських пісках (Дослідне лісництво Степового філіалу УкрНДЛГА), які проводились за загальноприйнятими в лісівництві та лісовій таксації методиками.

Оскільки сосна звичайна і кримська децю відрізняються за вимогливістю до ґрунту, тіневитривалістю та динамікою росту (перша менш вибаглива до багатства ґрунтів, децю світлолюбніша та росте інтенсивніше до віку 30 років), то моделювання динаміки густоти деревостанів, стійких до пошкодження твердими опадами, проводилося окремо для вказаних видів сосни.

Шляхом проведення множинного кореляційно-регресійного аналізу встановлено, що в насадженнях між максимальною відносною висотою дерев, висотою крапців дерев і середньоквадратичною відстанню між деревами є досить тісний зв'язок, бо множинні коефіцієнти кореляції по сосні звичайній та кримській дорівнюють 0,81 та 0,85.

На підставі розроблених моделей обраховано динаміку оптимальної густоти штучних сосняків II–IV класів віку, за якої вони будуть стійкими до пошкодження твердими опадами. Для штучних сосняків з широкими міжряддями (2,5–3,0 метри) тачасним початком зрідження наведено в графічному вигляді верхню і нижню межі густоти штучних насаджень сосни звичайної і кримської II–IV класів віку, за яких їх деревостани будуть стійкими до пошкодження твердими опадами.

Щоб визначити оптимальну густоту конкретного насадження, за якої воно буде стійким до пошкодження твердими опадами, необхідно визначити в натурі верхню висоту (середню висоту 500 передомінуючих дерев на 1 гектарі) та фактичну густоту деревостану і за наведеним у статті графіком визначити, в яких межах повинна знаходитись густота, та порівняти це значення з фактичною кількістю дерев на 1 гектарі.

Ключові слова: штучні насадження, сосна звичайна, сосна кримська, модель, оптимальна густота, тверді опади, стійкість.

Holovashchenko M.F. Modeling the density of artificial pine forests resistant to damage to solid precipitations damages in the steppe of Ukraine

The article covers the results of studies on the establishment by artificial simulation of the optimal density of artificial pine trees, in which they are resistant to damage by heavy precipitation (wet snow, ice).

The purpose of the research has been to develop a mathematical model of growing pine plantations of II – IV classes of age resistant to damage by the solid precipitation. The material for the development of models of artificial pine density, resistant to damage by solid precipitation, has served as long (up to 30 years) observations on continuous planting density and felling in the Izyumskiy Pine Forest (SE "Izyumskoe LF") and in the Lower Dnieper Sands (Experimental Forestry of the Steppe Branch of UkrNDILGA), which were carried out according to conventional methods in forestry and forest taxation.

Having regard to that the ordinary pine and Crimean pine differ somewhat in soil demand, shade tolerance and by growth dynamics: the former has been less demanding of soil riches, somewhat more photophilous and grows more intensively by the age of 30, then modeling the dynamics of tree stands that are resistant to solid precipitation has been conducted separately for the abovementioned pine species.

It is established, by conducting multiple correlation-regression analysis, that in the plantations between the maximum relative height of trees, the height of the best trees and the root-mean-square distance between the trees, there is a fairly close relationship, since the multiple correlation coefficients of the ordinary pine and Crimean pine are respectively 0.81 and 0.85.

On the basis of the developed models, the dynamics of the optimal density of artificial pine trees of II – IV classes of age, at which they are resistant to damage by solid precipitation is calculated. For artificial pines with wide rows (2.5–3.0 meters) and timely start of thinning, the upper and lower limits of the density of artificial plantings of pine of the ordinary pine and Crimean pine of II – IV classes of age at which their stands are resistant to damage by solid precipitation are shown in graphical form.

In order to determine the optimum density of a specific plantation in which it will be resistant to damage by solid precipitation, it is necessary to determine in kind the upper height (average height of 500 dominant trees per 1 hectare) and the actual density of the tree stand, and according to the graph given in the article, determine the density and compare it with the actual number of trees per hectare.

Key words: artificial plantations, ordinary pine, Crimean pine, models, optimal density, solid precipitation, stability.

Постановка проблеми. У районах інтенсивного ведення лісового господарства, до яких належить і Степова зона України, головне завдання лісівників – підвищити стійкість лісів та їх здатність виконувати захисні і соціальні функції. Однак у разі випадання аномальної кількості твердих опадів (мокрого снігу, ожеледі), конкретні характеристики яких неможливо точно передбачити, насадження можуть бути істотно розладнані та навіть повністю знищені. При цьому за умов потепління клімату в Україні почастишали стихійні явища, в тому числі сильна ожеледь на (6%) і сильне налипання мокрого снігу (на 3%) [1, с. 128]. З огляду на це конче необхідне застосування системи профілактичних заходів щодо попередження небажаних наслідків прояву зазначених природних явищ, серед яких вирішальну роль відіграють науково обґрунтована густина посадки культур і регулювання густоти деревостанів за допомогою рубок догляду, засновані на моделях росту і формування цільових деревостанів.

Оскільки від густоти деревостанів залежить будова, продуктивність, якість і стійкість насаджень, то дослідженням цього таксаційного показника вчені займаються вже понад століття [2, с. 5; 3, с. 7; 4, с. 6; 5, с. 16; 6, с. 42; 7, с. 8; 8, с. 213]. Однак ці дослідження здебільшого були спрямовані на пошук економічної початкової густоти культур, маловитратних прийомів, способів і в цілому систем лісовирощування, які б включали здешевлення посадки, скорочення періоду догляду за культурами і кількості зріджень деревостанів, а також обрізку гілок для підвищення якості та комерційної цінності деревини, заготовлюваної під час рубок головного користування.

Натепер вже достатньо вивчені переваги і недоліки густих і рідких культур, але водночас поки що не розроблено науково обґрунтованої густоти насаджень сосни, за якої деревостани були б стійкі до пошкодження твердими опадами, такими як мокрий сніг, ожеледь. Тому необхідна розробка динамічної моделі густоти деревостанів сосни, спрямованої на формування їх максимально стійкими до пошкодження твердими опадами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Моделювання лісових фітоценозів дозволяє кількісні зміни показників представити у вигляді конкретних математичних моделей, тим самим підвищити ефективність масових спостережень під час наукових дослідженнях. Усвідомлене впровадження вченими методу математичного моделювання в лісове господарство в Україні і за кордоном припадає на початок XIX століття під час планування рубок головного і проміжного користування лісом, вивчення проблем лісовирощування і захисту лісу. Цей метод застосову-

вався і раніше, але з часів становлення лісової справи і до початку XIX століття не вистачало осмисленості та системності для ефективного вирішення проблем лісового господарства [9, с. 32].

Однак при зародженні лісової науки моделювання застосовувалося частіше для оцінки майбутнього економічного стану лісів (моделі ходу росту) і для створення моделей типів лісів, а потім з метою розробки методів сталого управління лісами [10, с. 26]. І тільки з 60-х років XX століття стали активно вестись дослідження зі створення моделей з урахуванням безлічі параметрів. Завдяки розвитку комп'ютерної техніки та лінійного програмування з'явилася можливість застосування методів математичного моделювання для впровадження техніки сталого управління лісами. Завдяки цьому науковцями розроблено велику кількість динамічних моделей росту і розвитку лісових насаджень (зокрема, тільки для змішаних лісів різних природних зон їх налічується 130 [11, с. 19]). Проте аналогічної моделі густоти деревостанів сосни, орієнтованої на стійкість їх до пошкодження твердими опадами, досі так і не було розроблено, хоча дослідженням цієї проблеми вчені почали займатися ще з середини XX століття.

Вченими накопичено значний (у деяких аспектах проблеми пошкодження хвойних насаджень твердими опадами і суперечливий) дослідний матеріал. Так, дослідження показали, що пошкоджуваність хвойних насаджень твердими опадами залежить від фази їх розвитку: у фазах індивідуального росту та хаші приблизно до 10-річного віку деревостани майже не пошкоджуються, але у фазі жердняку пошкоджуваність різко зростає і до 40-річного віку вона поступово знижується [12, с. 34; 13, с. 30]. Пошкоджуваність також залежить від ступеня відповідності біологічних особливостей породи типам умов місцезростання [14, с. 36]. Стосовно стійкості окремих дерев хвойних порід до пошкоджень твердими опадами з'ясовано, що вона значною мірою зумовлюється формою їх крони і стовбура [12, с. 34; 13, с. 31; 15, с. 119; 16, с. 19; 17, с. 23]. Що стосується впливу інтенсивності рубок догляду та густоти деревостанів на стійкість хвойних насаджень до пошкоджень твердими опадами, то тут дослідниками наводяться досить суперечливі результати досліджень. Так, низка авторів [15, с. 119; 18, с. 49; 19, с. 93] пропонує в якості профілактичного заходу щодо пошкоджень хвойних насаджень твердими опадами рубку догляду слабкої інтенсивності, а деревостани витримувати при помірній густоті. Інші дослідники [12, с. 35; 16, с. 20; 20, с. 166], навпаки, рекомендують для формування стійких до пошкоджень твердими опадами хвойних насаджень проводити рубки догляду сильної інтенсивності, а деревостани вирощувати рідкими.

Постановка завдання. Ефективність роботи будь-якого підприємства, в тому числі і лісового комплексу, багато в чому визначається раціональною організацією процесів виробництва. Оскільки у сфері лісовирощування дорого або неможливо експериментувати на реальному об'єкті, то для формування деревостанів із заданими характеристиками доцільне використання систем імітаційного моделювання. З огляду на це назріла необхідність розробки математичної моделі вирощування насаджень сосни II–IV класів віку, стійких до пошкодження твердими опадами. Для цього, як показало вивчення вказаного питання за літературними джерелами, краще використати метод динамічного імітаційного моделювання деревостану на рівні дерева [21, с. 28].

Матеріалом для розробки моделей густоти штучних сосняків, стійких до пошкоджень твердими опадами, послуговували тривалі (до 30 років) спостереження на постійних дослідах з густоти садіння та рубок догляду в Ізюмському пристепоному бору (ДП «Ізюмське ЛГ») та на Нижньодніпровських пісках (Дослідне

лісництво Степового філіалу УкрНДЛГА), які проводились за загальноприйнятими в лісівництві та лісовій таксації методиками [22, с. 427; 23, с. 328; 24, с. 11; 25, с. 256].

Виклад основного матеріалу дослідження. У північній частині Степової зони України хвойні насадження переважно представлені сосною звичайною (*Pinus sylvestris* L.), а в південній її частині зростає пилома сосна кримська (*Pinus pallasiana* Lamb.). Так, на Нижньодніпровських пісках насадження сосни звичайної і кримської зростають уже на досить великих площах (30,4 і 29,2 тис. га, тобто 36,5% та 35,1% від вкритої лісом площі) [26, с. 42]. Оскільки сосна звичайна і кримська дещо відрізняються за вимогливістю до ґрунту, тіневитривалістю та динамікою росту (перша менш вибаглива до багатства ґрунтів, дещо світлолюбніша та росте інтенсивніше до віку 30 років [27, с. 47]), моделювання динаміки густоти деревостанів, що стійкі до пошкоджень твердими опадами, ми провели окремо для вказаних видів сосни.

Враховуючи те, що останнім часом моделювання та оптимізацію горизонтальної структури деревостанів усе частіше проводять на підставі вивчення соціальних груп, тобто груп штучних утворень з якимось випадково обраним деревом [28, с. 9], ми також використали такий підхід при моделюванні густоти деревостанів сосни, стійких до пошкоджень твердими опадами. При цьому облікові ділянки на постійних пробних площах, де були обміряні як діаметри, так і висоти усіх дерев у сосняках II–IV класів віку, ми розбили на елементарні ділянки площею 20 м². Конфігурація елементарних ділянок була різною (4,43 x 4,52 м; 4 x 5 м; 3,8 x 5,27 м; 3 x 6,67 м). Вона визначалась схемами садіння лісових культур сосни та порядковим номером суцільно вирубуваних рядків при лінійних рубках.

Для проведення множинного лінійного регресійного аналізу попередньо були визначені для кожної елементарної ділянки висоти кращих дерев, середньоквадратичні відстані між деревами і максимальні відносні висоти у найбільш відсталих у рості дерев у віковій динаміці. При цьому до обробки нами були включені дані з 5,5-метрової висоти кращого дерева елементарної ділянки, адже на підставі проведеного дослідження динаміки відносних висот було встановлено, що у фазах індивідуального росту і хащі молоді деревця не відчувають сильної внутрішньовидової конкуренції, а зі збільшенням їх висоти у них відбувається зниження відносної висоти. Тільки при висоті 5,5–6 метрів відбувається стабілізація відносної висоти, а потім і її зростання. За отриманими даними по 346 (сосна звичайна) і 280 (сосна кримська) елементарних ділянках був проведений множинний кореляційно-регресійний аналіз залежності максимальної відносної висоти дерева від висоти кращого дерева і середньоквадратичної відстані між деревами на персональному комп'ютері з використанням пакету програм «Аналіз даних» («Excel»).

Залежність максимальної відносної висоти дерев ($H_{ВД}$) на елементарних ділянках від висоти кращих дерев, тобто верхньої висоти ($H_{ВР}$), і середньоквадратичних відстаней між деревами (l) виявилася нелінійною. Через це вихідні дані були трансформовані за допомогою логарифмування. Після обробки на персональному комп'ютері були отримані такі математичні моделі в розрізі видів сосни:

– сосна звичайна:

$$\ln H_{ВД} = 4,49 + 0,36 \cdot \ln H_{ВР} - 0,84 \cdot \ln l, \quad (1)$$

умови застосовності моделі 1:

$$\begin{aligned} 50 &\leq H_{ВД} \leq 331 \\ 5,5 &\leq H_{ВР} \leq 19,0 \\ 0,74 &\leq l \leq 4,14. \end{aligned}$$

– сосна кримська:

$$\ln H_{ВД} = 4,45 + 0,36 \cdot \ln H_{BP} - 1,01 \cdot \ln l, \quad (2)$$

умови застосовності моделі 2:

$$\begin{aligned} 70 &\leq H_{ВД} \leq 332 \\ 5,5 &\leq H_{BP} \leq 18,5 \\ 0,74 &\leq l \leq 2,24. \end{aligned}$$

Наведені вище математичні моделі характеризуються такими оцінними показниками (таблиця 1).

Таблиця 1

**Показники для оцінки ефективності множинних регресій
в розрізі видів сосни**

Вид сосни	Ступені свободи		Множинні коефіцієнти		Критерії Фішера	
	варіантів	залишків	кореляції	детермінації	фактичний	табличний*
звичайна	2	346	0,81	0,66	327,2	3,03
кримська	2	280	0,85	0,72	360,6	3,04

* табличний критерій Фішера наведений на 5%-вому рівні значущості

З таблиці випливає, що між максимальною відносною висотою дерев на елементарній ділянці, висотою кращих дерев і середньоквадратичною відстанню між деревами є досить тісний зв'язок, бо множинні коефіцієнти кореляції по сосні звичайній та кримській дорівнюють 0,81 і 0,85. З огляду на множинні коефіцієнти детермінації, які по сосні звичайній і кримській становлять 0,66 і 0,72, можна зробити висновок, що в цих моделях на 66% і 72% величину максимальної відносної висоти дерева на елементарній ділянці можна пояснити величиною висоти кращого дерева і середньоквадратичною відстанню між деревами.

Отримані множинні регресії залежності максимальної відносної висоти дерев на елементарних ділянках від висоти кращих дерев і середньоквадратичних відстаней між деревами також мають високу ефективність, оскільки фактичні критерії Фішера на 5%-вому рівні значущості, що характеризують достовірність отриманих показників, дорівнюють у сосни звичайної та кримської 327,2 та 360,3, що значно більше теоретичних критеріїв (3,03 та 3,04).

Грунтуючись на тому, що елементарна ділянка є мікронасадженням, для розрахунку густоти насаджень сосни II–IV класів віку, за якої вони будуть стійкими до впливу твердих опадів (мокрого снігу, ожеледі), отримані математичні моделі (1; 2) перетворено до такого виду:

$$l = \left(\frac{89,1 \cdot H_{BP}^{0,36}}{H_{ВД}} \right)^{1/0,84}, \quad (3)$$

$$l = \left(\frac{85,6 \cdot H_{BP}^{0,36}}{H_{ВД}} \right)^{1/1,01}, \quad (4)$$

Підставляючи в моделі (3; 4) визначені гранично допустимі відносні висоти дерев до і після рубок догляду, які встановлені з розрахунку, що частина найбільш відсталіх в рості дерев (з відносною висотою 110) після рубок догляду матиме імовірність втрати вертикальності не більше 0,1, а до рубок (з відносною висотою 150) – не більше 0,3 [29, с. 168], і перетворюючи середньоквадратичні відстані між деревами в кількість дерев на 1 гектар (густоту), ми розрахували оптимальну гус-

тоту штучних сосняків II–IV класів віку, за якої вони будуть стійкими до пошкоджень твердими опадами.

При цьому гранично допустимі відносні висоти дерев до і після рубок догляду були взяті для штучних сосняків з широкими міжряддями та вчасним початком зріджень (110 і 150) з огляду на те, що нині культури сосни створюються з міжряддями 2,5–3,0 метри, а також на неможливість швидкої зміни будови деревостанів, яка сформувалася в результаті запізнення з рубками.

Перетворення середньоквадратичних відстаней (l), отримуваних в результаті розрахунків за моделями 3 і 4, на кількість дерев на 1 гектар (N) проводили за такою формулою:

$$N = \frac{10000}{l^2}, \quad (5)$$

За результатами вказаних розрахунків були побудовані графіки оптимальної густоти штучних сосняків II–IV класів віку, за якої вони будуть стійкими до пошкоджень твердими опадами, на яких оптимальна густота зображена смугою, обмеженою верхньою і нижньою межею (рис. 1; 2).

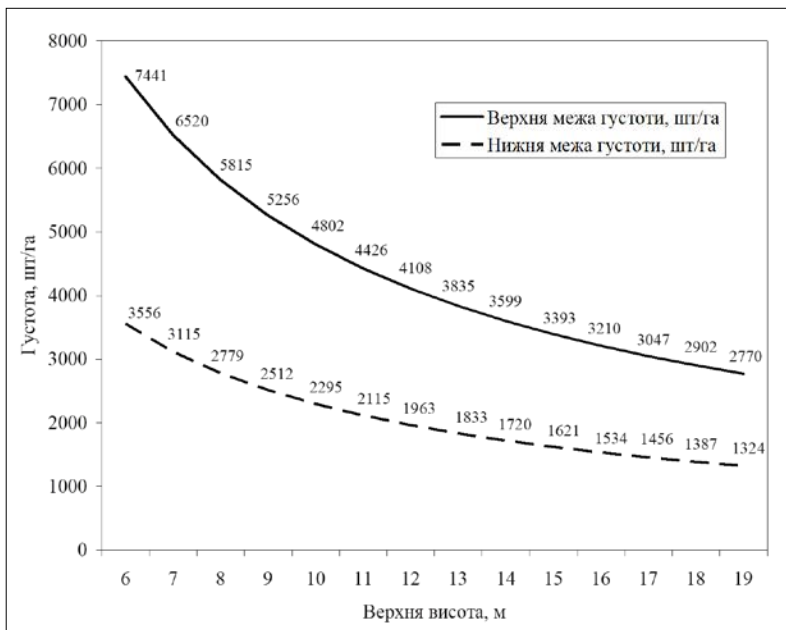


Рис. 1. Динаміка оптимальної густоти штучних насаджень сосни звичайної, за якої вони будуть стійкими до пошкоджень твердими опадами

З рисунків 1 і 2 видно, що оптимальна густота у насаджень сосни звичайної і кримської, за якої їх деревостани будуть стійкими до пошкоджень твердими опадами, різна, що пов'язано, як уже зазначалось вище, з різними біологічними і лісівничими властивостями цих деревних порід. При цьому верхня і нижня межі оптимальної густоти насаджень обох видів сосни, за яких їх деревостани будуть стійкими до пошкоджень твердими опадами, тим менші, чим більша їх верхня висота.

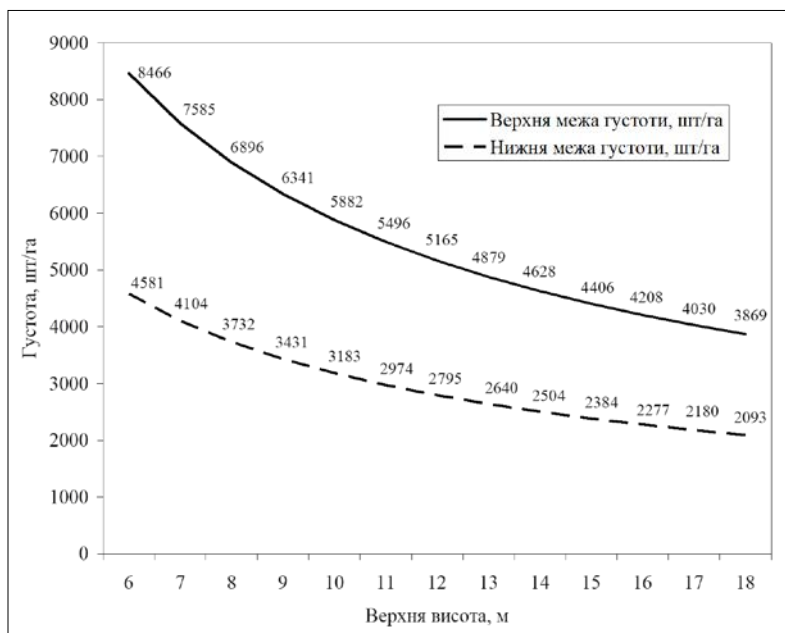


Рис. 2. Динаміка оптимальної густоти штучних насаджень сосни кримської, за якої вони будуть стійкими до пошкоджень твердими опадами

Для визначення верхньої і нижньої меж оптимальної густоти у штучних сосняках з широкими міжряддями (2,5–3,0 м) та вчасним початком селективних рубок догляду, за яких їх деревостани будуть стійкими до пошкоджень твердими опадами, необхідно визначити в натурі верхню висоту (середню висоту 500 передомінуючих дерев на 1 гектарі) та фактичну густоту деревостану і за графіком (рис. 1, якщо це сосна звичайна, або рис. 2, якщо це сосна кримська) визначити, в яких межах повинна знаходитись густота, та порівняти отримане значення з фактичною кількістю дерев на 1 гектарі.

При визначенні верхньої і нижньої меж оптимальної густоти для штучних сосняків з вузькими міжряддями (1,5–2,0 м), а також при застосуванні в них лінійно-селективних рубок догляду та при запізненні з початком зріджень, за яких деревостани будуть стійкими до пошкоджень твердими опадами, спочатку слід визначити ступінь запізнення з рубкою за літературним джерелом [30, с. 101] та встановити гранично допустимі відносні висоти дерев до і після рубок догляду за матеріалами публікації [29, с. 168]. Потім слід підставити в модель (3), якщо це сосна звичайна, або (4), якщо це сосна кримська, встановлені гранично допустимі відносні висоти дерев до і після рубок догляду, перетворити середньоквадратичні відстані у густоту за формулою (5) і у такий спосіб розрахувати динаміку оптимальної густоти конкретного насадження. Далі необхідно визначити в натурі верхню висоту (середню висоту 500 передомінуючих дерев на 1 гектарі) та фактичну густоту деревостану і за графіком динаміки оптимальної густоти цього насадження встановити, в яких межах повинна знаходитись густота, та порівняти це значення з фактичною кількістю дерев на 1 гектарі. З огляду на отримані дані і приймають рішення стосовно того, чи проводити рубку догляду, а також до якої величини знижувати густоту деревостану.

Висновки і пропозиції. Отже, у підвищенні стійкості насаджень сосни до навантажень твердими опадами вирішальну роль відіграє науково обґрунтована густота посадки культур і регулювання густоти деревостанів за допомогою рубок догляду.

Нині вже накопичений достатній експериментальний матеріал. Це дозволило побудувати для сосни звичайної і кримської ефективні (множинні коефіцієнти кореляції становлять 0,81 і 0,85) математичні моделі залежності максимальної відносної висоти дерев в насадженнях від висоти кращих дерев і середньоквадратичних відстаней між деревами.

Розроблені математичні моделі дозволили побудувати для штучних насаджень сосни звичайної і кримської графіки оптимальної густоти деревостанів II – IV класів віку, за якої вони будуть стійкими до пошкоджень твердими опадами.

Оптимальна густота у насаджень сосни звичайної і кримської, за якої їх деревостани будуть стійкими до пошкоджень твердими опадами, різна, що пов'язано з різними біологічними і лісівничими властивостями цих деревних порід.

Верхня і нижня межі густоти у насаджень обох видів сосни, за яких їх деревостани будуть стійкими до пошкоджень твердими опадами, тим менші, чим більша їх верхня висота.

Лісогосподарським підприємствам слід витримувати густоту деревостанів сосни в межах наведених в статті оптимальних величин, що дозволить формувати стійкі до пошкоджень твердими опадами насадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Кульбіда М.І., Єлістратова М.Б., Барабаш Л.О. Сучасний стан клімату України. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2013. Вип. 35. С. 118–130.
2. Эйтинген Г.Р. Влияние густоты древостоя (посадки) на рост насаждения. *Лесное хозяйство*. 1918. Вып. 6–8. С. 1–38.
3. Рубцов В.И. Культуры сосны в лесостепи. Москва : Лесная пром-сть, 1969. 285 с.
4. Мартынов А.Н. Густота культур хвойных пород и ее значение. Москва : ЦБНТИ Гослесхоз СССР, 1974. 60 с.
5. Рябоконт А.П. Определение биологического оптимума густоты сосновых древостоев в условиях свежей субори. *Лесоведение*. 1979. № 3. С. 16–23.
6. Гордиенко М.И., Штаблій Н.М., Гордиенко И.В. Влияние густоты посадки культур на производительность насаждений. *Лесохозяйственная информация*. 1992. № 11. С. 42–43.
7. Густота и продуктивность древесных ценозов / А.И. Бузыкин и др. Новосибирск : Наука, 2002. 152 с.
8. Головащенко М.Ф. Залежність таксаційних показників 40-річних штучних сосняків від схем і густоти посадки. *Таврійський науковий вісник : Науковий журнал*. Херсон : Грінь Д.С., 2013. Вип. 85. С. 213–217.
9. Гурьянов М.О. Моделирование роста, дифференциации и строения древостоев сосны обыкновенной и ели европейской (на примере Лисинского учебно-опытного лесхоза) : дисс. ... канд. с.-х. наук : 06.03.02. Санкт-Петербург, 2002. 138 с.
10. Редько Г.И., Редько Н.Г. История лесного хозяйства России. Москва : ВНИИЛМ, 2004. 456 с.
11. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах : монография / отв. ред. В.Н. Кудеяров. Москва : Наука, 2007. 380 с.
12. Староверов Ю.В., Попов П.П. Повреждение культур сосны снеголомом. *Лесное хозяйство*. 1983. № 11. С. 32–35.

13. Гринченко В.В. Снеголом в сосновых культурах, пройденных рубками ухода по линейной технологии. *Лесное хозяйство*. 1984. № 3. С. 29–32.
 14. Вишняков Ю.Н. Повреждение культур сосны снегом. *Лесное хозяйство*. 1976. № 12. С. 35–37
 15. Елагин И.Н. Ожеледь в лесах. *Природа*. 1952. № 8. С. 119.
 16. Гаврилов Б.И. Об устойчивости сосновых насаждений против снеговала и ожеледи. *ИВУЗ. Лесной журнал*. 1969. № 2. С. 17–20.
 17. Азниев Ю.Н., Сарнацкий П.В. Влияние рубок ухода на формирование крон деревьев ели. *Лесоведение и лесное хозяйство*. Минск, 1986. Вып. 21. С. 21–25.
 18. Гюнтер Венк. Исследование надежности продуктивности еловых молодняков на территории ГДР в зависимости от видов рубок ухода. *Проблемы рубок ухода : сборник материалов конференции ИЮФРО*. Москва : Лесная пром-сть, 1987. С. 43–48.
 19. Отмар Гирс. Об оптимальном числе стволов на единице площади. *Проблемы рубок ухода : сборник материалов конференции ИЮФРО*. Москва : Лесная пром-сть, 1987. С. 89–93.
 20. Юодвалькис А.И., Ионикас Ю.Н., Баркаускас А.П. Первоначальная густота насаждений как фактор их продуктивности и устойчивости. *Стабильность и продуктивность лесных экосистем*. Тарту, 1985. С. 165–166.
 21. Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск : Изд-во Красноярского ун-та, 1985. 192 с.
 22. Свириденко В.Є., Бабіч О.Г., Киричок Л.С. Лісівництво. Київ : Арістей, 2004. 544 с.
 23. Анучин Н.П. Лесная таксация. Москва : Лесная пром-сть, 1982. 552 с.
 24. ГОСТ 16128-70. Площади пробные лесоустроительные. Москва : Госкомстандартиздат, 1971. 23 с.
 25. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии / А.З. Швиденко и др. Киев : Урожай, 1987. 559 с.
 26. Шевчук В.В., Фомін В.І. Основні індикатори стану лісів на Нижньодніпровських пісках. *Науковий вісник НЛТУ*. Львів, 2006. Вип. 16.3. С. 40–46.
 27. Виноградов В.Н. Комплексное освоение Нижнеднепровских песков. Симферополь : Таврия, 1974. 144 с.
 28. Вайс А.А. Научные основы оценки горизонтальной структуры древостоев для повышения их устойчивости и продуктивности (на примере насаждений Западной и Восточной Сибири) : автореф. дис. д-ра с.-х. наук : 06.03.02. Красноярск, 2014. 33 с.
 29. Головащенко М.Ф. Дослідження стійкості штучних сосняків до навантажень твердими опадами. *Актуальні проблеми озеленення населених місць: освіта, наука, виробництво, мистецтво формування ландшафту* : матеріали III міжнар. наук.-практ. конф., м. Біла Церква, 25–26 травня 2017 року. Біла Церква, 2017. С. 167–169.
 30. Головащенко Н.Ф. Классификация запаздывания с первой рубкой ухода. *Эффективность научных исследований в промышленном и сельскохозяйственном производстве* : Тезисы докл. науч.-практ. конф., г. Херсон, 13–14 мая 1993 года. Херсон, 1993. Часть 1. С. 101.
-