

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ ННІ лісового і садово-паркового господарства

УДК 630\*5:582.43

**ПОГОДЖЕНО** Директор ННІ лісового і садово-паркового господарства  
**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ** Завідувач кафедри таксації лісу та лісового менеджменту

Лакида Петро Іванович

Білоус Андрій Михайлович

(підпис)

(ПШ)

(підпис)

(ПШ)

” ” 2021 р.

” ” 2021 р.

# МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Розмірно-якісна структура об'єму стовбурів сосни звичайної в ДП «Золотоніське ЛГ»»

Спеціальність 205 – Лісове господарство  
(код / назва)  
Освітня програма Лісове господарство  
(назва)  
(назва)  
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**  
Доктор с.-г. наук, професор  
(науковий ступінь та вчене звання)  
Василишин Роман Дмитрович  
(підпис) (ПШ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**  
Доктор с.-г. наук, доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)  
Миронюк Віктор Валентинович  
(підпис) (ПШ)

**Виконав**

Міщенко Ігор Ігорович

(підпис)

(ПШ студента)

КИЇВ – 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНШ лісового і садово-паркового господарства

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри таксації лісу та лісового  
менеджменту

доктор с.-г. наук, с. н. с.

Білоус Андрій Михайлович

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(ПБ)

“ ”

20

року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
СТУДЕНТУ

Міщенко Ігорю Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 205 – Лісове господарство

(код і назва)

Освітня програма

Лісове господарство

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Розмірно-якісна структура об'єму стовбурів  
сосни звичайної в ДП «Золотоніське ЛГ»»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 19 листопада 2020 р. № 1825 “С”.

Термін подання завершеної роботи на кафедру

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи: матеріали таксації пробних площ з рубкою  
модельних дерев сосни звичайної в ДП «Золотоніське ЛГ»

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Алгоритм умовного розкрязування стовбурів на основі моделі твірної.
2. Розподіл об'єму стовбурів сосни звичайної за класами діаметрів.
3. Вплив варіантів розкрязування стовбурів на розмірно-якісну структуру запасу.

Дата видачі завдання “ ”

20 р.

Керівник магістерської  
кваліфікаційної роботи

Миронюк В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Міщенко І.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

# РЕФЕРАТ

# НУБІП України

Кваліфікаційна магістерська робота складається із 63 сторінок друкованого тексту, 13 рисунків, 16 таблиць, 59 літературних джерел та

# НУБІП України

додатків.  
Метою роботи є дослідження і апробація сучасних методів оцінки розмірно-якісної структури запасу соснових деревостанів у ДП «Золотоніське ЛГ».

# НУБІП України

Зміст роботи викладено в трьох основних розділах.  
У першому розділі досліджуються причини, того, чому досліджуване питання є важливим, наводиться стисла характеристика району дослідження, лісового фонду підприємства та структури лісозаготівель.

# НУБІП України

У другому розділі описана методика збору дослідних даних, їхньої статистичної обробки та характеристика. Також тут описується принцип роботи алгоритму умовного розкрязування деревних стовбурів.

# НУБІП України

У третьому розділі зроблено огляд літератури з дослідження питання оцінки розмірно-якісної структури деревостанів, визначення об'ємів та моделювання твірної деревного стовбура. Проаналізовано результати роботи алгоритму умовного розкрязування на основі масиву дослідних даних, проведено порівняння результатів умовного розкрязування деревини з нормативами 2020 року.

# НУБІП України

У висновках зазначені найважливіші результати досліджень.  
**Ключові слова:** сосна звичайна, розмірно-якісна структура, клас якості, клас товщини, алгоритм умовного розкрязування, об'єм лісоматеріалів, моделювання твірної

# НУБІП України

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
<b>РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ РОЗТАШУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ТА ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТУ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Фізико-географічні умови дослідного регіону .....	7
1.2. Лісовий фонд підприємства та його лісівничо-таксаційна характеристика .....	11
1.3. Обсяги лісозаготівель .....	16
1.4. Висновки по розділу 1 .....	18
<b>РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДНОГО МАТЕРІАЛУ .....</b>	<b>20</b>
2.1. Методика збору та обробки дослідних даних .....	20
2.2. Первинна обробка та статистична оцінка даних .....	21
2.3. Характеристика дослідних даних .....	22
2.4. Модель умовного розкрязування стовбурів .....	26
2.5. Висновки по розділу 2 .....	28
<b>РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РОЗМІРНО-ЯКІСНОЇ СТРУКТУРИ ДЕРЕВИНИ СТОВБУРІВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ .....</b>	<b>29</b>
3.1. Теоретичні передумови оцінки розмірно-якісної структури деревини .....	29
3.2. Використання моделей твірної для обчислення об'єму стовбурів .....	32
3.2.1. Об'єм стовбура та його частин, методи його визначення .....	32
3.2.2. Моделювання твірних деревних стовбурів та їх застосування для визначення об'ємів .....	35
3.3. Розрахунок розмірно-якісної структури стовбурів сосни звичайної .....	42
3.4. Оцінка точності нормативів 2020 року .....	50
3.5. Висновки по розділу 3 .....	56
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>57</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>58</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>64</b>

# НУБІП України

## ВСТУП

**Актуальність теми.** В умовах ринкової економіки підвищуються вимоги до достовірності, точності та повноти інформації про ліси. Для реалізації цих вимог необхідно мати якісні регіональні нормативи для оцінки лісових ресурсів. Починаючи з 1 січня 2019 року, лісова галузь України користується національними стандартами, гармонізованими з європейськими. В нових нормативах суттєво змінені підходи до визначення розмірно-якісних показників лісоматеріалів. Актуальність роботи підтверджується і тим, що чинні сортиментні таблиці потребують вдосконалення і уточнення. При розробці нових нормативів необхідне застосування сучасних підходів стосовно дослідження можливостей оцінки розмірно-якісної структури деревостанів. Ключова роль в цьому відношенні має бути приділена розробці і використанню спеціальних алгоритмів, та використання в їх роботі методу моделювання твірної деревних стовбурів.

**Об'єктом дослідження** є деревостани сосни звичайної, які зростають в лісовому фонді державного підприємства «Золотоніське лісове господарство» та їх розмірно-якісна структура.

**Предмет дослідження** – закономірності розмірно-якісної структури об'єму стовбурів сосни у ДП «Золотоніське ЛГ».

**Методи дослідження.** Під час проведення досліджень були використані методи збору емпіричних даних на пробних площах, методи математичної статистики та моделювання. Первинні матеріали досліджень зібрані на лісосіках рубок головного користування шляхом умовного поділу стовбурів зрубаних дерев на лісоматеріали згідно чинних нормативів [44]. В результаті було зібрані дані розкряжування 182 модельних дерев на чотирьох тимчасових пробних площах, які були закладені в лісовому фонді ДП «Золотоніське ЛГ», на території Вільхівського та Денгівського лісництв. Пробні площі були закладені безпосередньо перед проведенням на них рубок головного користування. Пробні площі влаштовувались на ділянках відповідно до

переважаючого ТЛП. Цільові данні заносились в картки модельних дерев, розроблених кафедрою таксації лісу та лісового менеджменту НУБІП України, для подальшого використання в роботі спеціального алгоритму. Підбір параметрів для функцій твірної був виконаний в системі R з використанням

пакету статистичної обробки даних *nlme* [54]. Подальша статистична обробка та візуалізація дослідних даних виконувалась з використанням табличного процесора MS Excel [56] і в системі R (*Core Team, 2021*) [58] з застосуванням пакету візуалізації даних *ggplot2* [53].

**Практична значущість** магістерської кваліфікаційної роботи полягає в наступному

– досліджено вплив різних сценаріїв розкряджування стовбурів на розмірно-якісну структуру запасу соснових деревостанів ДП «Золотоніське ЛП».

– опрацьовано методику використання алгоритму умовного розкряджування для прогнозування розмірно-якісної структури запасу деревостанів сосни звичайної на основі рівняння твірної;

– оцінено точність нормативів розподілу об'єму стовбурів сосни звичайної за класами діаметрів.

**Публікації.** За темою магістерської роботи опубліковано 2 тези наукових доповідей [29, 30].

# РОЗДІЛ І. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ РОЗТАШУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ТА ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТУ

## 1.1. Фізико-географічні умови дослідного регіону

Ліс є складним комплексом географічного середовища, який включає всі його складові елементи – рослини, ґрунт, атмосферу, вологу та ін.. Г. Ф. Морозов [32] вважав, що середовище – не тільки найважливіша складова частина лісу, але і первісний, основний чинник, від якого залежать всі інші чинники, другорядні у відношенні до середовища. В рішенні проблем інтенсифікації лісогосподарського виробництва, використання і охорони лісових багатств важливе значення має ґрунтове вивчення лісорослинних умов і розробка комплексного районування лісових територій. Під час вивчення лісорослинних умов необхідно враховувати, перш за все рельєф місцевості, геологічну будову, ґрунтово-кліматичні умови та інші за переважанням абіотичні фактори, і не менш важливі біотичні фактори – рослини, тварини, мікроорганізми, а також їхні режими.

**Рельєф.** Г. Ф. Морозов [15] підкреслював, що рельєф впливає на життя лісу всіма своїми елементами, головним із котрих є висота над рівнем моря, експозиція, крутизна схилів і форма поверхні. Він також має вплив на ґрунт, геологічні і гідрологічні процеси, атмосферу, місцевий мікроклімат. Безпосередній зв'язок між особливостями з рельєфа і характером росту лісу широко використовується при лісовпорядкуванні і проведенні комплексу лісогосподарських заходів.

Лівобережна частина Лісостепу переважно рівнинна. Придніпровська низовина з абсолютними відмітками 100-120 м над рівнем моря складається із кількох надзаплавних терас Дніпровської долини. Тераси розчленовані річковими долинами, балками і ярами, а їх поверхня а її поверхня усіяна степовими блядцями. Лісові масиви приурочені до схилів річкових долин і ділянкам, розчленованим ярами і балками.

**Грунти.** Разом з рельєфом, геологічною будовою і кліматом ґрунти зумовлюють розподіл рослинності в зональному і висотному плані. Від ґрунтів залежить продуктивність і швидкість росту лісових насаджень, технічні

властивості деревини, форма кореневої системи дерев і стійкість лісової екосистеми проти негативних чинників. Лівий берег Дніпра на першій терасі

покритий лучними супіщаними ґрунтами, на другій (боровій) – дерново-слабопідзолистими піщаними ґрунтами і боровими пісками. На третій терасі в

низинній її частині поширені лучно-чорноземні содово-солончакові, а також сірі і світло-сірі вторинно засолені ґрунти. На понижених частинах лісових

терас зустрічаються солонцюваті чорноземи. Лівобережна частина Лісостепу на сході від системи дніпровських терас покрита типовими чорноземами.

Розміщення природних лісів, їх склад, запас деревини на одиниці площі, її технічні властивості в значній мірі залежать від особливостей клімату. Клімат

зумовлюється перш за все географічним розташуванням. Він формується в результаті взаємодії таких основних кліматотвірних чинників, як сонячна радіація, циркуляційні процеси в атмосфері та підстилаюча поверхня

**Клімат** району проведення досліджень в цілому помірно-континентальний. Пануючими є вітри західного та південно-східного

напрямків. Характерними особливостями є тепле сонячне літо та відносно м'яка зима.

Найтеплішим місяцем є липень, а найхолоднішим – січень. Річна наявність вологи, яка надходить з атмосферними опадами орієнтовно дорівнює

випаровуванню, або менша. Кількість опадів на рік рівна 519 мм.

Пізні весняні заморозки можливі 25 травня, а ранні осінні – 5 вересня.

Тривалість вегетаційного періоду орієнтовно рівна 210 днів. Температура повітря: середньорічна – +7,3 °С, максимальна – +48 °С, мінімальна – -32 °С.

Глибина промерзання ґрунту – 52 см, відносна вологість повітря залежить від сезону і варіюється в межах – 60-77 %. Погода взимку характеризується

значною мінливістю: похолодання змінюється відлигами, також спостерігаються снігопади. У зв'язку з чим нерідко спостерігається ожеледь,



НУБІП УКРАЇНИ

відбувається налипання мокрого снігу, що спричиняє значну шкоду лісовим насадженням. Вітровий режим дослідного району змінний. Переважаючий напрямок вітрів – західний і південно-східний, швидкість – 4,0-4,5 м·с<sup>-1</sup>.

Основними кліматичними факторами, які негативно впливають на ріст і розвиток насаджень є:

- 1) широкі річні амплітуди коливання добових температур;
- 2) можливі ранні осінні та пізні весняні заморозки;
- 3) нерівномірний розподіл снігового покриву та малосніжні зими;
- 4) зливові опади;
- 5) вітровали та буреломи, спричинені великою швидкістю шквальних вітрів;
- 6) ожеледі, часті відлиги зимою, налипання мокрого снігу, що завдає

значної шкоди хвойним молоднякам.

Водний режим, поряд з іншими факторами, слугує важливим чинником у формуванні насаджень. Підтримання водного балансу Придніпровського лівобережного Лісостепу виконує розвинена гідрологічна система. Основу цієї системи становить Дніпро і його притоки – Супій, Золотоношка та Ірклій.

Розгалужена система малих річок – Чумгак, Коврай (притока р. Супій), Сухозгар (притока р. Золотоношка). За ступенем вологості більша частина ґрунтів відноситься до категорії свіжих. Серед вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок на долю ділянок з надмірним зволоженням приходить 25% площі. Болота займають площу 1076,9 га.

Дослідний район знаходиться в межах Золотоніського, а також частини Черкаського адміністративного районів Черкаської області (рис. 1.1). На заході і півдні його територія омивається водами р. Дніпро. Східна межа оточує села Мохнач, Велика Бурімка, Лящівка. Північна межа пролягає по околицях населених пунктів Степанівка, Кононівка, Гречанівка та Безпальче.

НУБІП УКРАЇНИ



Рис. 1.1. Район досліджень в межах Черкаської області

З виникненням лісівництва на початку ХХ ст. питання районування лісів розглядались вже в теоретичному плані з врахуванням досягнень таких наук, як ботаніка і географія. Цим питанням велику увагу приділяли такі видатні лісівники-природознавці, як Г. Ф. Морозов, Г. Н. Висоцький, Г. Майр та ін. [15].

Німецький дендролог Г. Майр вперше проаналізував закономірну залежність складу лісових насаджень від ґрунтово-кліматичних умов, але його підхід до питань географії лісів був одностороннім. Більш глибоко ці питання висвітлили Г. Н. Висоцький і Г. Ф. Морозов. На основі вчення В. В. Докучаєва про зони природи, спираючись на досягнення гідрології, кліматології та ґрунтознавства, Г. Н. Висоцький розділив Степ України на «зони» та «ділянки», виділив «зони росту» дубових лісів, ввів наукові терміни «лісорослинне районування», «лісорослинний район» та ін.

В Україні питаннями лісорослинного і геоботанічного районування займалися І. К. Пачоський, П. Тутковський, Р. І. Танфільєв, С. В. Вульф, А. Б.

Фомін, М. І., Котів, Є. М., Лавренко, П. С., Погребняк, Ю. Д., Клеопов, Д. К., Зеров, М. Г., Попов, М. І., Косець, Г. І., Білик, Р. А., Грінь, С. В., Шевченко, Ю. І., Шеляг-Сосонко, К. І., Малиновський, П. І., Молотков, С. М., Стойко та інші

видатні вчені. На основі теоретичних принципів районування Г. Ф. Морозова і

Б. П. Колеснікова з врахуванням різних факторів, а саме лісистості, особливостей лісів і процесів лісовідтворення, густоти населення, дорожньої мережі, ролі лісового господарства в економіці, необхідності складання науково-обґрунтованих прогнозів лісових ресурсів і лісокористування,

зберігання, і покращення водоохоронних, захисних функцій лісу, рішення

багатьох питань, направлених на інтенсифікацію лісгосподарського виробництва, розроблена схема комплексного районування з розподілом території України на округи, зони, провінції і гірські країни, однорідні за системами ведення в них лісового господарства.

Карта лісорослинного районування розроблена С. А. Генсіруком [15] включає 42 лісгосподарських округи. За цією класифікацією район досліджень належить до 11 лісгосподарського округу – Лівобережно-Придніпровського з терасовими дубово-сосновими лісами і лучними степами.

## 1.2. Лісовий фонд підприємства та його лісівничо-таксаційна характеристика

Державне підприємство «Золотоніське лісове господарство» (далі лісгосп), Черкаського обласного управління лісового та мисливського господарства розташовується на північному-сході Черкаської області і охоплює територію трьох адміністративних районів: Золотоніського, Черкаського та Кременчуцького району Полтавської області. Південні терени Золотоніського району омиваються водами Кременчуцького водосховища, а південно-західні терени Черкаського району – Канівського водосховища. Контора підприємства розташована за адресою: Черкаська обл., Золотоніський р-н, с. Вільхи, вул. Шевченка, 1А.

Для того, щоб проаналізувати структуру лісового фонду ДП «Золотоніське ЛП» було використано матеріали базового лісовпорядкування 2013 р. [39]. До складу лісгоспу входять п'ять лісництв (табл. 1.1):

Великобурімське, Вільхівське, Деньгівське, Прохорівське та Ліпльавське.

Адміністративно-організаційна структура та розподіл площі земель лісового фонду

Таблиця 1.1

№ п/п	Найзви лісництв, місцезнаходження контор	Адміністративний район	Загальна площа, га
1	Ліпльавське, с. Ліпльаве, 28 квартал	Капівський	4876
2	Прохорівське, с. Прохорівка, 70 квартал	Капівський	5501
3	Вільхівське с. Вільхи, 40 квартал	Золотоніський	6346
4	Деньгівське с. Деньги, 41 квартал	Золотоніський	6795
5	Великобурімське с. Велика Бурімка, 14 квартал	Чорнобаївський	3102
<b>Всього по лісгоспу</b>			<b>26620</b>

В результаті лісовпорядкування виділено 513 кварталів, максимальна площа кварталу склала 57 га. Кількість виділених таксаційних виділів склала 9256, при чому розрахована середня площа таксаційного виділу є 2,9 га.

Таблиця 1.2

Розподіл площі лісового фонду за категоріями лісів та земель

Категорія земель	Площа	
	га	%
1. Загальна площа земель л/г призначення	26620	100
2. Лісові ділянки – усього	24566	92,3
в т. ч.:		
2.1. Вкриті лісовою рослинністю лісові ділянки – усього	23093	86,7
із них лісові культури	14933	56,1

Продовження табл. 1.2

1	2	3
2.2. Не вкриті лісовою рослинністю лісові ділянки – усього	1473	2,1
в т. ч.:		
– незімкнуті лісові культури	561	2,1
– лісові розсадники, плантації	21	0,1
– зруби	160	0,6
– біогаллявини	252	0,9
– галлявини, пустирі	40	0,2
– згарища, загиблі насадження	94	0,4
– лісові шляхи, просіки, протипожежні розриви	345	1,3
3. Нелісові землі – усього	2054	7,7
в т. ч.:		
– рілля	9	0,0
– сніжаті	3	0,0
– пасовища	11	0,0
– піски	70	0,3
– траси	137	0,5
– садиби, споруди	17	0,1
– води	435	1,6
– болота	1245	4,7
– інші нелісові ділянки	127	0,5
<b>Категорія лісів</b>	<b>Площа</b>	
	га	%
Захисні ліси	19176	72,6
Рекреаційно-оздоровчі ліси	5507	20,7
Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення	1937	7,3

У таблиці 1.2 бачимо розподіл загальної площі лісового фонду за категоріями лісових ділянок, де зазначено, що лісові ділянки вкриті лісовою рослинністю, займають 86,7 % від загальної площі, не вкриті лісовою рослинністю – 2,1 %. Нелісові землі ДП «Золотоніське ЛП» складають 7,7 % від загальної площі. Розглядаючи матеріали лісовпорядкування, важливо зазначити, що збільшення площі земель лісгосподарського призначення на 22,7 га відбудеться за рахунок приймання площ лісів, які були у підпорядкуванні сільгоспуправління. За рахунок переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю, площа вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок зростає на 296,1 га. Площа лісових ділянок зменшилась, внаслідок їх заболочення, збільшення площі трас.

Розподіл площі вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок підприємства за переважаючими деревними видами (рис. 1.2) показує, що

# НУБІП України

головним лісоутворюючим видом є сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), вона домінує на площі 12009,0 га (52,1%).

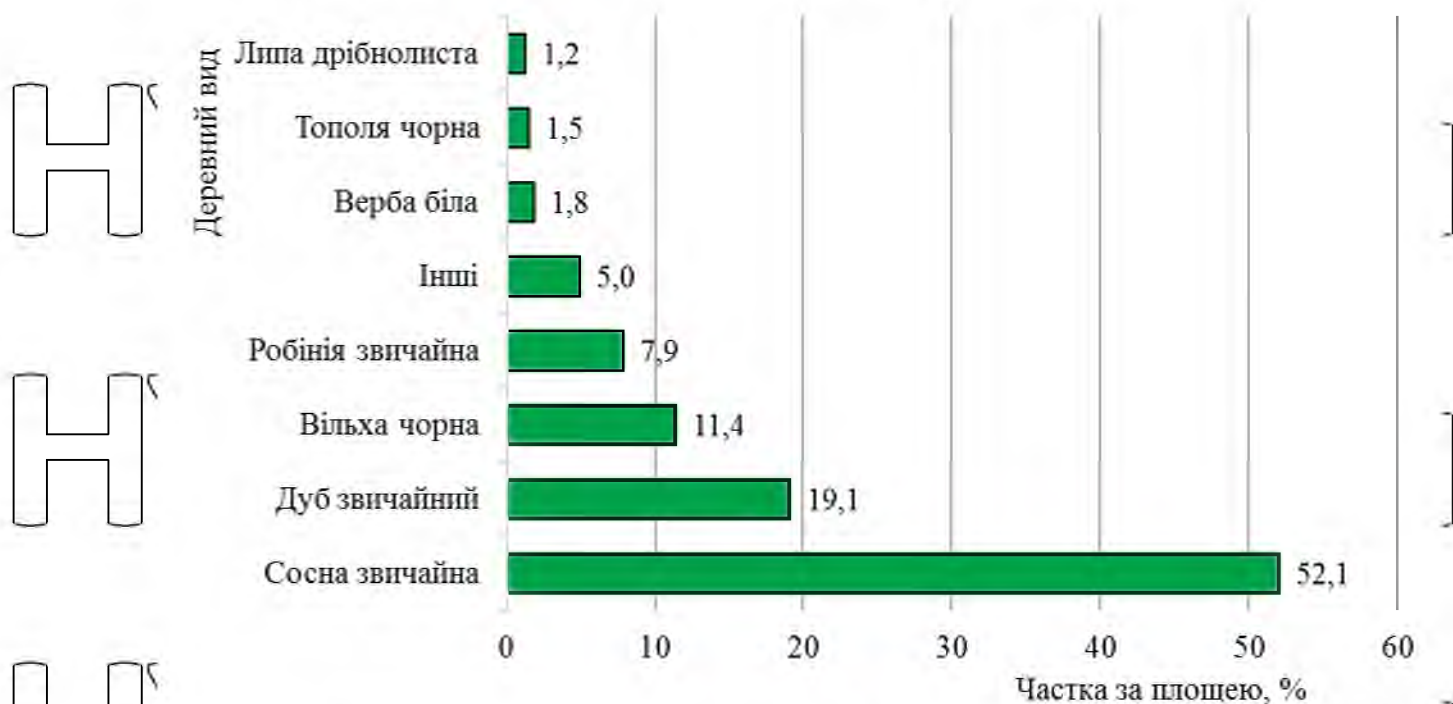


Рис. 1.2. Розподіл площі вкритих лісовою рослинністю ділянок за переважаючими деревними видами

Значну площу серед лісових насаджень лісгоспу, також займають насадження з домінуючим видами дубом звичайним (*Quercus robur* L.) – 4402,4 га (19,1 %), вільхою чорною (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.) – 2640,6 га (11,4 %) та робінією звичайною (*Robinia pseudoacacia* L.) – 1814,0 га (7,9 %).

Відбувається поступове зменшення питомої ваги сосни звичайної, яке пов'язано зі зміною породного складу – природним поновленням ялиці білої на суцільних зрубках та пожежею 2005 року, в якій загинула значна площа насаджень Великобурімського лісництва.

# НУБІП України

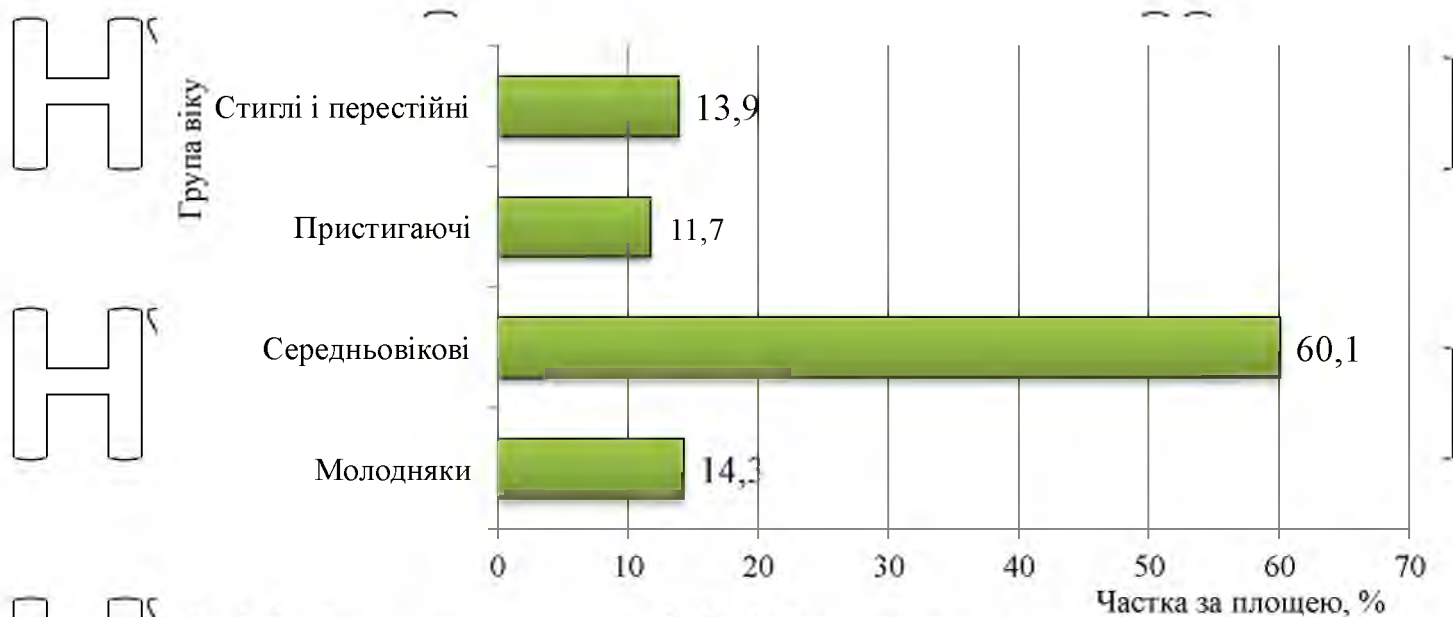


Рис 1.3. Розподіл площі вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок за групами віку

У лісах підприємства переважають середньовікові насадження (рис. 1.3).

Середні значення таксаційних показників насаджень лісового: бонітет – 1,5, вік – 58 р., повнота – 0,57. Запас на 1 га вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок становить 234 м<sup>3</sup>, у т. ч. стиглих і перестійних насаджень – 192 м<sup>3</sup>.

Загальна середня зміна запасу складає 93850 м<sup>3</sup>, а загальна середня зміна запасу

на 1 га – 4,0 м<sup>3</sup>. Свіжий дубово-сосновий субір (В<sub>2</sub>ДС) є найпоширенішим типом лісу, і займає 36,0 % від загальної площі вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок.

Таблиця 1.3

Розподіл вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок за повнотою

Деревний вид, що домінує	Повнота								Разом
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Сосна звичайна	11,9	102,4	399,6	1473,9	5812,7	2587,9	1620,6		12009
Дуб звичайний	2,6	51,6	233,8	1036,7	2474,4	515,8	63,9	3,6	4402,4
Вільха чорна	18,2	124,0	373,5	680,7	1002,0	368,2	69,0		2640,6
Акація біла	1,3	16,4	116,6	631,0	827,9	163,6	57,2		1814,0
Разом	34	294,4	1148,5	3822,3	10117	3635,5	1810,7	3,6	20866

Насадження з повнотою 0,3–0,4 займають площу 813,9 га. Їхня наявність зумовлена періодичним затопленням лісів, що зростають у заплаві річки Дніпро і немає можливості провести в установлені терміни комплекс лісовідновних заходів. Найбільша частина насаджень має повноту 0,7 (табл. 1.3).

Таблиця 1.4

Розподіл площі лісового фонду за класами бонітету, га

Деревний вид, що домінує	Клас бонітету							Разом
	I <sup>b</sup> i вище	I <sup>a</sup>	I	II	III	IV	V	
Сосна звичайна	80	2145,1	5785,5	2732,7	443,9	67,6	38,5	11293,3
Дуб звичайний	—	136,4	738,3	2541,4	781,3	180,5	24,6	4402,4
Вільха чорна	26,7	316,7	818,7	1124,4	342,4	11,7	—	2640,6
Робінія псевдоакація	38,3	540,0	876,3	280,3	71,4	2,6	5,1	1814,0
Разом	145	3138,2	8218,7	6678,8	1639	262,4	68,2	20150,3

Серед насаджень підприємства найбільшу площу займають насадження I-го бонітету (табл. 1.4). Насадження підприємства відносяться до високобонітетних та середньобонітетних. Частка низькобонітетних насаджень становить 0,9 %.

### 1.3. Обсяги лісозаготівель

Ліси лісгоспу мають обмежене експлуатаційне значення, при цьому вони виконують захисні, рекреаційні й екологічні функції. Лісокористування на території лісового фонду підприємства є невиснажливим. Внаслідок погіршення екологічної ситуації, негативних погодних чинників (бурелому 4 липня 2017 року та сніголому в січні 2018 року) збільшується площа суцільних санітарних та вибірково-санітарних рубок. В цілому запас лісосічного фонду лісгоспу використовується раціонально, ефективно і рівномірно. За результатами виконання виробничого плану по лісовому і мисливському господарству та охороні навколишнього середовища по ДП «Золотоніське ЛГ»



в 2020 році на підприємстві було проведено рубки догляду на площі більше 328 га, загальною масою 7682 м<sup>3</sup>. Інші види рубок формування і оздоровлення дісів та інші заходи, пов'язані з веденням лісового господарства на площі 1536 га, загальною масою 40289 м<sup>3</sup>. Деревина від рубок головного користування була заготовлена в розмірі 9,3 тис. м<sup>3</sup>. Враховуючи той факт, що в дісовому фонді підприємства експлуатаційні ліси відсутні, то вік рубки головного користування для сосни становить 101 рік.

Використовуючи інформацію про хід виконання сортиментної структури рубок головного користування за 2020 рік по сосні, можемо оцінити вихід ділової деревини від рубок головного користування у ДП «Золотоніське ЛГ». Для порівняння відмінностей у виході ділової деревини за чинними нормативами з нормативами чинними до 1 січня 2019 року (табл. 1.5) було використано інформацію про хід виконання сортиментної структури рубок головного користування за 12 місяців 2018 року.

Таблиця 1.5

## Сортиментна структура деревини сосни заготовленої від РГК

Старі нормативи (2018 рік)										
Сортименти	в т.ч. I сорт	ПИДОВНИК					всього	техси-ровина	дрова паливні	всього
		в т.ч. II сорт	в т.ч. III сорт	буцліс	баланси	всього				
Об'єм	м <sup>3</sup>	1022	2190	2867	38	79	6196	2334	1650	10380
	%	9,8	21,1	27,6	0,4	0,8	59,7	24,4	15,9	100,0
Чинні нормативи (2019 рік)										
Сортименти	A	лісоматеріали круглі				всього	дрова		всього	
		B	C	D	промис-лові		паливні			
Об'єм	м <sup>3</sup>	271	1025	1236	976	3508	665	2963	7126	
	%	3,8	14,4	17,3	13,7	49,2	9,2	41,6	100,0	

Проаналізувавши сортиментну структуру, можна зробити узагальнення про вихід ділової деревини за різними нормативами. Бачимо, що за чинними нормативами вихід ділової деревини зменшився, а дров'яної навпаки зріс.

Враховуючи особливості нормативів, які набули чинності 1 січня 2019 року, мала б виникнути протилежна ситуація, коли вихід ділової деревини зростає, оскільки частина дров'яної деревини повинна відійти до класу якості D.

Зниження виходу ділової деревини спричинено:

- негативними погодними чинниками (буреломом 1 липня 2017 року та сніголомом в січні 2018 року);

- можливою вищою часткою дров'яних стовбурів заготовлених у 2020 році, порівняно з 2018 роком. Вища кількість дров'яних стовбурів зумовлена втратою якості деревини, внаслідок загибелі деякого відсотку дерев, внаслідок механічних пошкоджень від абіотичних чинників.

У 2014 році в ДП «Золотоніське ЛП» розпочали користуватися системою електронного обліку деревини (далі ЕОД). Основним завданням цієї системи є спрощення обліку деревини з застосуванням сучасних технологій і його автоматизація. З введенням в дію нових нормативів, щодо класифікації розмірів і якості круглих лісоматеріалів, виникли такі проблеми:

- складність у виконанні вимірювання середнього діаметру і одночасного розподілу деревини на лісоматеріали за класами якості, під час проведення рубки, коли на одній майстерській ділянці одночасно відбувається розробка кількох лісосік;

- товщиною кори, яка задана математичною функцією у програмі електронного обліку деревини не відповідає фактичній – у лісах району дослідження;

- при віднесенні сухостою у якого відсутня кора до категорії D відбувається втрата ділової деревини, тому що програма ЕОД віднімає товщину кори, незалежно від її наявності.

#### 1.4. Висновки по розділу 1

Регіон досліджень належить до Лівобережно-Придніпровського з терасовими дубово-сосновими лісами і лучними степами. Лісові ділянки вкриті

лісовою рослинністю займають 86,7% від загальної площі лісового фонду, не вкриті лісовою рослинністю – 2,1%. Нелісові землі ДП «Золотоніське ЛП» складають 7,7% від загальної площі.

В розрізі лісового фонду підприємства насадження сосни звичайної займають 52,1% площ вкритих лісовою рослинністю. Це пояснюється наступними ґрунтовими та кліматичними умовами району господарювання:

- помірно-континентальний клімат;
- найсприятливіший для росту сосни звичайної тип лісорослинних умов –

$B_2$  є переважаючим;

– друга надлугова тераса переважає серед ландшафтів на території підприємства, тут розповсюджені піщані ґрунти, багаті перегноєм.

Отже, питання дослідження розмірно-якісної структури є важливим для покращення господарської діяльності підприємства. Згідно наявної структури лісозаготівель складно зробити висновок, щодо впливу переходу до нових стандартів класифікації круглих лісоматеріалів на асортименту структуру лісозаготівель. Значний вплив на вихід ділової деревини мали негативні погодні чинники, які призвели до загибелі частини насаджень та втрати технічної придатності деревини.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДНОГО МАТЕРІАЛУ

### 2.1. Методика збору та обробки дослідних даних

Первинну інформацію для досліджень було зібрано на території лісового фонду ДП «Золотоніське ЛП». Для виконання поставлених у магістерській кваліфікаційній роботі завдань, під час збору первинної дослідної інформації дотримувались таких правил:

– відбір ділянок проводився відповідно у стиглих соснових насадженнях з I-II класом бонітету та в найпоширенішому типі лісу – В<sub>2</sub>ДС;  
– всі тимчасові пробні площі було закладено з урахуванням вимог СОУ 02.02-37-479:2006 [44] безпосередньо перед проведенням господарських

заходів на лісових ділянках відведених під рубку головного користування;

– для дослідження розмірно-якісної структури стовбурів сосни звичайної на пробних площах було проведено підбір, зважування, обмір модельних дерев та умовне розкряжування з одночасною класифікацією лісоматеріалів за чинними нормативами [24] в залежності від діаметра та наявності вад деревини.

Границі виділів, на яких проводились рубки, повністю співпадають з границями пробних площ, завдяки чому вдалося спростити визначення їх меж.

В результаті було обміряно 182 модельних дерева на чотирьох пробних площах. В таблиці 2.1 наводиться лісівничо-таксаційна характеристика відведених ділянок.

Таблиця 2.1

## Характеристика тимчасових пробних площ

Таксаційний показник	Номер пробної площі			
	1	2	3	4
Склад насадження	10Сз	10Сз+Акб	10Сз+Акб	10Сз+Дз,Акб
Вік, років	104	102	105	104
Середня висота насадження, м	27	27	25	27
Середній діаметр насадження, см	32	32	36	36
Клас бонітету	1	1	2	1
Тип лісу	В <sub>2</sub> ДС	В <sub>2</sub> ДС	В <sub>2</sub> ДС	В <sub>2</sub> ДС
Повнота	0,65	0,7	0,65	0,65
Запас насадження на 1 га, м <sup>3</sup>	390	420	350	390

Перед початком рубки на кожному із відібраних ростучих дерев робилась позначка на висоті грудей (1,3 м). Після того, як дерево було зрубане, і здійснено обрубкування гілок, проводили вимірювання висоти пня, довжини стовбура та діаметра на місці позначки. Завдяки отриманому значенню висоти пня в подальшому стало можливим визначення загальної висоти дерева.

Одночасно з виконанням попередніх операцій проводився умовний поділ стовбура на сортименти за класами якості, відповідно до діючих нормативів на лісоматеріали круглі [24], визначали довжину і діаметр ділових сортиментів, дров промислового та непромислового використання.

## 2.2. Первинна обробка та статистична оцінка даних

Сучасні методи обробки експериментальних даних базуються на встановленні закономірностей зв'язку між таксаційними показниками є основою для застосування сучасних методів обробки дослідних даних.

Передумовою для здійснення моделювання є пошук взаємозв'язків між таксаційними показниками, оскільки більшість математичних моделей використовують різноманітні залежності між величинами для здійснення оцінки і

прогнозування. Таксаційна та статистична обробка масиву дослідних даних здійснена з метою оцінки репрезентативності вибірки і визначення основних таксаційних показників модельних дерев. Загальний розподіл дослідних даних

за ступенями товщини та висотою охоплює широкий діапазон значень,

зображений на рис. 1.4

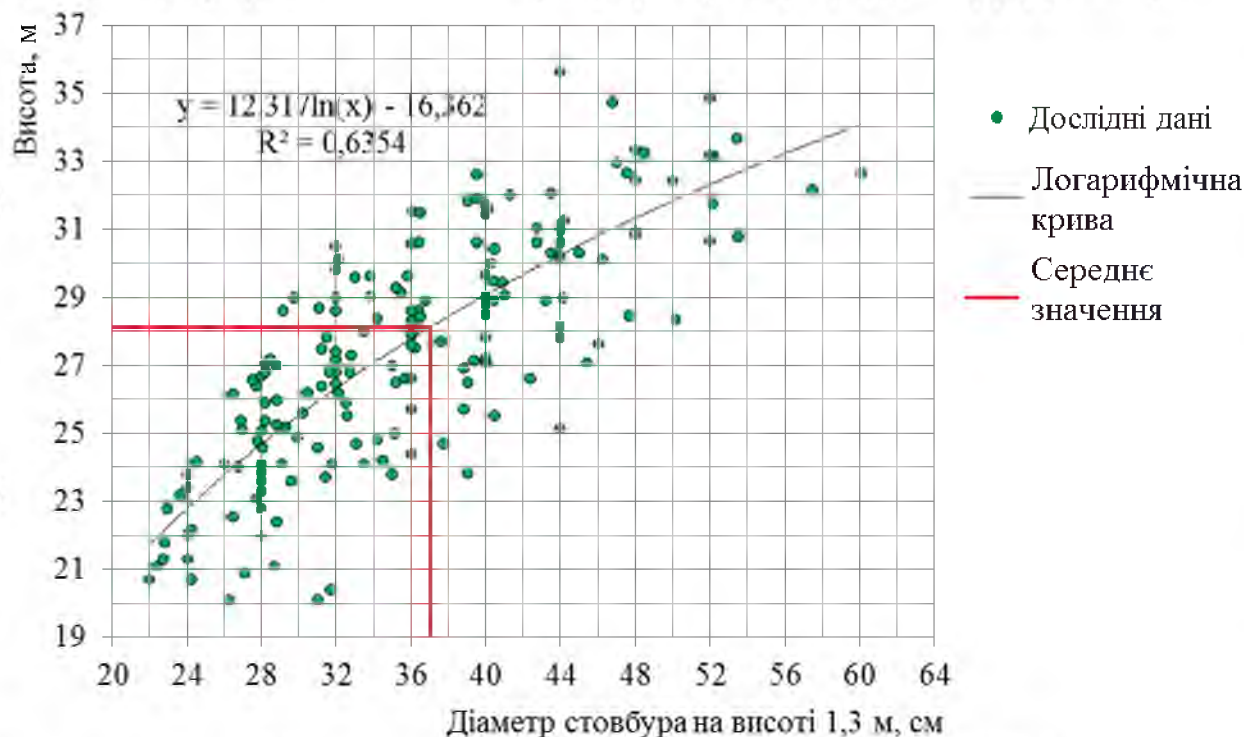


Рис. 2.1. Крива висот модельних дерев

Відповідно до наведених даних, кожен ступінь товщини представлений модельними деревами різних висот. Основна кількість дерев (127) знаходиться в діапазоні 28-40 см за діаметром та в діапазоні 24-31 м за висотою. Отриманий розподіл первинних дослідних матеріалів охоплює Іа-ІІІ розряди висот деревостанів [25]. Це вказує на те, що вибірка є репрезентативною. Відповідно до табличних даних розряд висот всього масиву становить І.

### 2.3. Характеристика дослідних даних

В табл. 2.2 наведена статистична характеристика модельних дерев.

Таблиця 2.2

## Статистична характеристика модельних дерев

Таксаційний показник	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє арифметичне значення	Стандартне відхилення
Діаметр у корі на висоті 1,3 м, см	22,0	60,0	35,9	8,0
Висота, м	20,1	35,6	27,4	3,4
Старе видове число ( <i>f</i> )	0,435	0,472	0,453	0,008
Об'єм стовбура у корі, м <sup>3</sup>	0,371	4,029	1,358	0,723
Об'єм стовбура без кори, м <sup>3</sup>	0,329	3,575	1,204	0,642

З вище наведених даних можемо оцінити діапазон мінливості таксаційних показників модельних дерев сосни звичайної. Висоти відібраних дерев коливаються від 20,1 до 35,6 м, а діаметри – від 22,0 до 60,0 см. Від розмаху таксаційних показників залежить репрезентативність вибірки. Аналізуючи отримані дані, помічаємо, що вибірка є репрезентативною. Завдяки цьому при подальшій обробці даних буде отримана адекватна математична модель.

Отже, зібрані дослідні дані характеризуються широким діапазоном мінливості таксаційних показників. Враховуючи цей факт, можемо зробити висновок, що максимально враховуються особливості кожного модельного дерева, яке знаходиться у вибірці.

Таблиця 2.3

## Розподіл якісних зон стовбура за відносними висотами модельних дерев, %

Клас якості	Відносна висота стовбура			
	<0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	>0,75
A	4	-	-	-
B	8	2	-	-
C	6	15	2	-
D	21	14	27	1

Згідно з наявним розподілом якісних зон за відносними висотами модельних дерев (табл. 2.3) найбільша їхня зосередженість від окоренка до  $0,25h$  стовбура. При цьому підтверджується закономірність, що найвища якість ділової деревини в окоренковій зоні стовбура. З наближенням до верхівки стовбура якість деревини знижується. На відносній висоті  $0,75h$  і вище практично відсутні зони ділової деревини, це пов'язано зі збігом стовбура і невідповідністю діаметра лісоматеріалів мінімальному нормативному діаметру для ділової деревини.

Таблиця 2.4  
Статистична характеристика якісних зон стовбура

Клас якості	Середня довжина зон, м	Основна помилка ( $\delta_i$ ), м	Кількість зон	Середнє квадратичне відхилення ( $\sigma$ ), м	Межі довірчих інтервалів при ймовірності 0,95, м	
					нижня	верхня
A	4,81	1,080	27	0,209	4,39	5,24
B	4,37	0,950	69	0,114	4,14	4,60
C	4,89	0,986	156	0,0789	4,74	5,05
D	3,67	1,020	426	0,0497	3,57	3,77

Статистична оцінка якісних зон стовбура виконана з використанням системи  $R_L$  (табл. 2.4). Найбільша кількість якісних зон стовбура припадає на лісоматеріали класу якості D. При більшій кількості спостережень середнє квадратичне відхилення знижується, що дуже чітко прослідковується. Для прогнозування виходу круглих лісоматеріалів за класами якості необхідна значна кількість спостережень. При цьому, найнижча точність забезпечується для лісоматеріалів класу якості A, які мають найбільшу цінність.



Таблиця 2.5

Середня довжина якісних зон стовбура за висотою та ступенями товщини модельних дерев

Діаметр стовбура на висоті 1,3 м, см	Висота стовбура, м																
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
24	–	3,65	4,50	3,67	3,50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
28	2,50	3,50	3,88	3,83	3,13	3,94	3,89	4,07	–	3,67	–	–	–	–	–	–	–
32	3,58	–	–	–	3,08	3,63	3,52	3,80	4,08	3,57	3,57	4,00	–	–	–	–	–
36	–	–	–	–	3,75	3,58	3,83	3,75	3,81	3,60	3,67	4,17	3,68	–	–	–	–
40	–	–	–	–	4,50	–	3,25	3,87	3,83	3,81	4,08	4,08	3,92	4,50	–	–	–
44	–	–	–	–	–	3,50	–	4,50	3,42	4,50	3,88	4,14	3,30	–	–	–	4,50
48	–	–	–	–	–	–	–	–	3,58	–	4,50	4,33	4,17	3,57	–	4,50	–
52	–	–	–	–	–	–	–	–	3,25	–	–	3,71	3,96	3,44	3,30	4,50	–
56	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,50	–	–	–	–
60	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,88	–	–	–

Спостерігається пряма залежність, зі зростанням висоти стовбура збільшується середня довжина якісних зон стовбура за висотою (табл. 2.5), до виключень належать випадки з незначною кількістю спостережень. Стійкість розподілів якісних зон стовбура за ступенями товщини і висотою знижується через низьку кількість спостережень.

## 2.4. Модель умовного розкрязування стовбурів

Щоб виконати умовне розкрязування стовбурів використовувався спеціальний алгоритм для оцінки розмірно-якісної структури стовбурів. Він передбачає певну послідовність розрахунків для визначення розмірно-якісної структури стовбурів. Алгоритм виконує ряд задач:

- визначає відмітки, які ділять стовбур на лісоматеріали, при цьому щоб отримані колоди задовольняли зазначені умови;
- обчислює об'єми лісоматеріалів для кожного модельного дерева.

У програмі ПЕРТА, яка була розроблена на кафедрі таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України, а також у дослідженнях М. О. Полякова, О. В. Полякова, [35-37] застосований схожий алгоритм розкрязування.

Використавши попередні напрацювання та сучасні можливості комп'ютерного апаратного і програмного забезпечення, зусиллями кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України з використанням системи R було розроблено новий алгоритм умовного розкрязування стовбурів, який враховує потреби сьогодення. Для застосування алгоритму і отримання бажаних результатів необхідно виконати певну послідовність дій.

По-перше необхідно ввести вхідні дані модельних дерев: діаметр стовбура на висоті 1,3 м, його висота, класи якості круглих лісоматеріалів та висота топок, на яких відбувається зміна класів якості, починаючи від окоренкової частини стовбура до його вершини.

По-друге необхідно визначити відповідну математичну модель твірної та розрахувати параметри моделі. Для роботи алгоритму необхідно також розробити паспорт лісоматеріалів у якому зазначені: класи якості, мінімальна та максимальна довжина лісоматеріалів відповідного класу якості, їх градацію за довжиною, мінімальний та максимальний діаметри. Класи якості у паспорті записуються від найвищого до найнижчого, останніми вписують характеристику дров'яних лісоматеріалів.

При запуску алгоритм послідовно аналізує модельні дерева, починаючи свою роботу від окоренкової зони стовбура, рухаючись до вершини. При цьому

алгоритм виконує порівняння результатів розкрязування кожної зони стовбура безпосередньо на лісосіці з вимогами паспорта лісоматеріалів, перевіряючи кожен клас якості. Коли при розкрязуванні частина лісоматеріалу вищого

класу якості відрізається і його довжина не задовольняє вимоги до мінімальної довжини лісоматеріалів цього класу, то клас якості такого відрізка знижується і

об'єднується з лісоматеріалом такого ж класу якості. Після цього знову відбувається перевірка вимог паспорта до лісоматеріалу відповідного класу якості, перевірка залишків лісоматеріалів і подальший перехід до наступної

зони. Алгоритм завершує роботу в точці, враховуючи кратність. Коли алгоритм

завершить перевірку першого модельного дерева, відбувається перехід до наступного і подальша його обробка за зонами.

Щоб визначити об'єм стовбурів та окремих його частин використовувалась формула Сімпсона на основі твірної стовбура з

застосуванням рівняння А. Козак (2004) [55], при цьому для отримання

параметрів для функцій твірної була використана база даних стовбурів сосни звичайної кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБІП України. Вони

були підібрані в системі R за допомогою статистичного пакету *nlme* [54]. До

цього кроку довелося вдатися для отримання результатів максимально

наближених до реальних умов, оскільки вибірка із 30 модельних дерев з замірами їх двохметрових секцій, зібрана під час попередніх досліджень, була недостатньою для представлення всієї генеральної сукупності.

Для отримання точніших результатів розрахунку стовбур поділявся на

100 рівних частин, враховуючи умову: чим коротша секція, тим точніше буде

розраховано об'єм. Оскільки, під час збору первинних дослідних матеріалів вимірювалися діаметр на висоті 1,3 м та висота стовбура, а заміри окремих

двохметрових секцій стовбура не виконувалась, то було прийнято рішення

змодельовати форму деревних стовбурів, використавши функцію твірної

А. Козак (2004) (3.11) з підібраними параметрами (табл. 3.1) та формулу

Сімпсона (3.6), з застосуванням якої розраховували об'єми стовбурів модельних дерев в системі R. Входами для побудови твірної кожного окремого стовбура

слугували діаметр на висоті 1,3 м і висота дерева. Далі наведено запис алгоритму розрахунку в системі R:

```
LogVolume.Simpson_universal <- function(L, U, d, h, taper.fn, k = 100){
  df <- data.frame()
  for (n in 1:k){
    g0 <- 0.7854*(taper.fn(d = d, h = h, hi = (n-1)*1/k*(U-L) + L))^2/10000
    gm <- 0.7854*(taper.fn(d = d, h = h, hi = ((n-1)+n)/2*1/k*(U-L) +
L))^2/10000
    gt <- 0.7854*(taper.fn(d = d, h = h, hi = n*1/k*(U-L) + L))^2/10000
    df[n,1] <- rbind((U-L)/6*1/k*(g0+4*gm+gt),10)
  }
  df
}
```

Для графічного аналізу роботи алгоритму застосовували систему R з використанням пакету для візуалізації даних *ggplot2*. Завдяки цьому була виконана перевірка коректності роботи алгоритму і отримане загальне уявлення про його роботу.

## 2.5. Висновки по розділу 2

На закладених тимчасових пробних площах було обміряно 182 модельних дерева. Зібрані дослідні дані характеризуються широким діапазоном мінливості таксаційних показників. Основна кількість дерев знаходилась в діапазоні 28-40 см за діаметром та в діапазоні 24-31 м за висотою. Вибірка є репрезентативною, оскільки отриманий розподіл дослідних даних охоплював I-III розряди висот деревостанів. Відповідно до табличних даних розряд висот всього масиву дослідних даних становить I.

Значення середнього квадратичного відхилення є найвищим для лісоматеріалів класу якості А, які мають найбільшу цінність. Отже, при розробці нормативів виходу лісоматеріалів за класами якості необхідно орієнтуватися на кількість спостережень лісоматеріалів найвищого класу якості. У випадку ігнорування цих вимог спостерігатимуться значні економічні втрати, внаслідок низької точності прогнозування.

## РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РОЗМІРНО-ЯКІСНОЇ СТРУКТУРИ ДЕРЕВИНИ СТОВБУРІВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ

### 3.1. Теоретичні передумови оцінки розмірно-якісної структури деревини

Для організації лісокористування необхідні таксаційні таблиці, що відображають розмірно-якісну структуру деревостанів, які є основними нормативами при якісній та кількісній оцінці лісових ресурсів. Значний внесок

у методологію вивчення таких закономірностей та вдосконалення методики складання таксаційних таблиць внесли видатні вчені: О. В. Тюрін [47, 48], Є. Н. Фалалєєв [49], М. Л. Дворецький [18], Н. В. Третьяков [46], П. В. Горський [16], Ф. П. Мойсеєнко [31], В. М. Поляков [38], В. К. Захаров [23], М. П. Анучин [3-5], В. В. Антанайтіс [1, 2], Д. П. Столяров [45], В. В. Загрєєв [21, 22], К. С. Ікікін [34], Н. Н. Свалов [41], А. Г. Мошкальов [33], П. М. Верхунов [11-14], П. А. Соколов [42, 43], І. І. Гусєв [17], А. С. Михайлов [27, 28], В. Л. Чорних [50], А. А. Домрачев [19], А. С. Єлсуков [20] та інші.

Існує безліч методів складання сортиментних та товарних таблиць. Таксація розмірно-якісної структури запасу може проводитися для окремих деревостанів або лісових масивів, від цього змінюються методи сортиментації запасу лісу. Вибір методу залежить від мети, точності вимірювань, трудовитрат та характеру використання отриманих матеріалів.

Існують такі види сортиментних таблиць:

а) за сферою застосування:

- загальні;
- регіональні.

б) за методикою складання на основі:

- таблиць збігу;
- натурального розкрязування на пробних площах.

в) за планом побудови:  
– спрощені, що показують вихід сортиментів лише за категоріями крупності;

– розмірно-якісні;

– сортиментно-сортні

М. П. Дворецький [18] запропонував спрощений спосіб складання таблиць за співвідношенням довжини та об'єму комлевих відрізків стовбура. За

дослідженнями автора питома вага об'єму комлевого відрізка стовбура змінюється прямо пропорційно відсотку його довжини, обчисленому від

загальної довжини стовбура, незалежно від деревного виду, ступеню товщини та розряду висот. Враховуючи цю закономірність, автор запропонував спосіб складання сортиментних таблиць, що дозволяє позбутися обміру діаметрів

моделей за секціями та подальшого обчислення їх об'ємів.

Н. В. Третьяков [46] запропонував складати сортиментні таблиці за результатами масового розкрюжування стовбурів на лісоосіах. На його думку, таблиці, побудовані за таблицями збігу, мають ряд методичних недоліків:

– не враховують різницю у формі та розмірах дерев, що входять в один ступінь товщини;

– неможливо передати все різноманіття виходу сортиментів за якістю, що отримуються при суцільному розкрюжуванні стовбурів кожного ступеню товщини,

– у виробничих умовах об'єм лісоматеріалів встановлюють за діаметром у

верхньому відрізі та довжині, а у сортиментних таблицях вони визначені за об'ємами двохметрових секцій на підставі таблиць збігу стовбурів, що призводить до розбіжностей в обліку лісоматеріалів.

Н. П. Анучин [3] прийшов до висновку, що відносна довжина ділової частини, виражена в частці від висоти стовбура, в окремих ступенях товщини

деревостану виявляється майже однаковою, тому дослідження виходу сортиментів можна вести лише в основних ступенях товщини даного деревостану і запропонував складання таблиць за довжиною ділової частини

ствобурів та черговості виходу сортиментів з них. В. Л. Черних та ін. (2001) розробили метод математичних моделей складання таблиць на основі масиву експериментальних матеріалів. Для деревного виду складаються дві

математичні моделі: твірної стовбура та якісного складу деревини за довжиною стовбура залежно від природних чинників (середній вік деревостану, тип лісу, повнота, склад деревостану).

Об'єктом обліку сортиментних таблиць у лісовому господарстві є окремих елемент лісу. Страти є сукупністю лісових ділянок чи деревостанів, які мають однакові величини тих чи інших середніх таксаційних показників за породами: вік, діаметр, висота, клас товарності, клас бонітету та інші. Для виявлення виходу лісоматеріалів у стратах використовуються таблиці, які дають відразу підсумковий розподіл запасу деревостану у відсотках з розподілом на окремі лісоматеріали, названі згодом товарними.

В основі товарних таблиць лежать закономірності будови сукупностей елементів лісу за категоріями технічної придатності дерев залежно від середнього діаметра деревостанів, що виявляються лише у великих сукупностях. При таксації окремого деревостану за товарними таблицями можуть виявитися суттєві помилки у виході сортиментів, що є їх недоліком.

Серед вітчизняних науковців значний вклад у дослідження щодо визначення розмірно-якісної структури деревостанів, розроблення і вдосконалення відповідних методів сортиментації, побудову сортиментних і товарних таблиць К. Є. Нікітін, А. З. Швиденко, А. А. Строчинский та С. М. Кашпор [34, 25]. Науковцем, який вперше у вітчизняній науці широко

використовував математичні методи дослідження і поєднував їх з використанням комп'ютерної техніки в лісотаксаційних дослідженнях був Нікітін К. Є. [34]. Комп'ютерну програму ПЕРТА, слід визнати найвагомим його внеском у розвиток вітчизняної таксації. Її і сьогодні використовують

науковці НУБіП України у своїх дослідженнях. На сьогодні питання моделювання і оцінки розмірно-якісної структури деревостанів розкривають у своїх дослідженнях В. В. Миронюк, В. Б. Биченко та В. В. Биченко [6-9]. Тому

# НУБІП УКРАЇНИ

значну увагу в дослідженнях цього питання необхідно приділити вивченню іноземного досвіду [59].

## 3.2. Використання моделей твірної для обчислення об'єму стовбурів

### 3.2.1. Об'єм стовбура та його частин, методи його визначення.

деревини, що міститься в стовбурі дерева, є одним з найважливіших показників, що вимірюються в лісовому господарстві, тому що:

– деревина є основним товарним продуктом лісів;

– стовбур містить дуже велику частку біомаси дерева.

Цікавими для лісового господарства є не лише загальний об'єм стовбура дерева, а й об'єми окремих «колод» – круглих лісоматеріалів. Для кількісної

характеристики круглих лісоматеріалів можна також використовувати вагу, але

це складно реалізувати, враховуючи те, що лісоматеріали мають різну якість і

здійснювати вимірювання ваги кожного окремого лісоматеріалу є

нерациональним. Таким чином, по суті, об'єм залишається важливою змінною

для характеристики розміру лісоматеріалів. Існують такі групи способів

визначення об'єму зрубаного деревного стовбура та його частин:

а) фізичні, засновані на законах фізики;

б) математичні, які використовують закони стереометрії;

в) автоматизовані з використанням ЕОМ.

До фізичних способів визначення об'єму стовбура відносяться ксилметричні та вагові. Ксилметричні методи базуються однією із законів

Архімеда, за яким тіло, занурене у воду, витісняє рівновеликий її обсяг. Для реалізації цього закону було запропоновані спеціальні прилади, названі

ксилометрами. Перші їх конструкції були розроблені Геннертом (1782) та

Рейсигом (1837). У 1846 році Гейер запропонував ксилومتر з постійним

рівнем води, в якому міра води, що вилілася, визначає обсяг зануреного тіла.

Р. Гартіг у 1851 році сконструював прилад – циліндр із змінним рівнем води на принципі сполучених посудин [10]. Надалі були запропоновані інші конструкції



цих приладів. На зазначених кілометрах відліки рівня води за відградуваною шкалою беруться до і після занурення тіла у воду, з різних цих значень визначається об'єм предмета. Для визначення об'єму всього стовбура зазначеними приладами необхідно виконувати розкрязування і вимірювання кожної частини окремо.

Ваговий спосіб заснований на співвідношенні між масою тіла, його щільністю та об'ємом (3.1):

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad (3.1)$$

де  $V$  – об'єм стовбура та його частин, м<sup>3</sup>;

$m$  – маса стовбура, кг;

$\rho$  – щільність деревини, кг/м<sup>3</sup>.

Ваговий спосіб обліку практично застосовується за неможливості визначення обсягу деревини стереометричними методами.

Стереометричні способи визначення об'єму засновані на наближенні стовбура до правильних тіл обертання та математичному описі кривої твірної стовбура. Практично завдання визначення об'єму стовбура може бути вирішене методами наближених обчислень певних інтегралів з доведенням результатів до необхідних величин.

Підставою для виведення математичних формул визначення об'єму деревного стовбура є такі положення:

1. Стовбур за своєю формою, як тіло обертання близький до параболоїда, твірну якого можна приблизно описати формулою (3.2).

$$d^2 = a_0 + a_1 \cdot l + a_2 \cdot l^2 + a_3 \cdot l^3. \quad (3.2)$$

Площі перерізів стовбура передаються таким самим зв'язком:

$$g = a_0 + a_1 \cdot l + a_2 \cdot l^2 + a_3 \cdot l^3, \quad (3.3)$$

де  $d$  – діаметр, см;

$g$  – площа поперечного перерізу стовбура, м<sup>2</sup>;  
 $l$  – відстань від шийки кореня до точки заміру, м;  
 $a_1, a_2, a_3$  – деякі постійні коефіцієнти.

2. Об'єм стовбура довжиною  $h$  можна розглядати, як суму об'ємів нескінченної кількості безмежно коротких відрізків довжиною  $\Delta l$  та площею перерізу  $g$ .

Об'єм елементарного відрізка приймається наближеним до об'єму циліндра. Отже, об'єм всього стовбура розраховується за формулою (3.4):

$$V = \int_0^h g \cdot \Delta l = l \cdot \left( a_0 + \frac{a_1 \cdot l}{2} + \frac{a_2 \cdot l^2}{3} + \frac{a_3 \cdot l^3}{4} \right) \quad (3.4)$$

За кількістю замірів на стовбурі і досяжної точності формули визначення об'єму стовбура поділяються на прості, спрощені та складні. У порівнянні з цілим деревним стовбуром окремі його частини більш наближаються до правильних тіл обертання, що значно полегшує визначення їх об'ємів.

Складними формулами об'єму називають такі, для використання яких таксований стовбур поділяють на рівні секції і на вершинну частину. Вимірювання діаметрів роблять у кожній з них. Загальний об'єм стовбура (3.5) при цьому одержують як суму величин зазначених відрізків:

$$V_{\text{ст}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n + V_{\text{вер}}, \quad (3.5)$$

де  $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$  – об'єм відповідних секцій стовбура, м<sup>3</sup>;  
 $V_{\text{вер}}$  – об'єм верхівки, м<sup>3</sup>.

Дослідження Н. В. Третьякова (1915) [10] показали, що похибка, допущена при визначенні об'єму вершини, лише незначно позначиться на об'ємі всього стовбура. Отже, в наших дослідженнях використовувались

складна формула визначення об'єму стовбура Сімпсона з використанням спеціального автоматизованого алгоритму реалізованого в середовищі програмування R. При цьому сума об'ємів секцій стовбура складає загальний об'єм стовбура, для кожної секції підбираються окремі параметри рівняння.

Об'єми секцій знаходяться за формулою:

$$V_i = 7,854 * 10^{-4} * \frac{l_i}{6} * (d_H^2 + 4 * d_C^2 + d_B^2), \quad (3.6)$$

де  $l_i$  – довжина  $i$ -того відрізка стовбура, м;

$d_H, d_C, d_B$  – відповідно нижній, серединний та верхній діаметри  $i$ -того відрізка.

### 3.2.2. Моделювання твірних деревних стовбурів та їх застосування

для визначення об'ємів. Для врахування розмірних характеристик об'єму ділової деревини необхідно мати модель збігу стовбурів відповідного деревного виду. В зв'язку з цим найдосконаліші методи оцінки об'єму ділової деревини пов'язані з твірною стовбура, яка дозволяє спрогнозувати діаметри стовбура від окоренка до верхівки та обчислити об'єм будь-якого ділового

відрізка стовбура. Моделі твірних деревних стовбурів умовно можна класифікувати [51]:

– за кількістю змінних:

а) прості моделі, містять одну незалежну змінну;

б) множинні моделі, містять дві і більше незалежних змінних;

– за способом залежно від методу задавання математичної моделі:

1) простих функціональних залежностей (логарифмічні та поліноміальні криві, степеневі рівняння, тригонометричні функції);

2) з виділенням окремих зон методом сплайн функції;

3) моделювання твірної з застосуванням степенєво-показникових рівнянь.

Моделі першої групи описують збіг стовбура по всій його довжині. Прикладом простого рівняння є параболічна функція твірної деревного стовбура (3.7), яку обґрунтував А. Kozak у 1969 році [55]:

$$\frac{d_i^2}{d^2} = a_1 + a_2 \left(\frac{h_i}{h}\right) + a_3 \left(\frac{h_i^2}{h^2}\right), \quad (3.7)$$

де  $h$  – висота стовбура, м;

$d_i$  діаметр на будь-якій заданій висоті ( $h_i$ ) над землею, см;

$a_1, a_2, a_3$  – коефіцієнти регресії.

Функції твірної забезпечують максимальну гнучкість для обчислення об'ємів будь-яких визначених ділянок стовбура. Проте, форма стовбура дуже мінлива і має декілька точок перегину, тому важко точно описати їх форми по всій довжині з застосуванням рівняння параболі другого порядку. Відомим є той факт, що з кожним кроком ітерації точність поліноміальних кривих підвищується. Найдоцільніше використовувати поліноми не вище п'ятого порядку, оскільки за збільшенням порядку зростає складність розрахунків, а ефект від підвищення точності розрахунків є незначним.

Останні два способи моделювання твірної деревного стовбура спрямовані на розробку адекватнішого опису форми стовбура по всій його довжині, ніж того, що отримуємо з використанням простих рівнянь.

Моделі другої групи засновані на такій умові за якою частини стовбура дерева наближаються до певних геометричних тіл обертання. Нижня частина стовбура приймається подібною за своєю формою до найлоїда, середня – параболоїда, а верхня – конуса. За такої умови необхідно застосувати три рівняння, по одній для нижнього, середнього та верхнього сегментів. Ці три функції об'єднуються і формують єдину модель, яка встановлюється за використанням методу сплайн функції.

Max T. A. і H. E. Burkhard в 1976 році [52] використали квадратичну функцію Kozak et al. розроблену у 1969 році для опису збігу стовбура у трьох

його сегментах, встановленого сегментованими моделями регресії поліномів. Сегментовані моделі поліномів складаються з послідовності деяких функцій, які описують форму стовбура. Такі функції об'єднуються і утворюють сегментовану поліноміальну модель. Узагальнюючи запис сегментованої

поліноміальної моделі, вона матиме такий вигляд (3.8):

$$y = f(x) + \varepsilon, \quad (3.8)$$

де

$$f(x) = \begin{cases} f_1(x, b_1), & a_0 \leq x \leq a_1 \\ f_2(x, b_2), & a_1 < x \leq a_2 \\ \dots & \dots \end{cases}$$

$$= \dots \begin{cases} f_r(x, b_r), & a_{r-1} < x \leq a_r \end{cases}$$

де  $b_i$  – вектори параметрів, що підлягають оцінці.

Сегментована поліноміальна функція твірної, розділена на три частини з трьома параметрами – кожен та двома точками з'єднання, необхідно оцінити 11 параметрів. Накладаючи обмеження, що діаметр стовбура на верхівці дерева дорівнює нулю, знижуємо кількість параметрів на один. Наступні два обмеження застосовують умову, що приєднані функції є плавними і безперервними. Індикаторні змінні поєднують рівняння частин стовбура в єдину функцію, внаслідок цього кількість параметрів для оцінки зменшується до шести. Враховуючи накладені обмеження, функція твірної набула вигляду (3.9):

$$y = b_1 * (x - 1) + b_2 * (x^2 - 1) + b_3 * (a_1 - x)^2 * I_1 + b_4 * (a_2 - x)^2 * I_2, \quad (3.9)$$

$$y = \frac{d_i^2}{d^2}; x = \frac{h_i}{h},$$

$$I_1 = 1 \text{ якщо } x \leq a_1, \text{ інакше } I_1 = 0;$$

$$I_2 = 1 \text{ якщо } x \leq a_2, \text{ інакше } I_2 = 0;$$

де  $b_1, b_2, b_3, b_4$  – параметри рівняння;

$a_1, a_2$  – вузлові точки, що забезпечують неперервність функції;

$I_1, I_2$  – індикаторні змінні.

Моделі третьої групи використовують прості безперервні функції, які описують форму стовбура дерева з різними показниками від основи до верхівки з врахуванням нейлоїдної, параболоїдної та конічної форм. Моделі твірної цього типу вперше були розроблені у 1988 році R. Newnham [57] та A. Kozak [55]. Метод змінної експоненти ґрунтується на тому, що підібрані параметри  $z$  і  $y$  працюють, як проста функція (3.10):

$$y = z^c \quad (3.10)$$

де  $c$  – показник, який змінюється по всій довжині твірної стовбура з метою найкращого узгодження з форми стовбура дерева.

Для характеристики збігу стовбура у корі була використана функція твірної деревного стовбура А. Kozak (2004) (3.11):

$$d = a_1 * D^{a_2} * H^{a_3} * \left[ 1 - z^3 \right]^{a_4} \left[ 1 - p^3 \right]^{a_5} \left[ \frac{1 - z^3}{1 - p^3} \right]^{a_6} \left[ \frac{1 - z^3}{1 - p^3} \right]^{a_7} \left[ \frac{1 - z^3}{1 - p^3} \right]^{a_8} \left[ \frac{1 - z^3}{1 - p^3} \right]^{a_9} \quad (3.11)$$

де  $d$  – діаметр стовбура на висоті  $h$ , см;  $D$  – діаметр стовбура на висоті 1,3 м, см;  $h$  – висота на певному рівні;  $H$  – висота стовбура;  $a_1, a_2 \dots a_9, p$  – параметри рівняння.

Параметри рівняння наведено в табл. 3.1

Параметри математичної моделі твірної стовбурів сосни звичайної

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$
0,93704	0,95933	0,06395	0,39858	0,08320	0,34734	-0,47897	-0,00112	0,04563

Поставлена задача викликала потребу у розробленні математичної моделі збігу стовбура без кори. Враховуючи бажання уніфікувати методикку моделювання і специфіку зміни товщини кори від окоренка до верхівки різних деревних видів, перехід від діаметра стовбура у корі до діаметра стовбура без кори проведено із використанням математичної моделі співвідношення цих діаметрів:

$$\frac{d_i^{bk}}{d_i} = 1 - \left( a_1 \cdot \exp\left(-b_1 \cdot \frac{h_i}{h}\right) + a_2 \cdot \exp\left(b_2 \cdot \frac{h_i}{h}\right) \right) \quad (3.12)$$

де  $d_i^{bk}$  – діаметр стовбура без кори на висоті  $h_i$  м, см.

Підгонку значень, які характеризуються складними (наприклад, U- та обернено J-подібними) розподілами дозволяє виконувати наведене рівняння. Моделювання тенденцій зміни відношення діаметрів стовбура, що теж характеризується складними закономірностями можливе за рахунок введення

одиниці в праву частину моделі. Параметри функції моделювання кори наведено в табл. 3.2

# НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 3.2

Параметри математичної функції відношення діаметра стовбура без кори до діаметра у корі

$a_1$	$a_2$	$b_1$	$b_2$
0,1296	$3,041 \cdot 10^{-3}$	4,817	3,578

Степеново-показникові функції є ефективними для оцінки і прогнозування збігу по всій довжині деревного стовбура, при цьому у них є певні недоліки:

# НУБІП УКРАЇНИ

- їх неможливо аналітично інтегрувати для обчислення об'ємних стовбурів;

- модель може проявляти сильну мультиколінеарність, якщо вираз для експоненти  $x$  має кілька термінів  $x$ ;

# НУБІП УКРАЇНИ

- використання ітераційних методів обмежене визначенням діаметру для оцінки висоти стовбура.

Важливо зазначити високу точність та низьку складність цього методу оцінки об'єму та висоти стовбурів. При використанні цього методу, крім прогнозування загального об'єму стовбура, також можна оцінити й розмірну структуру, а саме спрогнозувати вихід сортиментів. Першими з застосуванням цього методу для моделювання твірної деревного стовбура у 1988 році свої дослідження розпочали R. Newnham та A. Kozak [55], після цього інші автори

# НУБІП УКРАЇНИ

дотримувались того ж способу мислення. При цьому вони застосовували різні показники та базові рівняння. Причиною того, що даний метод майже не

# НУБІП УКРАЇНИ

використовувався у вітчизняній лісовій таксації були недоліки методу названі

вище, а також неможливість застосування даного методу без ґрунтового розуміння теоретичних основ, наявності сучасних програм і алгоритмічного забезпечення.

# НУБІП УКРАЇНИ



Відповідно до проведених досліджень модель [30] А. Kozak (2004) найкраще описує форму деревного стовбура. Максимальні відхилення не перевищували 1 % від фактичних даних за рівнянням А. Kozak (2004), для рівнянь М. Sharma (2009) і Z. Weisheng (1997) в окремих випадках – досягали 3%. Саме тому в наших дослідженнях було використано степеневопоказникове рівняння А. Kozak (2004). З недоліків можна виділити лише вищу складність роботи моделі, так як для роботи моделі замість чотирьох змінних необхідно підібрати дев'ять параметрів. Як наслідок, це може обмежити коло застосування моделі, тому що за набагато нижчої складності розрахунків, точність моделювання твірних залишається на високому рівні. Запис рівняння твірної стовбура мовою програмування R має такий вигляд:

```
Kozak_2004_dib <- function(d, h, hi, a0, a1, a2, b1, b2, b3, b4, b5, b6)
  q = hi/h
  w = 1 - q^(1/3)
  X = w/(1-(1.3/h)^(1/3))
  a0*d^a1*h^a2*X^(b1*q^4+b2*(1/exp(d/h))+b3*X^(0.1)+b4*(1/d)+b5*h^w+b6*X)
```

Підбір параметрів здійснюємо за допомогою статистичного пакету *nlme*, після цього у рівняння, записане мовою програмування R, необхідно додати обчислені параметри. Після цього запис рівняння набуває наступного вигляду:

```
Kozak_2004_dib.fn <- function(d, h, hi, a0, a1, a2, b1, b2, b3, b4, b5,
b6)
  q = hi/h
  w = 1 - q^(1/3)
  X = w/(1-(1.3/h)^(1/3))
  a0 = 1.072466
  a1 = 0.995256
  a2 = -0.017839
  b1 = 0.417756
  b2 = 0.159743
  b3 = 0.277017
  b4 = -2.123889
  b5 = -0.008973
  b6 = 0.234161
  a0*d^a1*h^a2*X^(b1*q^4+b2*(1/exp(d/h))+b3*X^(0.1)+b4*(1/d)+b5*h^w+b6*X)
```

Для того, щоб у вигляді таблиці отримати значення спрогнозованих діаметрів за секціями деревного стовбура, необхідно виконати операцію:

```
mds$d_Kozak <- rpund(Kozak_2004_dib.fn(d=mds$d, h=mds$h, hi=mds$hi), 1)
```

Існує пряма залежність між ступенем полінома і кількістю точок необхідних для побудови графіка. Для моделей твірної деревного стовбура кількість двохметрових секцій деревного стовбура дорівнює кількості крєків, і може бути більше десяти.

Моделі твірної деревного стовбура мають значні переваги перед іншими методами визначення таксаційних показників, тому що їх використання надає можливість дати прогноз діаметра стовбура на вказаній висоті. Щоб отримати потрібне значення в системі *R* необхідно задати алгоритму тільки діаметр та висоту деревного стовбура. Щоб виконати операцію необхідно мовою програмування *R* виконати наступний запис:

```
d = 40; h = 25
> Kozak_2004_dib.fn(d = d, h = h, hi = 18.2)
[1] 16.0
```

Окрім цього, модель дозволяє визначити відмітку висоти стовбура з потрібним діаметром, наприклад, яка відповідає діаметру ділових сортиментів відповідної категорії. Отже, за наявності адекватної моделі, яка з високою точністю відтворюватиме все насадження, можливо дати прогноз сортиментної структури насадження.

### 3.3. Розрахунок розмірно-якісної структури стовбурів сосни звичайної

Враховуючи особливості лісозаготівель на підприємстві нами було розроблено три сценарії розкряжування деревини (табл. 3.3). На основі цих даних в системі *R* були створені паспорти лісоматеріалів, які були застосовані в наших дослідженнях для забезпечення роботи алгоритму умовного розкряжування стовбура на лісоматеріали різних класів якості.

Таблиця 3.3

## Сценарії розкрязування стовбурів сосни звичайної

Характеристика колод	Сценарій А					Сценарій Б					Сценарій В					
	А	В	С	Д	Е	А	В	С	Д	Е	А	В	С	Д	Е	
Мінімальна довжина, м	4,5	4,5	3,0	3,0	0,25	3	3	3	3	0,25	2	2	2	3	0,25	
Максимальна довжина, м	6	6	6	4,5	4,0	6	6	6	4,5	4,0	6	6	6	4	4,0	
Крок розкрязування, м	0,5	0,5	0,5	0,5	0,01	0,5	0,5	0,5	0,5	0,01	0,1	0,1	0,1	0,5	0,01	
Діаметр колод, см	без кори	25	25	15	15	–	25	25	15	15	–	25	25	15	15	–
	у корі	–	–	–	–	2	–	–	–	–	2	–	–	–	–	2

«Сценарій А» має найжорсткіші вимоги до якості лісоматеріалів, в ньому розглядається ситуація, коли покупець замовляє лише довгомірні лісоматеріали. При цьому для лісоматеріалів класу якості С і Д, вимоги трохи пом'якшуються, це необхідно для того, щоб оцінка об'єму ділової деревини була реалістичною. У тому випадку, коли до всіх лісоматеріалів встановлені жорсткі вимоги до довжини і якості, можливе значне збільшення виходу дров'яної деревини, що спотворюватиме реальну ситуацію. В ринкових умовах економіки існуючий попит і пропозиція на лісоматеріали різних класів якості, товщини і довжини, регулюють ціни на лісоматеріали.

Вимоги «сценарію Б» максимально наближені до реальних умов. Довжини лісоматеріалів коливаються в межах від 3 м до 6 м з градацією 0,5 м. Отже, при застосуванні даного сценарію для роботи алгоритму можна найбільш адекватно оцінити розмірно-якісну структуру деревостанів ДП «Золотоніське ЛП».

«Сценарій В» має найм'якші вимоги до якості круглих лісоматеріалів, мінімальна довжина лісоматеріалів визначена, зважаючи на мінімальну довжину лісоматеріалів, які реалізуються підприємством. Таким же способом визначена максимальна довжина лісоматеріалів і градація їх довжин. Цей сценарій практично повністю відтворює результати розкрязування стовбурів на лісоматеріали на лісосіці, можливі лише незначні відхилення. Завдяки

НУБІП України

застосування різних сценаріїв розкрязування стовбурів на лісоматеріали різних класів якості, можемо бачити, як впливають вимоги встановлені до круглих лісоматеріалів на розмірно-якісну структуру деревостану.

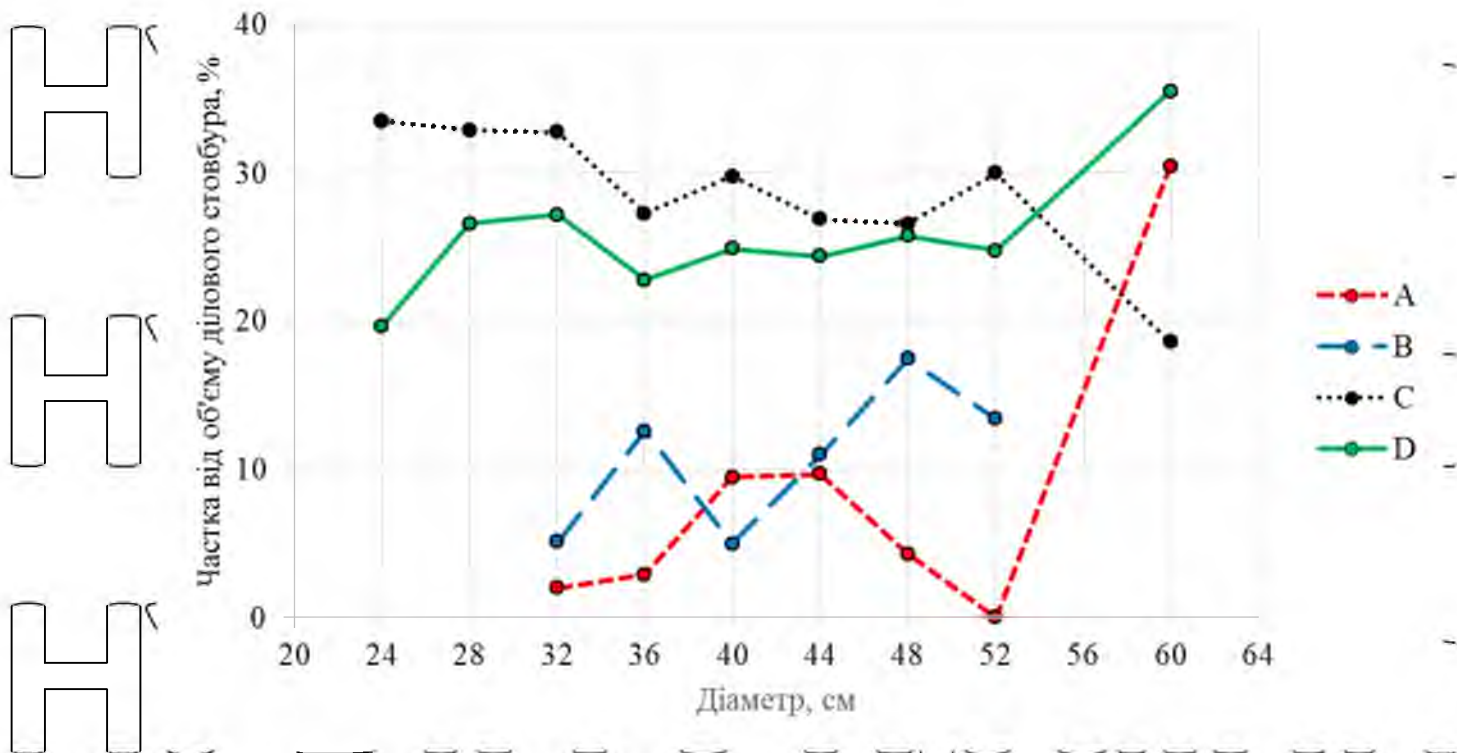


Рис. 3.1. Розподіл об'єму ділової деревини за класами якості («Сценарій А»)

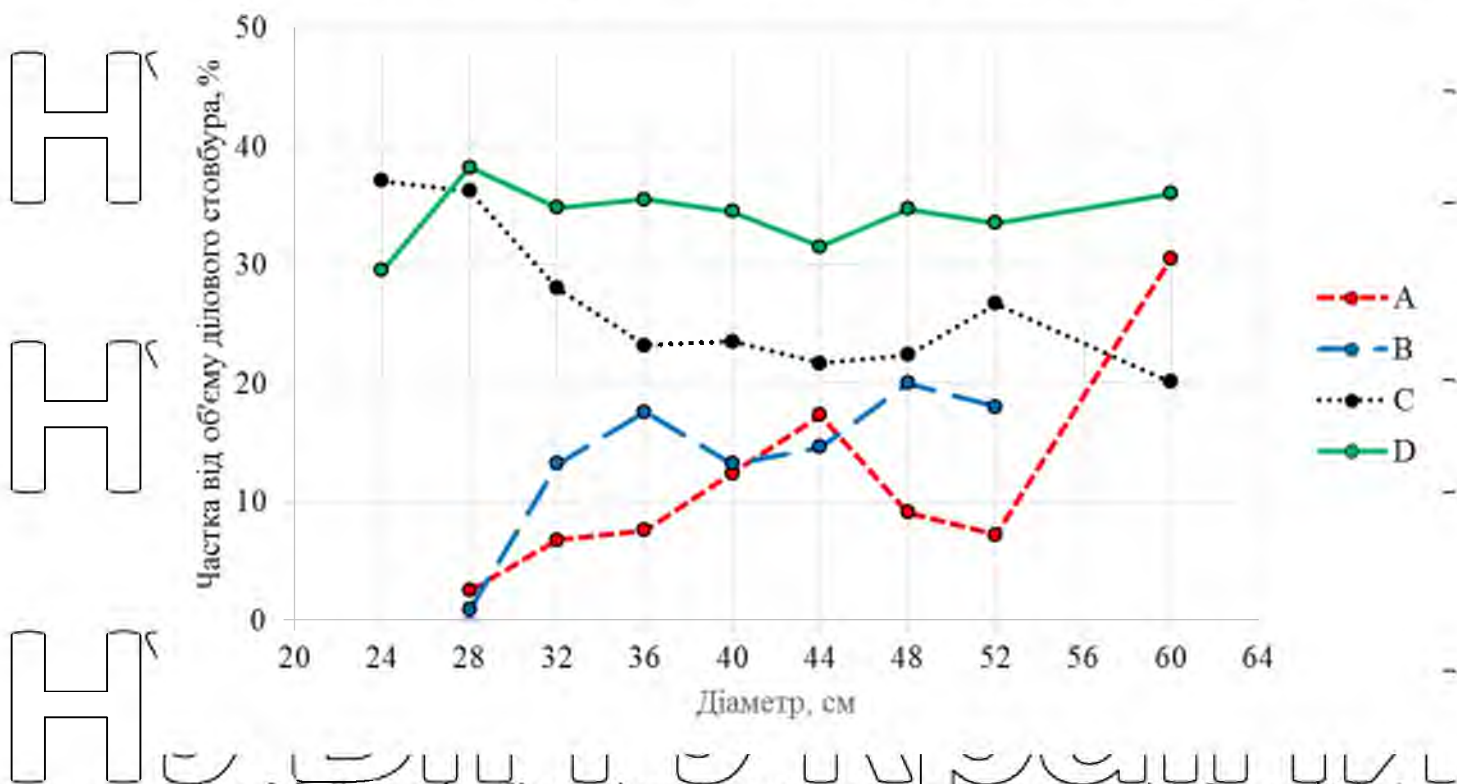


Рис. 3.2. Розподіл об'єму ділової деревини за класами якості («Сценарій В»)

Узагальнивши графічні дані зображені на рис. 3.1-3.2, можемо зробити висновок, що для оцінки розмірно-якісної структури деревостанів за класами якості потрібен більший масив дослідних даних. Кожне дерево в лісовому насадженні має багато різноманітних особливостей росту та вад, які так чи інакше впливають на розподіл заготовлених лісоматеріалів. Для побудови розподілу об'ємів ділової деревини використовувались лише ділові стовбури, у масиві первинних дослідних даних перебувало 143 ділових дерев. Отже, вибірка із 143 дерев не може відобразити всю генеральну сукупність, розподіли є нестійкими, кількість дослідного матеріалу є недостатньою для забезпечення адекватної оцінки розмірно-якісної структури насаджень за класами якості. Проте, з наявних графічних даних можна високремити деякі висновки:

- зі зростанням діаметру дерев, зростає вихід деревини лісоматеріалів класів якості А і В, це пов'язано з тим, що найбільша частина об'єму ділової деревини зосереджена в окоренковій частині стовбура;
- прослідковуються чіткі відмінності у розмірно-якісній структурі деревини за класами якості, залежно від застосованого сценарію.

За жорстких вимог до якості лісоматеріалів зростає частка деревини класу якості D зі зростанням діаметра стовбура на висоті 1,3 м. Це відбувається через те, що лісоматеріали заготовлені за результатами розкрязування на лісосіці не відповідають за своєю довжиною, відповідному класу якості, тому відбувається доточування, або просто пониження класу якості таких лісоматеріалів до колод нижчого класу якості. Коли наступна зона є вищого класу якості, ніж попередня, то відрізок який залишився, і не відповідає вимогам за довжиною до жодного з класів якості відбувається переведення у дрова. Вихід ділової деревини класу якості С майже не змінюється незалежно від сценарію, оскільки вимоги до лісоматеріалів цього класу якості за різних сценаріїв мають незначні відмінності. Стійкість розподілів об'єму ділової деревини за класами якості є нижчою за жорстких вимог до лісоматеріалів. Стійкість зростає, коли застосовуємо низькі вимоги. Наприклад, отримуємо рівномірний розподіл об'єму деревини класу якості D, незалежно від діаметра стовбура на висоті

# НУБІП УКРАЇНИ

1,3 м. Узагальнений розподіл об'ємів ділової деревини за різних сценаріїв наведений на рис. 3.3, для його побудови використані результати розкряжування лише ділових стовбурів.

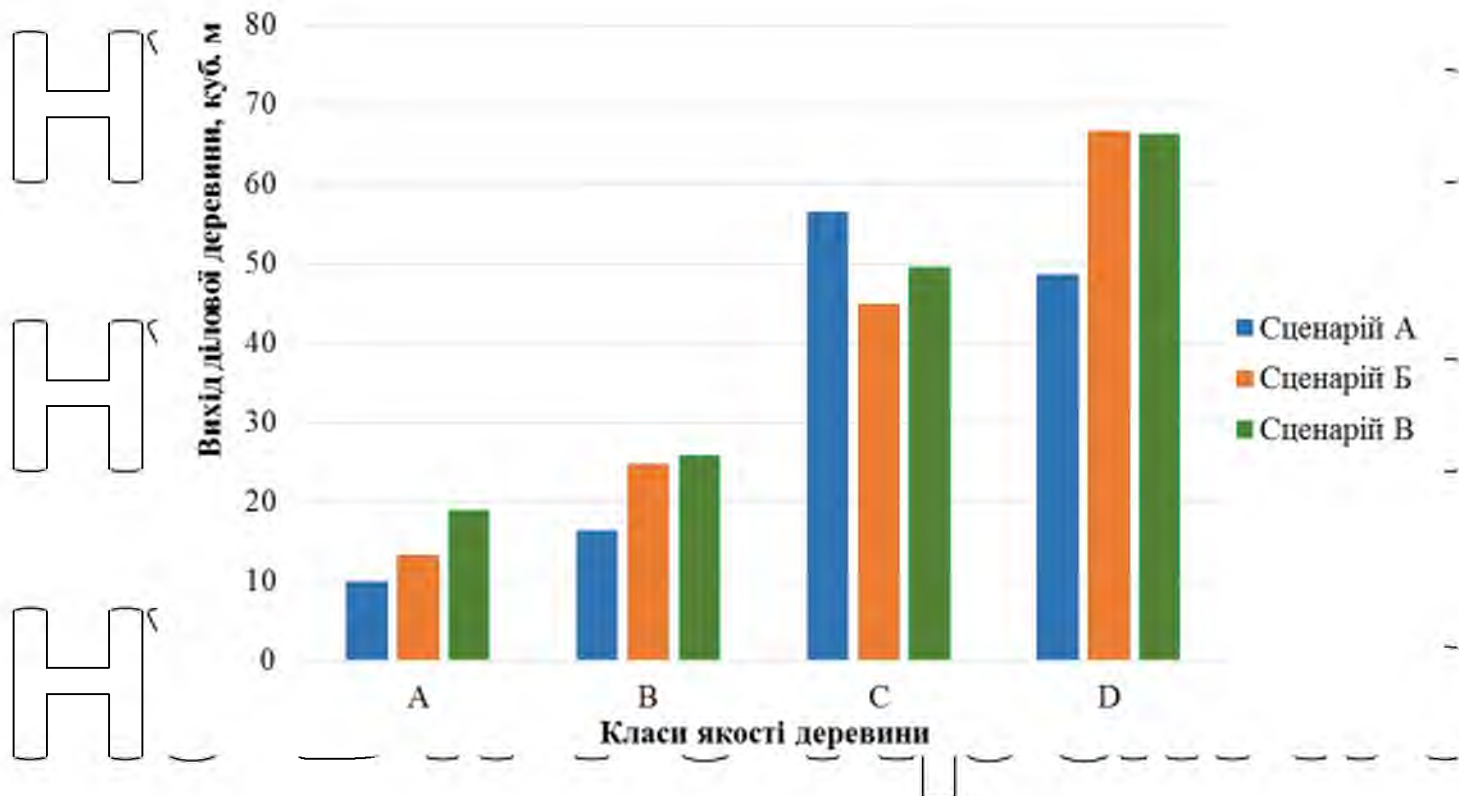


Рис. 3.3. Розподіл об'ємів ділової деревини стовбурів сосни звичайної за класами якості за різних сценаріїв розкряжування деревини

# НУБІП УКРАЇНИ

Відбувається поступове зростання виходу лісоматеріалів класу якості А і В, за пом'якшення вимог до довжини лісоматеріалів. При цьому зменшується

вихід ділової деревини класу якості С, і зростає вихід лісоматеріалів класу

# НУБІП УКРАЇНИ

якості D. Зниження виходу лісоматеріалів класу якості С пов'язано з тим, що значна частина лісоматеріалів класу якості А і В понижується в своїй якості або доточується до колод нижчого класу якості. Вихід лісоматеріалів класу якості D

зростає, оскільки менша частина деревини відповідного класу якості, яка межує

# НУБІП УКРАЇНИ

з зоною дров'яних сортиментів, потрапляє в дрва, отже розкряжування відбувається більш раціонально внаслідок пом'якшення вимог до мінімальної довжини і зниження показника градації довжин

На рис. 3.4-3.6 відображена візуалізація результатів роботи алгоритму умовного розкрязування для його порівняння з результатами розкрязування деревини безпосередньо на лісоєщі. Човний перелік графічних матеріалів, побудованих на основі роботи алгоритму за Сценарієм Б, наведено у додатку А.

Для побудови графіків була використана система R з використанням графічного пакету візуалізації даних *ggplot2*.

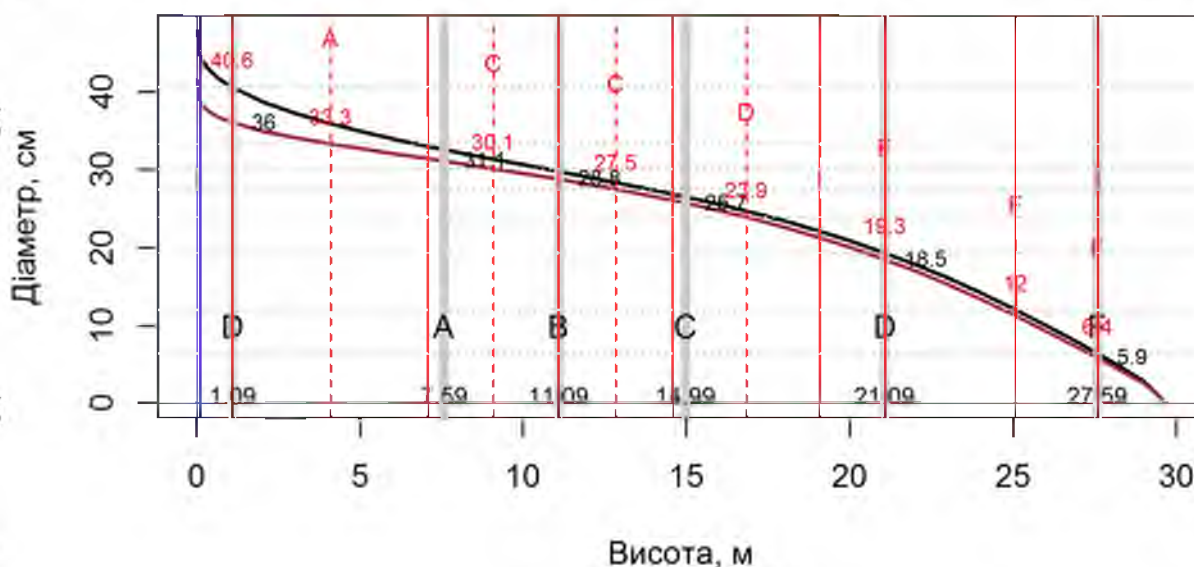


Рис. 3.4. Візуалізації результату роботи алгоритму умовного розкрязування

стовбура сосни звичайної («Сценарій А»)

Вертикальні сірі лінії позначають межі якісних зон стовбура, визначені за результатами розкрязування на лісоєщі, зі значеннями діаметрів без кори для ділової деревини та у корі для дров'яної деревини спрогнозованих за допомогою функції твірної деревного стовбура. Суцільні вертикальні червоні лінії вказують на межі лісоматеріалів відповідного класу якості, які встановлені алгоритмом умовного розкрязування; серединні діаметри ділових лісоматеріалів відображають штрихові червоні лінії; Відрізки ділової деревини (відповідно до результатів розкрязування позначені літерами А, В, С, D, дров'яної — E, чорного кольору, а визначені за результатами роботи алгоритму — червоного кольору.

На рис. 3.4 бачимо, що від окоренкової частини відрізаний дров'яний сортимент, оскільки він не відповідає за своєю довжиною до лісоматеріалів класу якості D, незалежно від обраного сценарію. Далі маємо лісоматеріал

найвищого класу якості, який відрізається максимально допустимої довжини,

його частина доточується до наступного лісоматеріалу, але оскільки мінімальна

довжина лісоматеріалів класу якості B згідно вимог до «сценарію А» має бути

4,9 м, то відбувається пониження в класі якості. Внаслідок того, що відсутня

можливість отримати два лісоматеріали класу якості D мінімальної довжини, то

алгоритм використовує максимально можливу довжину для колод відповідного

класу якості, а їх залишок відправляється в дрва.

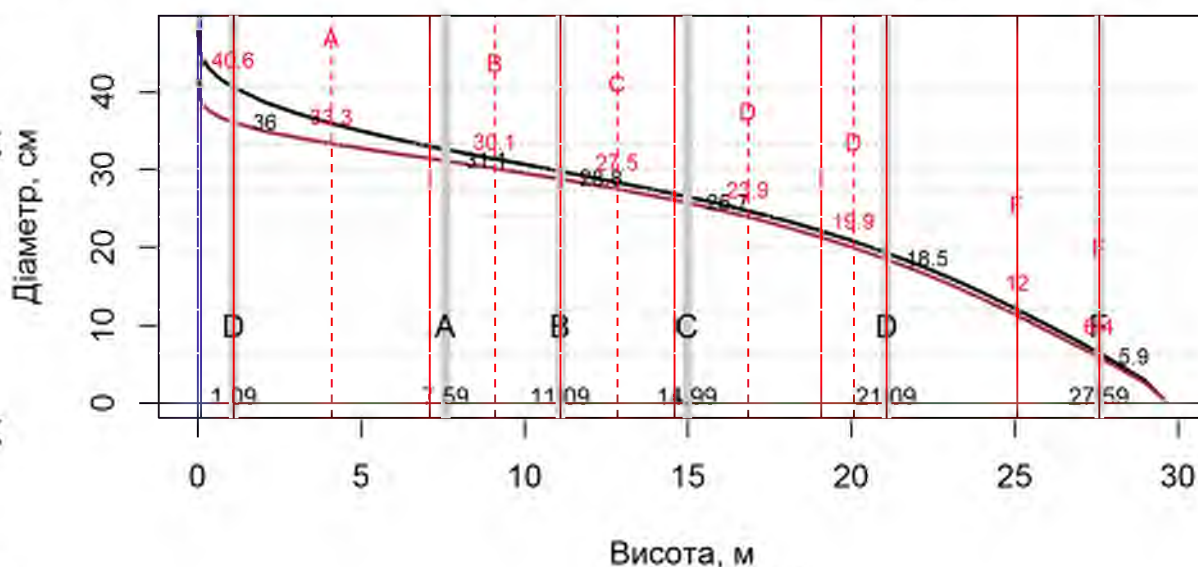


Рис. 3.5. Візуалізації результату роботи алгоритму умовного розкрязування стовбура («Сценарій Б»)



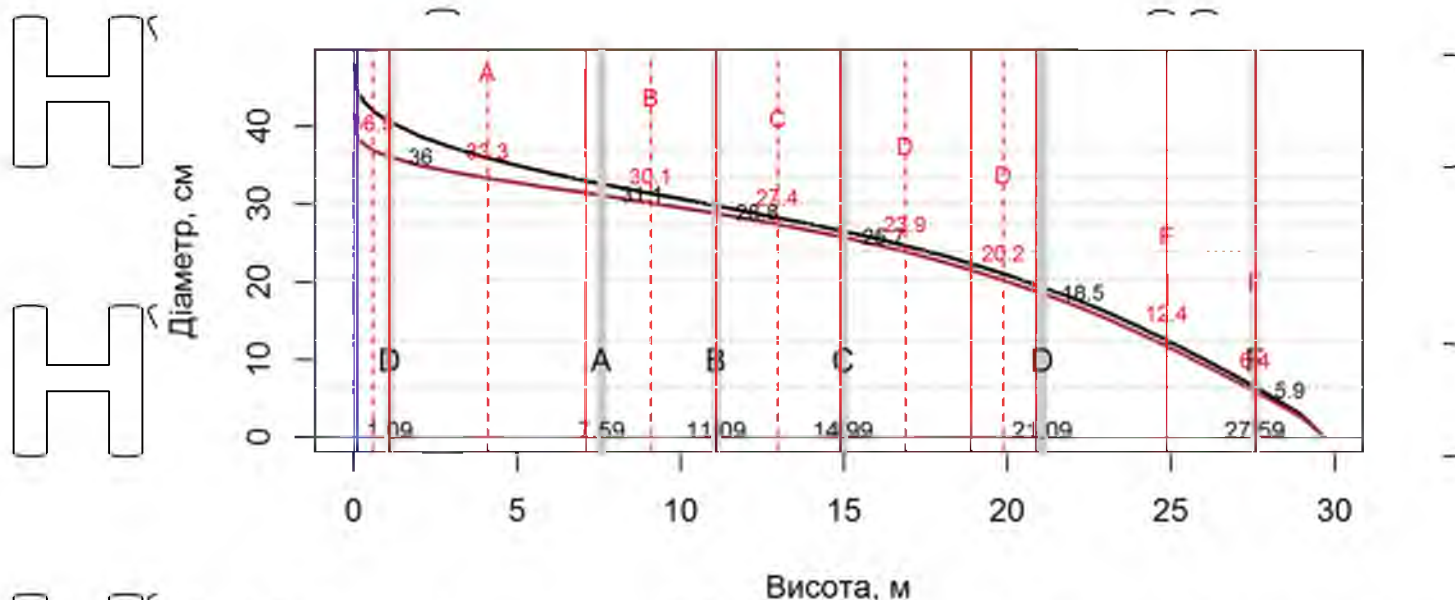


Рис. 3.6. Візуалізація результату роботи алгоритму умовного розкрязування стовбура («Сценарій В»)

На рис. 3.5-3.6 в окоренковій зоні стовбура спостерігається подібна до попереднього випадку ситуація, а далі бачимо, що завдяки зниженню параметру мінімальної допустимої довжини лісоматеріалів класу якості В, вдалось отримати колоду відповідної якості. Також отримано два відрізки лісоматеріалів класу якості D, що підвищило вихід ділової деревини.

Отже, обсяг зібраного дослідного матеріалу не дає змоги достовірно оцінити вихід ділової деревини за класами якості. За різних сценаріїв розкрязування спостерігається різний вихід ділової деревини. Ми прийшли до висновку, що попит на деревину певних розмірів і якості, може значно вплинути на розмірно-якісну структуру лісозаготівель, можливе, як і скорочення виходу ділової деревини, так і його підвищення. Для подальших досліджень необхідно залучення більшого обсягу дослідного матеріалу, що зможе стати основою при розробленні нормативів виходу круглих лісоматеріалів за класами якості.

# НУБІП України

## 3.4. Оцінка точності нормативів 2020 року

Дослідно-виробнича оцінка розроблених нормативів відноситься до основних кроків дослідного процесу, завдяки виконанню цього етапу з'являється розуміння адекватності отриманої математичної моделі, разом з тим можливе внесення певних корективів у процесі перевірки. Виконуючи перевірку точності нормативів виходу круглих лісоматеріалів за класами товщини, необхідно статистично оцінити точність математичних формул, а також провести дослідження ефективності процесу оцінки розмірної структури деревини, що є чи не найважливішим чинником, при розробці будь-яких нормативів.

Використовуючи сортиментні таблиці для дерев сосни [25], було визначено середній об'єм стовбура в кожному з ступенів товщини. Нижче наведено розподіл об'єму модельних дерев за класами якості відповідно до нормативів розроблених кафедрою таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України (табл. 3.4).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Таблиця 3.4

Розподіл об'єму ділових стовбурів за класами і підкласами товщини згідно з нормативами

Діа- метр, см	Об'єм стовбура, м <sup>3</sup> (I розряд висот)	Кіль- кість стов- бурів	Розподіл об'єму ділових стовбурів за класами товщини згідно нормативів, %							Розподіл об'єму ділових стовбурів за класами товщини згідно нормативів, м <sup>3</sup>							
			D1b	D2a	D2b	D3a	D3b	D4	D5	D1b	D2a	D2b	D3a	D3b	D4	D5	Разом
24	0,52	10	39,1	34,8	–	–	–	–	–	2,0	1,8	–	–	–	–	–	3,8
28	0,74	29	22,6	39,1	20,4	–	–	–	–	4,8	8,4	4,4	–	–	–	–	17,6
32	1,00	29	11,3	28,5	35,7	9,8	–	–	–	3,3	8,3	10,4	2,8	–	–	–	24,7
36	1,29	21	5,4	18,2	32,1	26,6	4,2	–	–	1,5	4,9	8,7	7,2	1,1	–	–	23,4
40	1,62	23	2,5	11	23,2	30,7	17,5	2	–	0,9	4,1	8,6	11,4	6,5	0,7	–	32,4
44	1,98	15	1,2	6,5	15,4	26,2	25,5	12,3	–	0,4	1,9	4,6	7,8	7,6	3,7	–	25,9
48	2,37	7	0,6	3,8	9,8	19,5	25,3	28,2	–	0,1	0,6	1,6	3,2	4,2	4,7	–	14,5
52	2,79	8	0,3	2,2	6,1	13,6	21,1	41,2	2,7	0,1	0,5	1,4	3,0	4,7	9,2	0,6	19,5
60	3,75	1	0,1	0,8	2,4	6	11,5	40,4	26	–	–	0,1	0,2	0,4	1,5	1,0	3,3
Разом	–	143	–	–	–	–	–	–	–	13,1	30,5	39,7	35,8	24,6	19,8	1,6	165,1

Таблиця 3.5

Розподіл об'єму ділових стовбурів сосни за класами і підкласами товщини за результатами роботи алгоритму умовного розкряжування

Діа-метр, см	Кіль-кість стов-бурів	Висота та об'єм стовбурів		Розподіл об'єму ділових стовбурів за класами товщини, %							Розподіл об'єму ділових стовбурів за класами товщини, м <sup>3</sup>							
		h, м	V, м <sup>3</sup>	D1b	D2a	D2b	D3a	D3b	D4	D5	D1b	D2a	D2b	D3a	D3b	D4	D5	Разом
24	10	22,2	0,45	37,5	29,1	–	–	–	–	–	1,7	1,3	–	–	–	–	–	3,0
28	29	24,4	0,70	14,1	48,9	14,8	–	–	–	–	2,9	9,9	3,0	–	–	–	–	15,7
32	29	26,6	0,98	9,9	27,3	41,8	3,7	–	–	–	2,8	7,8	11,9	1,0	–	–	–	23,5
36	21	27,8	1,27	5,6	15,1	35,0	28,2	–	–	–	1,5	4,0	9,3	7,5	–	–	–	22,4
40	23	28,8	1,62	2,5	9,6	18,5	41,9	11,1	–	–	0,9	3,6	6,9	15,6	4,1	–	–	31,1
44	15	30,1	2,02	0,7	6,0	14,2	28,8	31,4	4,0	–	0,2	1,8	4,3	8,7	9,5	1,2	–	25,8
48	7	32,3	2,55	1,6	4,9	9,5	19,3	29,0	21,8	–	0,3	0,9	1,7	3,4	5,2	3,9	–	15,4
52	8	31,7	2,95	0,5	1,5	6,2	12,2	20,4	44,6	–	0,1	0,4	1,5	2,9	4,8	10,5	–	20,1
60	1	32,7	4,03	–	–	3,5	7,8	11,0	33,8	30,5	–	–	0,1	0,3	0,4	1,4	1,2	3,5
Разом	143	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10,4	29,6	38,7	39,6	24,1	17,0	1,2	160,6

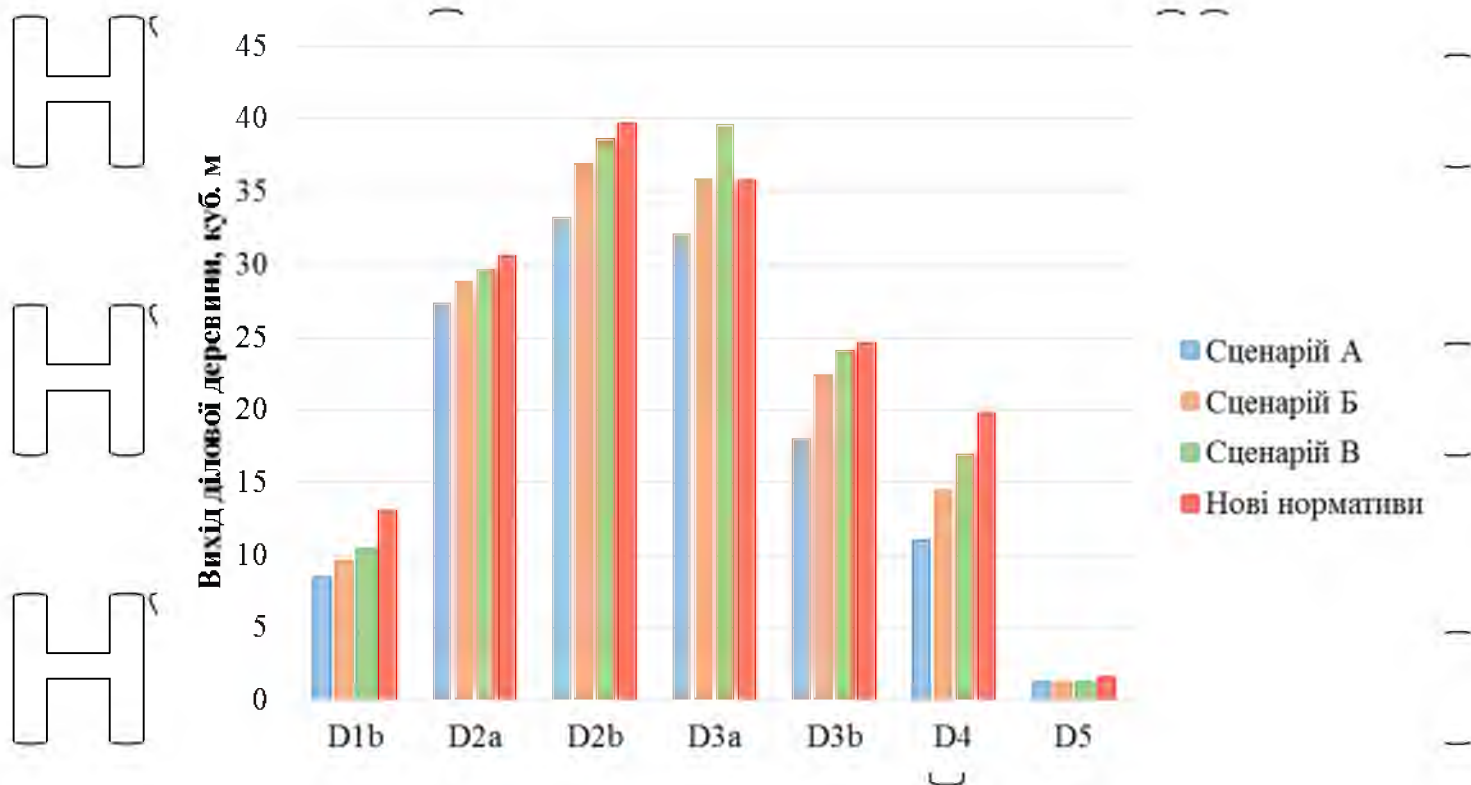


Рис. 3.7. Розподіл об'ємів ділової деревини стовбурів сосни звичайної за класами і підкласами товщини за різних сценаріїв розкряжування деревини (лише ділові стовбури)

Аналізуючи рис. 3.7, чітко видно, що чим жорсткіші вимоги до лісоматеріалів, тим більші розбіжності у розподілі між даними отриманими в результаті роботи алгоритму і нормативними. Лише у класі товщини D3a спостерігається незначне перевищення нормативних значень. В інших же випадках бачимо, що нормативні значення перевищують фактичні. Хоч відхилення і наявні, але вони не є значними, що вказує на репрезентативність вибірки і адекватність розроблених нормативів. Отже, нормативи розроблені кафедрою необхідно використовувати у науковій і практичній діяльності, вони забезпечуватимуть високу точність при оцінці розмірно-якісної структури лісосіки.

Розподіл об'ємів ділової деревини за класами і підкласами товщини для об'єднаного масиву дослідних даних наведено на рис. 3.8.

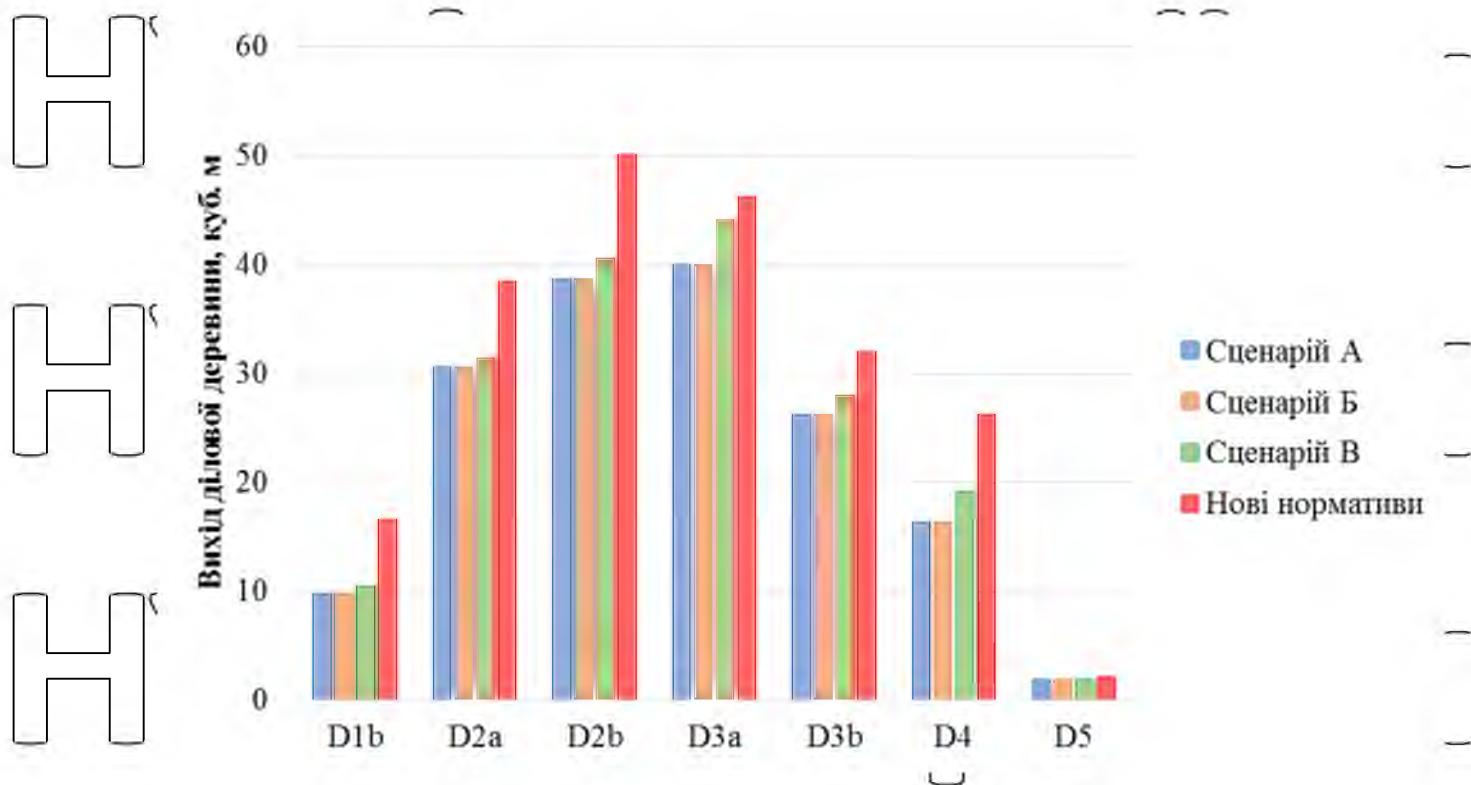


Рис. 3.8. Розподіл об'ємів ділової деревини стовбурів сосни звичайної за класами і підкласами товщини за різних сценаріїв розкряжування деревини (ділові і підділові стовбури)

Значні відхилення від нормативних значень спостерігаються, оскільки в структуру заготовленої деревини входить значна частка дров'яної деревини. Це підтверджує той факт, що нормативи розроблені для оцінки розмірно-якісної структури деревини ділових дерев і під час матеріальної оцінки лісів необхідно керуватись «Методичними вказівками з відведення і таксації лісосік, видачі лісорубних квитків та огляду місць заготівлі деревини в лісах Державного агентства лісових ресурсів України» [40]. Відповідно до вимог методичних вказівок кількість напівділових дерев у кожному ступені розділяють на ділові і дров'яні порівно, а якщо їхня кількість є непарною, то перше непарне дерево відносять до дров'яних стовбурів, друге – до ділових.

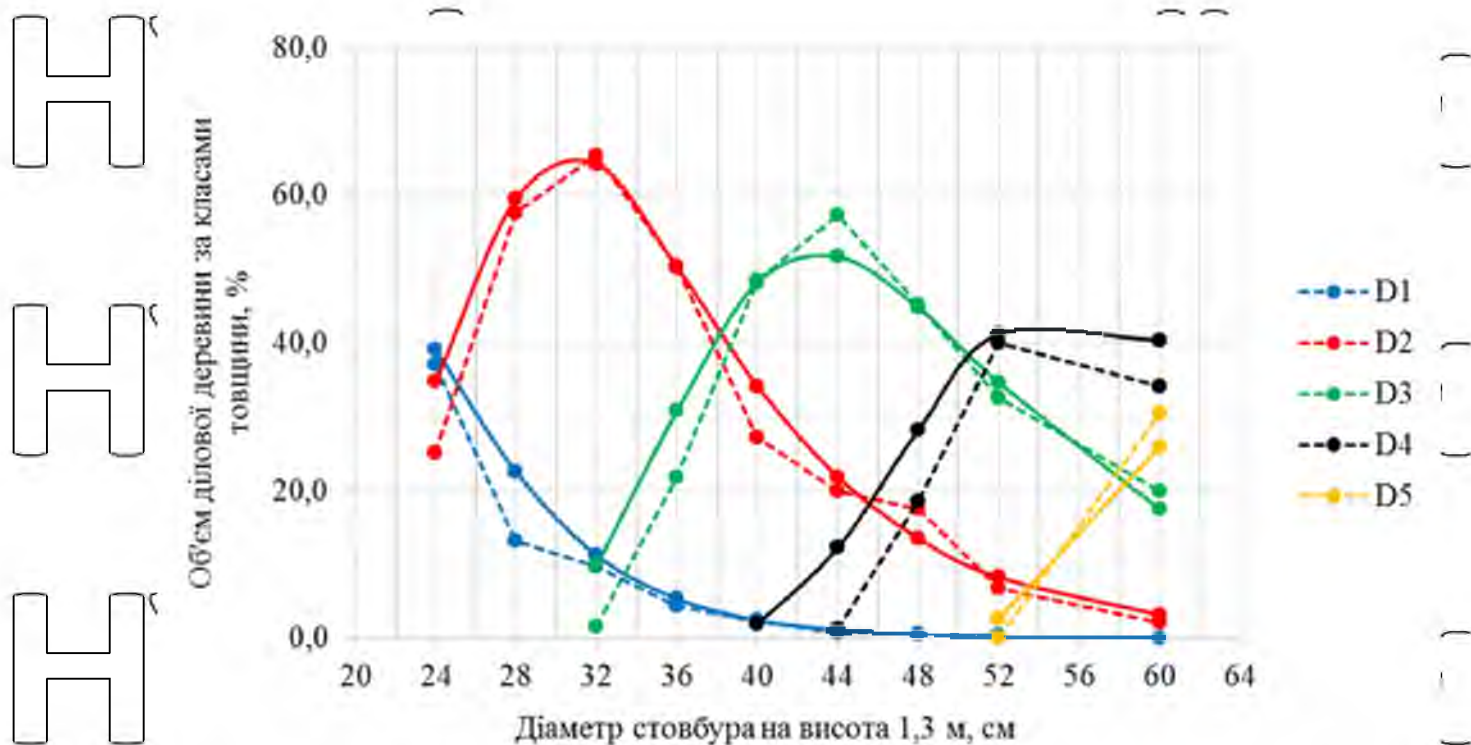


Рис. 3.9. Розподіл об'єму модельних дерев різних класів товщини відносно їх діаметра

Розподіл об'ємів лісоматеріалів за класами товщини (рис. 3.9) повністю відповідає даним наведеним в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6  
Відхилення об'єму ділових стовбурів за класами і підкласами товщини (базове значення) від розрахованого згідно нормативів

Діаметр стовбура укорі, см	Відхилення об'єму ділових стовбурів за класами і підкласами товщини від нормативів, м <sup>3</sup>							Разом
	D1b	D2a	D2b	D3a	D3b	D4	D5	
24	-0,3	-0,5	-	-	-	-	-	-0,8
28	-2,0	1,5	-1,4	0,0	-	-	-	-1,9
32	-0,5	-0,5	1,5	-1,8	-	-	-	-1,2
36	-	-0,9	0,6	0,3	-1,1	-	-	-1,1
40	-	-0,5	-1,8	4,2	-2,4	-0,7	-	-1,3
44	-0,2	-0,1	-0,3	1,0	2,0	-2,4	0,0	-0,1
48	0,2	0,2	0,1	0,2	1,0	-0,8	-	0,9
52	-	-0,1	0,1	-0,2	0,1	1,3	0,6	0,7
60	-	-	0,0	0,1	-	-0,2	0,3	0,2
Всього	-2,7	-1,0	-1,1	3,8	-0,5	-2,8	-0,4	-4,5

Отже, виявлені відхилення від дослідних даних для підкласу D1b є найбільшими для дерев діаметром 28 см і досягає 2 м<sup>3</sup>, для підкласу D3a – для дерев діаметром 40 см і досягають 4,2 м<sup>3</sup>, для підкласу. Нормативи завишили загальний вихід ділової деревини на 4,5 м<sup>3</sup>, порівняно з результатом роботи алгоритму умовного розкряжування. Відхилення є незначними, що вказує на високу точність розроблених нормативів. В результаті перевірки нормативів, визначено, що вони відповідають сценарію з максимальним виходом ділової деревини, у нашому випадку «Сценарію В».

### 3.5. Висновки по розділу 3

Завдяки застосуванню різних сценаріїв розкряжування стовбурів на лісоматеріали різних класів якості, сформовано уявлення про те, як впливають вимоги встановлені до круглих лісоматеріалів на розмірно-якісну структуру запасу деревостану. За результатами оцінки виходу об'ємів круглих лісоматеріалів за класами якості, виокремлено наступні висновки:

- зі зростанням діаметру дерев, зростає вихід деревини лісоматеріалів класів якості А і В;

- прослідковуються чіткі відмінності у розмірно-якісній структурі деревини за класами якості, залежно від застосованого сценарію;

- чим нижчі вимоги до лісоматеріалів, тим більша стійкість розподілів виходу лісоматеріалів за класами якості;

- обсяг зібраного дослідного матеріалу не дає змоги достовірно оцінити вихід ділової деревини за класами якості;

- за різних сценаріїв розкряжування спостерігається різний вихід ділової деревини.

Нормативи 2020 року слід використовувати у науковій і практичній діяльності, вони забезпечують високу точність при оцінці розмірно-якісної структури запасу насаджень.



## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі апробовано метод оцінки розмірно-якісної структури запасу насаджень сосни звичайної у лісовому фонді ДП «Золотоніське ЛГ» за допомогою алгоритму умовного розкряжування стовбурів з використанням моделей твірної. Алгоритм дозволяє оцінювати об'єми стовбурів, а також розмірно-якісну структуру насаджень за вимогами стандартів, уведених в дію від 1 січня 2019 року. В результаті проведеного дослідження сформовані наступні висновки:

1. В розрізі лісового фонду ДП «Золотоніське ЛГ» соснові лісостани, займають 52,1 % вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок (12009 га), тому дослідження методів оцінки їх розмірно-якісної структури має важливе значення.

2. За різних сценаріїв розкряжування спостерігається різний вихід ділової деревини. Для подальших досліджень необхідно залучення більшого обсягу дослідного матеріалу, що зможе стати основою для розробки нормативів виходу круглих лісоматеріалів за класами якості.

3. Чим жорсткіші вимоги до лісоматеріалів, тим більші розбіжності у розподілі між даними отриманими в результаті роботи алгоритму і нормативними. Отже, внаслідок підвищення вимог до якості круглих лісоматеріалів стійкість розподілів знижується.

4. Результати оцінки розмірної структури з використанням нормативів розроблених в 2020 році мали незначні відхилення, порівняно з використанням спеціального алгоритму, що вказує на високу точність розроблених нормативів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антанайтис В. В. Математические модели текущего прироста некоторых древесных пород. *Лесное хозяйство*. 1971. № 2. С. 49–52.

2. Антанайтис В. В., Загребев В. В. Прирост леса. Москва : Лесная промышленность, 1981. 240 с.

3. Анучин Н. П. Закономерности в строении простых, чистых, одновозрастных насаждений и однородных частей сложных насаждений. Лесная таксация. Москва : Лесная промышленность, 1971. Гл. X. С. 268–279.

4. Анучин Н. П. Сортиментные и товарные таблицы. Москва: Лесная промышленность, 1981. 536 с.

5. Анучин Н. П. Лесная таксация : учебник для вузов 5-е изд., доп. Москва : Лесная промышленность, 1982. 552 с.

6. Биченко В. Б. Методи обробки дослідних даних для моделювання твірної стовбурів дуба звичайного. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Лісівництво та декоративне садівництво*. Київ, 2017. № 278. С. 25–33.

7. Биченко В. Б. Моделювання розмірно-якісної структури стовбурів дуба звичайного за європейськими стандартами. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. Львів, 2019. Т. 29. № 7. С. 90–95.

8. Биченко В. Б. Сучасні проблеми сортименталії лісосік. *Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства*, зб. тез. доп. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 14–15 квітня 2016 р.). Київ, 2016. С. 22.

9. Биченко В. Б., Биченко В. В., Миронюк В. В. Моделювання об'єму ділових сортиментів дуба звичайного з використанням рівнянь твірної деревних стовбурів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Лісівництво та декоративне садівництво*. Київ, 2018. № 288. С. 6–17.

10. Вагинский В. Ф. Таксация леса : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям "Лесное хозяйство", "Лесоинженерное дело". Гомель : ГГУ, 2013. 398 с.

11. Верхунов П. М. Лесоводственно-таксационные показатели насаждений и их определение : учебное пособие. Йошкар-Ола, 1986. 108 с.

12. Верхунов П. М., Попова А. В., Черных В. Л. Сортиментные и товарные таблицы для лесов Горного Урала. Москва : МарПИ им. А. М. Горького, 1987. 158 с.

13. Верхунов П. М. Новые сортиментные таблицы для древостоев дуба Среднего Поволжья : сб. ст. Йошкар-Ола : МарГТУ, 1999. С. 95-97.

14. Верхунов П. М., Моисеев Н. А., Мурахтанов Е. С. Лесоустройство. Йошкар-Ола : МарГТУ, 2002. 444 с.

15. Генсирук С. А. Леса Украины / под ред. Погребняка П. С. Москва : Лесная промышленность, 1975. 280 с.

16. Горский П. В. Методические положения по составлению эскизов таблиц хода роста разновозрастных насаждений и техника их составления. Алма-Ата, 1962. 31 с.

17. Гусев И. И., Коптев С. В. Сортиментная структура северотаежных ельников. *Известия вузов. Лесной журнал*. 1991. № 4. С. 3-11.

18. Дворецкий М. Л. Элементарный запас древесины ствола и древостоя. *Известия вузов. Лесной журнал*. 1964. № 6. С. 16-18.

19. Домрачев А. А. Оценка товарной структуры древесных стволов лесных культур сосны хвойно-широколиственных лесов Волго-Вятского региона : автореф. дисс. на соиск. ... канд. с.-х. наук : 06.03.02. Йошкар-Ола, 2009. 24 с.

20. Елсуков А.С. Закономерности сортиментной структуры древесных стволов лесных культур сосны хвойно-широколиственных лесов Волго-Вятского региона : автореф. дисс. на соиск. ... канд. с.-х. наук : 06.03.02. Йошкар-Ола, 2009. 24 с.

21. Загреев В. В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев. Москва : Лесная промышленность, 1978. 240 с.

22. Загреев В. В., Сеницын С. Г. Древесный отпад : величина, товарная структура, использование. *Лесное хозяйство*. 1988. № 11. С. 33–37.

23. Захаров В. К. Лесная таксация: учебник изд. 2-е, испр. и доп. Москва : Лесная промышленность, 1967. 406 с.

24. Збірник технічних умов на класифікацію лісоматеріалів / Державне підприємство «Лісогосподарський інноваційно-аналітичний центр». Київ, 2019. 245 с.

25. Лесотаксаційний довідник. Національний університет біоресурсів і природокористування України / уклад. А. М. Білоус, С. М. Кашпор, В. В. Миронюк. Дніпро : Ліра, 2020. 360 с.

26. Миронюк В. В., Свинчук В. А., Білоус А. М., Василишин Р. Д. Лісова таксация : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2019. 220 с.

27. Михайлов А. С. Построение эскизов сортиментных и товарных таблиц с помощью ПЭВМ. *Лесное хозяйство*. 1998. № 4. С. 42–43.

28. Михайлов А. С., Семечкин И. В., Поляков В. И. Определение сортиментной и товарной структуры древостоев с применением непараметрических статистических методов. *Лесоведение* 1999 № 2. С. 49–56.

29. Міщенко І. І. Перспективи обліку стовбурового запасу соснових деревостанів в умовах переходу України на європейські стандарти щодо якості деревини. *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції* : зб. тез. всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих вчених (м. Житомир, 12 листопада 2020 р.). Житомир, 2020. С. 117.

30. Міщенко І. І. Точність визначення об'єму стовбурів дерев сосни звичайної ДП «Золотоніське ЛГ». *Науковий пошук молоді для сталого розвитку лісового комплексу та садово-паркового господарства* : зб. тези доповідей 74-ої всеукр. студ. наук.-практ. конф. (м. Київ, 24 березня 2020 р.). Київ, 2020. С. 28–29.

31. Моисеенко Ф. П. О закономерностях в росте, строении и товарности насаждений. Киев, 1965. 78 с.

32. Морозов Г. Ф. Учение о лесе. Москва, 1949. С. 51.

33. Мошкалев А. Г., Книзе А. А., Ксенофонов Н. И., Уланов Н.С. Таксация товарной структуры древостоев. Москва: Лесная промышленность, 1982. 160 с.

34. Никитин К. Е., Швиденко А. З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. Москва : Лесная промышленность, 1978. 273 с.

35. Поляков М. О., Поляков О. В. Адаптивный алгоритм промислової сортиментанії лісосічного фонду. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. Київ, 1999, № 17. С. 345–348.

36. Поляков О. В., Поляков М. О. Адаптивна промислова сортиментанція лісосічного фонду : нормативно-довідкові дані. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. Київ, 2008. № 122. С. 153–158.

37. Поляков О. В., Поляков М. О. Адаптивна промислова сортиментанція лісосічного фонду . алгоритми імітаційного моделювання. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Київ, 2009. № 135. С. 201–205.

38. Поляков В. Н., Смирнов С. И. Применение показателей качества древесины при организации системы лесного мониторинга. *Современные проблемы лесоведения* : сб. статей. Йошкар-Ола, 1966. С. 21-22.

39. Проект організації та розвитку Державного підприємства «Золотоніське ЛП»/ ВО «Укрдержліспроєкт». Ірпінь, 2014. 245 с.

40. Про затвердження Методичних вказівок з відведення і таксації лісосік, видачі лісорубних квитків та огляду місць заготівлі деревини в лісах Державного агентства лісових ресурсів України : Наказ голови Державного агентства лісових ресурсів від 21.01.2013 р. №9. Дата оновлення: 21.01.2013.

URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0009820-13#Text> (дата звернення: 02.09.2021).

41. Свалов Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования. Москва : Лесная промышленность, 1979. 216 с.

42. Соколов П. А., Курбанов Э. А., Мамаев И. В. Сортиментные таблицы для таксации сосняков Марийского Заволжья. Йошкар-Ола : Марийский политех. институт, 1994. 3 с.

43. Соколов П. А., Черных В. Л. Вариационная статистика : учеб. пособие. Йошкар-Ола : МарПИ, 1990. 104 с.

44. СОУ 02.02.-37-476:2006. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. Київ : Мінагрополітики України, 2006. 32 с.

45. Столяров Д. П., Кузнецов В. Г. Изучение динамики текущего прироста в разновозрастных ельниках таежной зоны. Л. : ЛенНИИЛХ, 1974.

46. Третьяков Н. В., Горский Н. В., Самойлович Г. Г. Справочник таксатора. Москва : Лесная промышленность, 1965. Вып. 2. 460 с.

47. Тюрин А. В., Науменко И. М., Воропанов Н. В. Лесная вспомогательная книжка. Москва : Гослестехиздат, 1946. 408 с.

48. Тюрин А. В. Таксация леса. Москва : Гослестехиздат, 1945. 376 с.

49. Фалалеев Э. Н. Пихтовые леса Сибири и их комплексное использование. Москва : Лесная промышленность, 1964. 166 с.

50. Черных В. Л. Совершенствование методики составления сортиментных таблиц. *Таксация леса на рубеже XXI века. Состояние и перспективы развития* : материалы науч.-практ. конф. (19-20 сентября 2001г.). СПб. : СПбЛТА, 2001. С. 48-51.

51. Цай С. С. Разработка лесотаксационных моделей образующих и объемов стволов ели : автореферат дис. на соискание ... кандидата с.-х. наук : 06.03.02 / Бел. госуд. тех. университет. Минск, 2000. 19 с.

52. Burkhard H. E. Modeling forest tree and stands. *Springer*. 2012. P. 10-24.

53. CRAN Package `ggplot2` URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html> (дата звернення: 12.06.2021).

54. CRAN Package nlme. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/nlme/index.html> (дата звернення 12.06.2021).

55. Kozak A. My last words on taper equations. *Forestry Chronicle*. 2004. Vol. 80, No 4. P. 507–515.

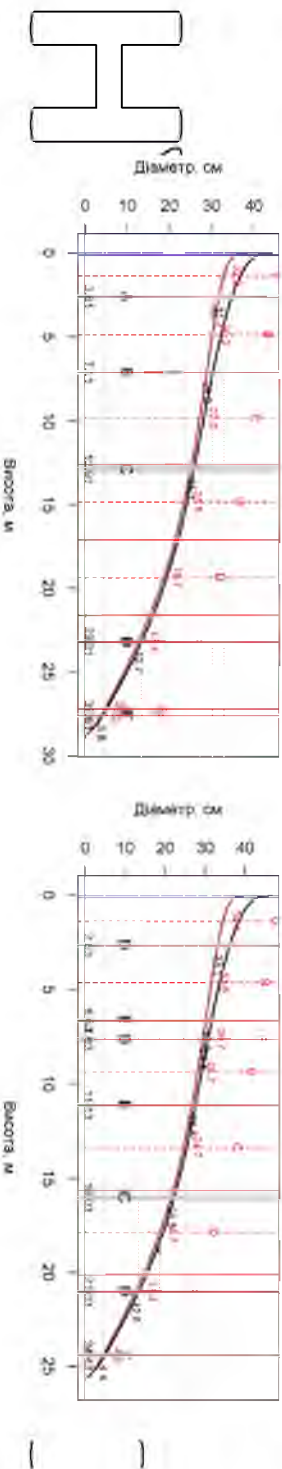
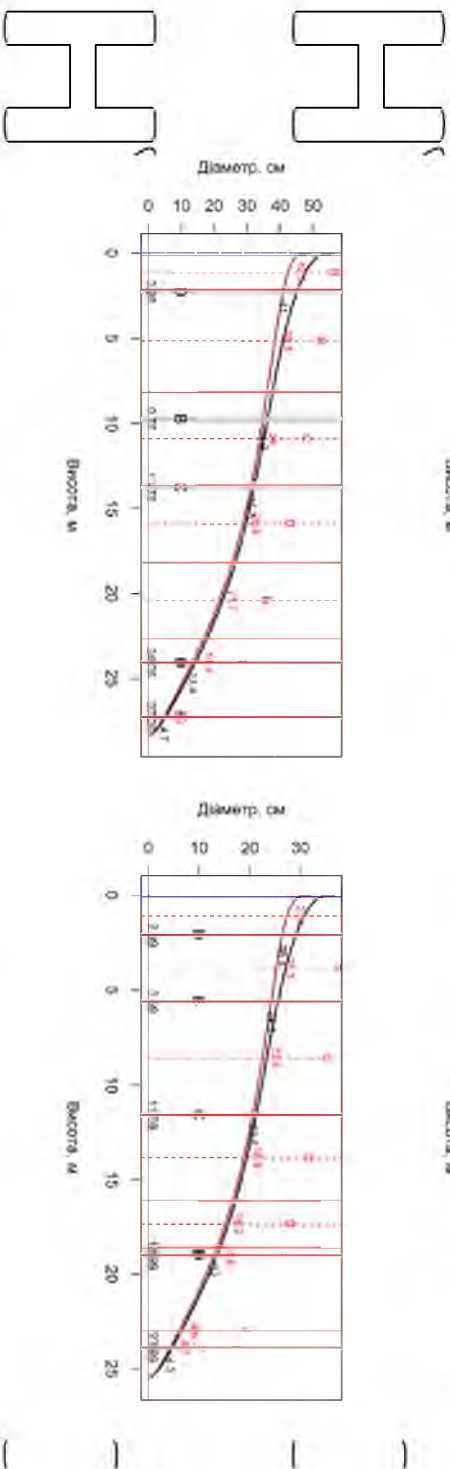
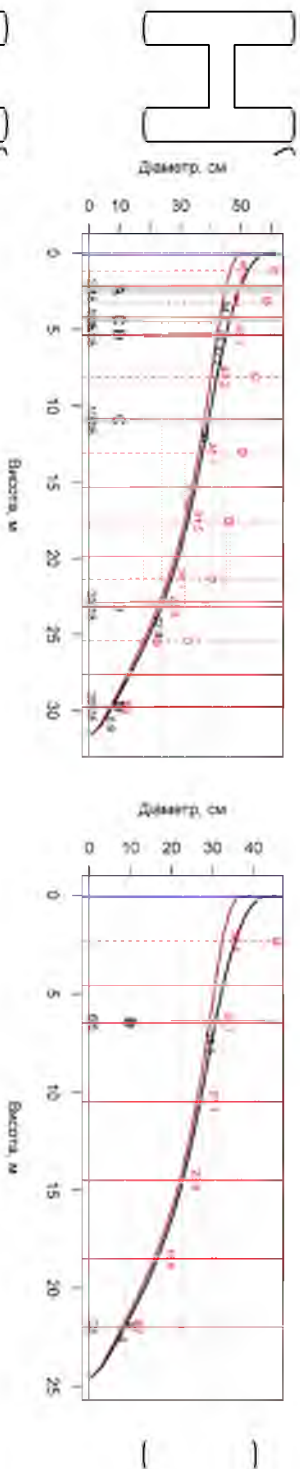
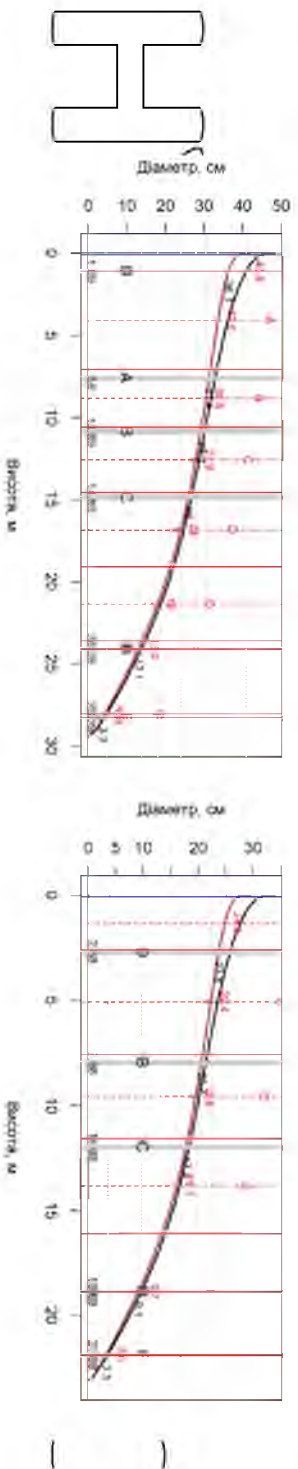
56. Microsoft Excel, програма для роботи з електронними таблицями. URL: <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365/excel> (дата звернення 02.06.2021).

57. Newnham R. M. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research*. 1992. Vol. 22. P. 210–223.

58. R Core Team (2021). The R Project for Statistical Computing. URL: <https://www.r-project.org> (дата звернення: 02.06.2021).

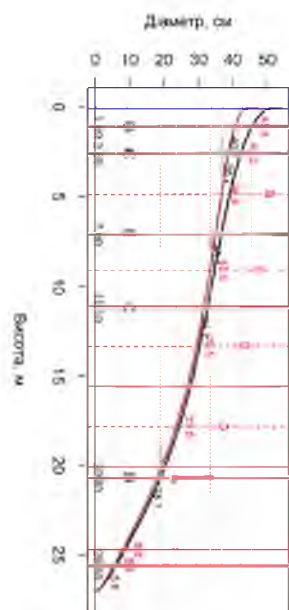
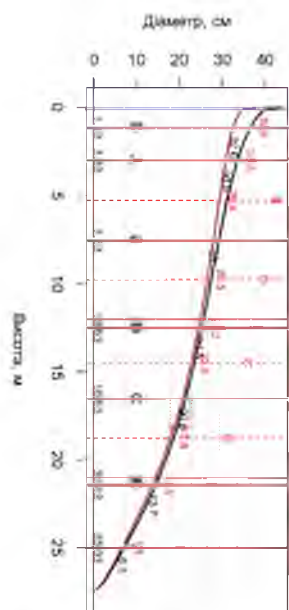
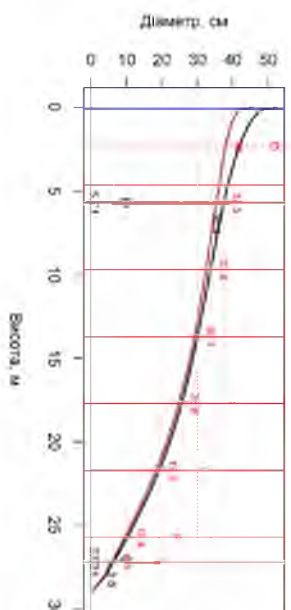
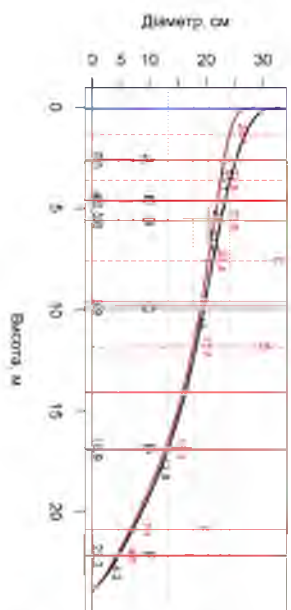
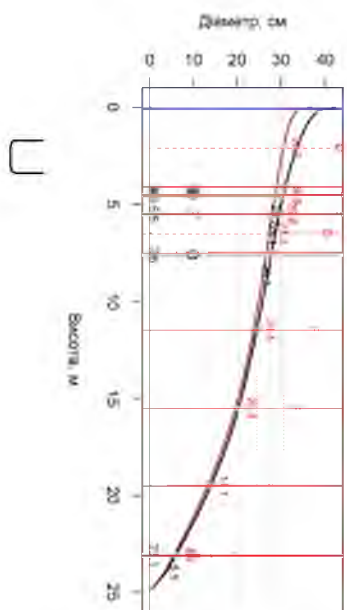
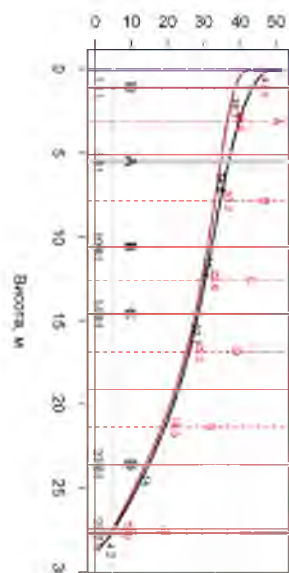
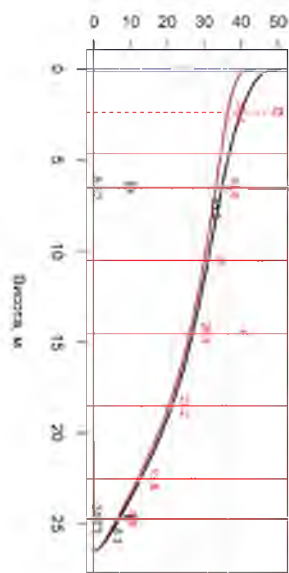
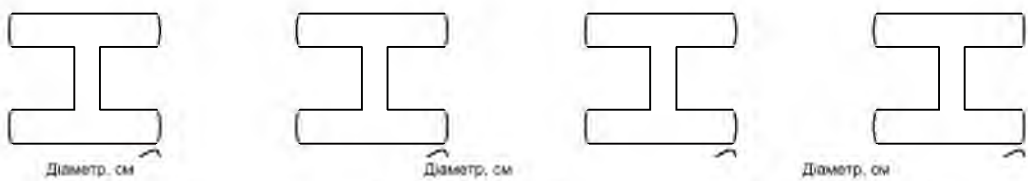
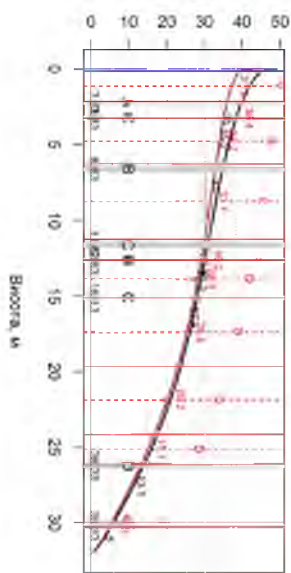
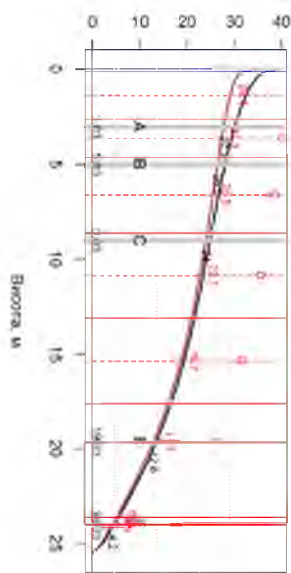
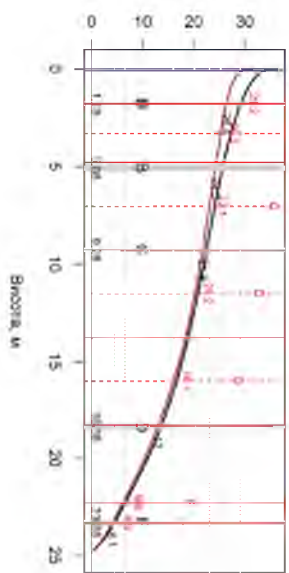
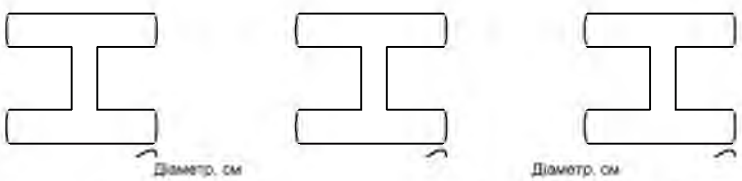
59. Yudytskyi Ya. A.. Description of Grades of Harvested Wood using scholastic Process. *Trends in Growth and Productivity of Forest Stands : Proceedings (Kaunas, Lithuania, April 6-17, 1985)*. Kaunas, 1985. P. 297–299.

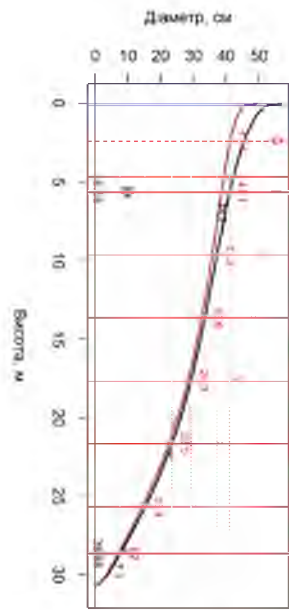
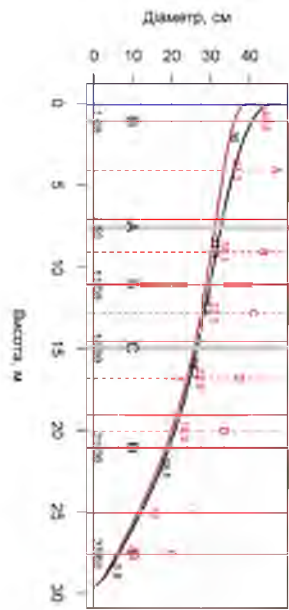
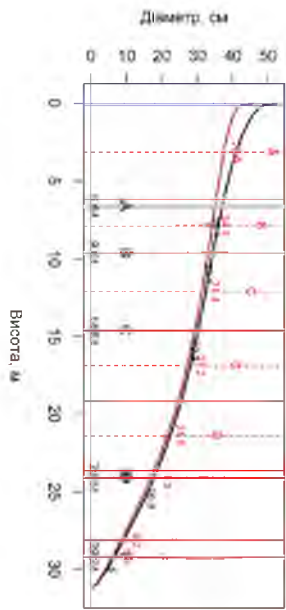
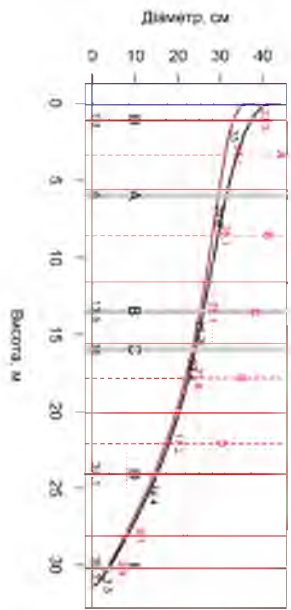
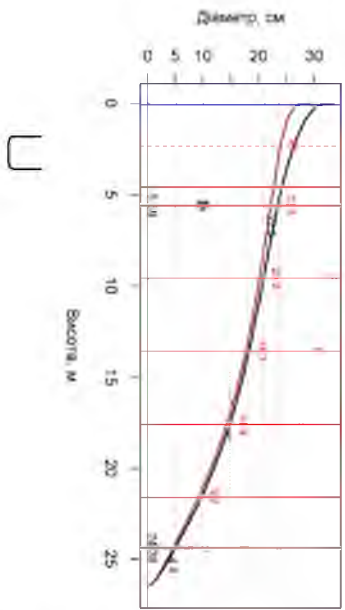
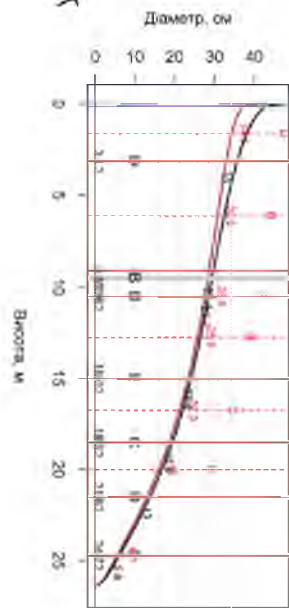
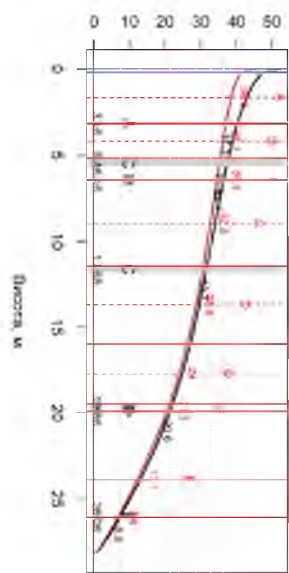
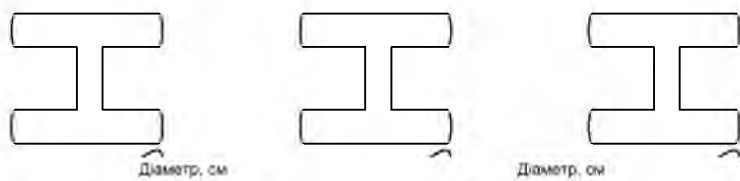
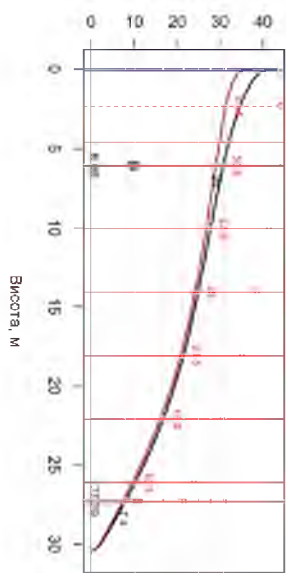
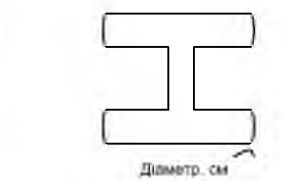
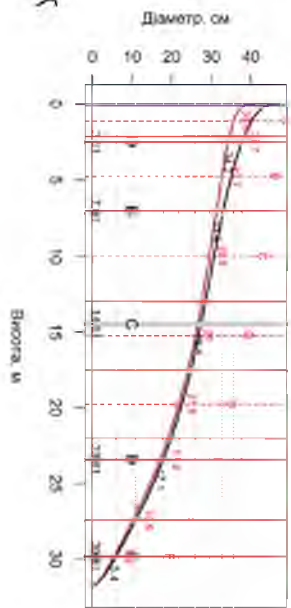
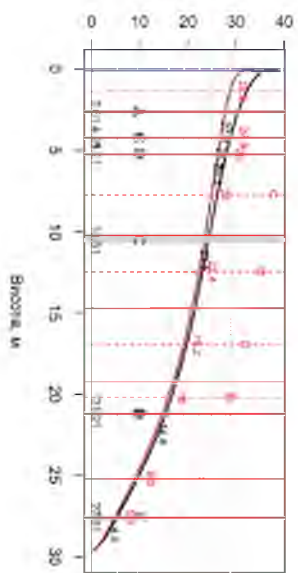
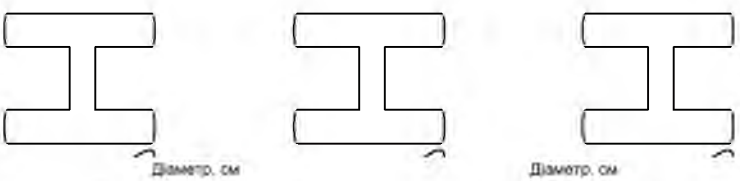
# МОДАТКИ ДОДАТОК А. ГРАФІЧНИЙ РЕЗУЛЬТАТ РОБОТИ АЛГОРИТМУ УМОВНОГО РОЗКРУЖУВАННЯ

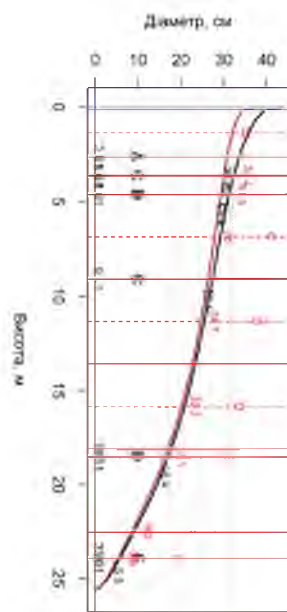
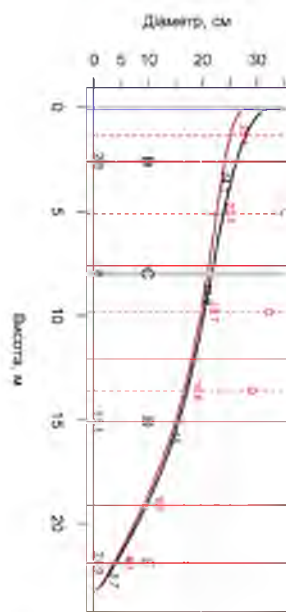
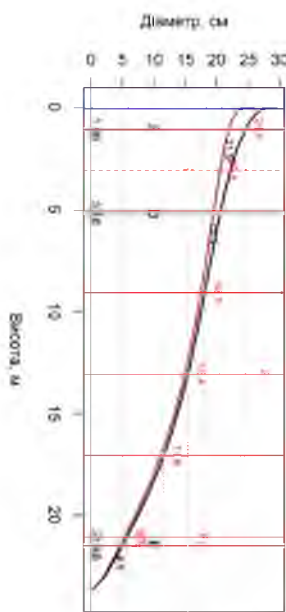
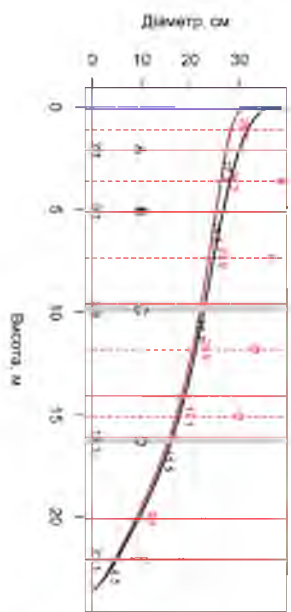
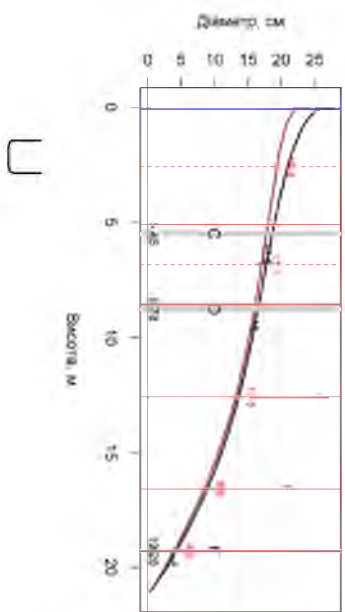
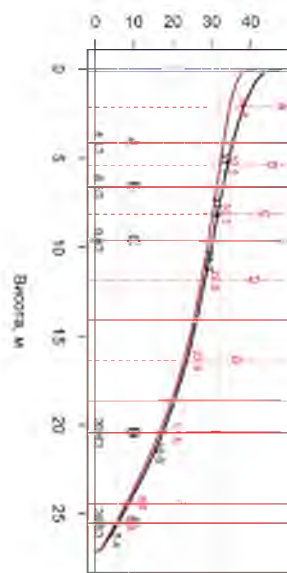
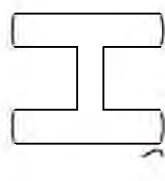
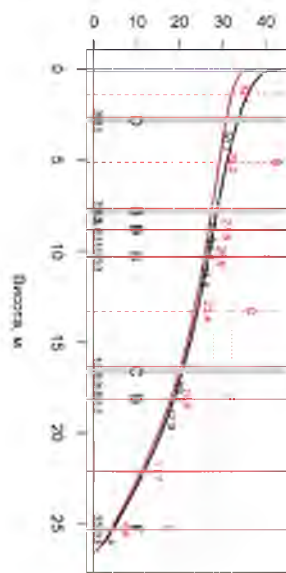
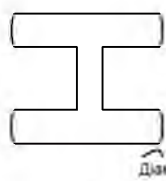
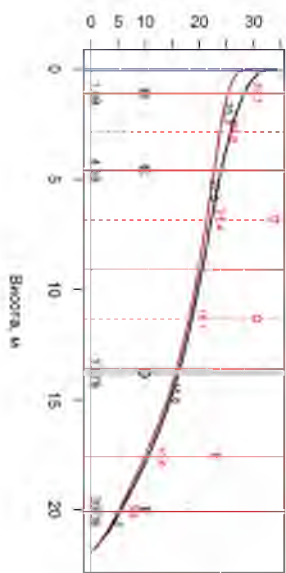
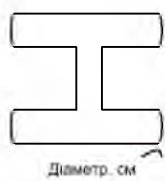
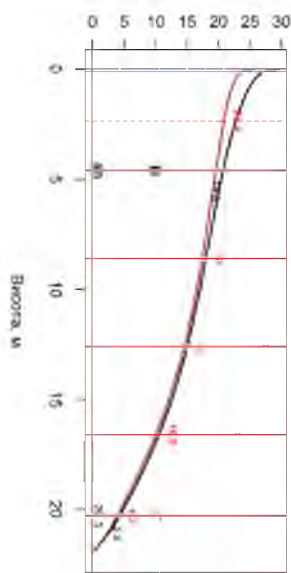
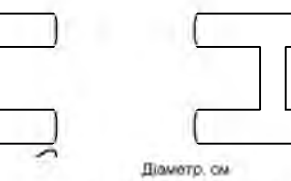
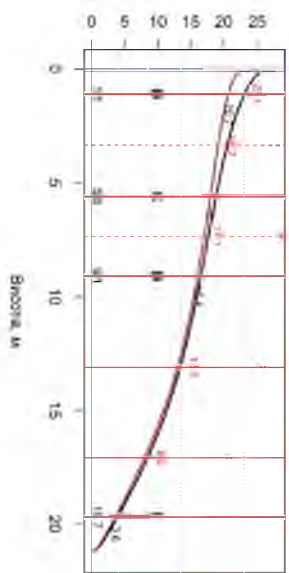
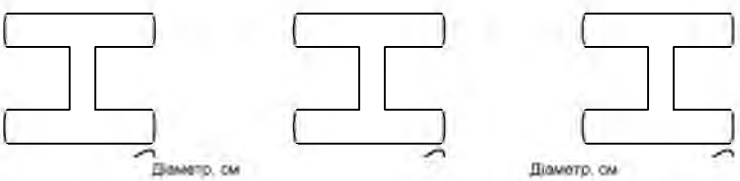


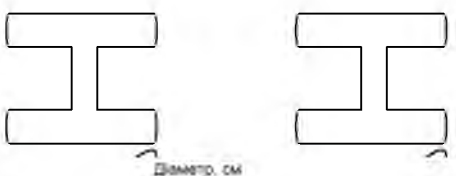
# НУБІЛ Україна



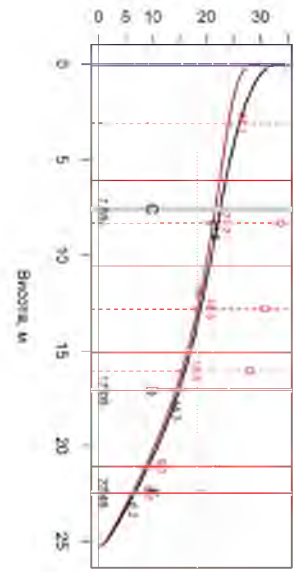




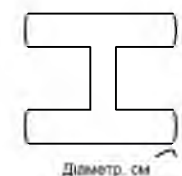
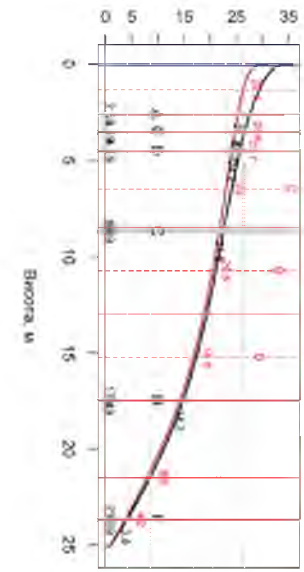




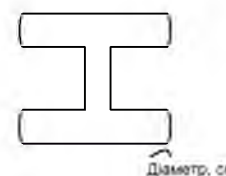
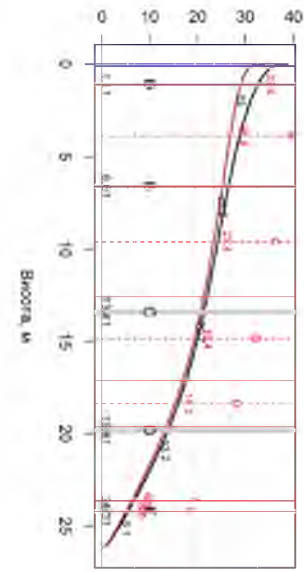
Диаметр, см



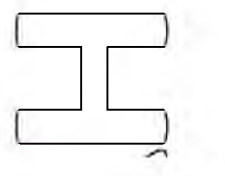
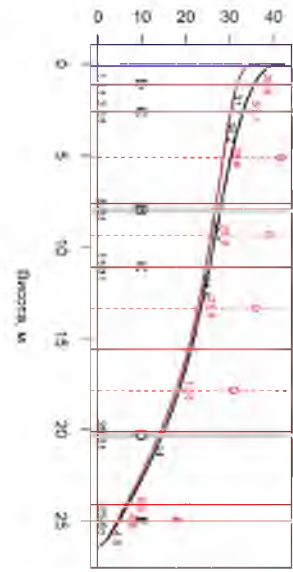
Диаметр, см



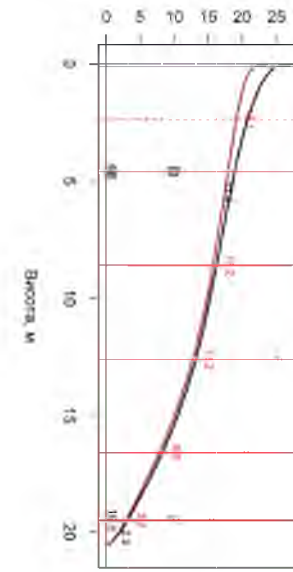
Диаметр, см



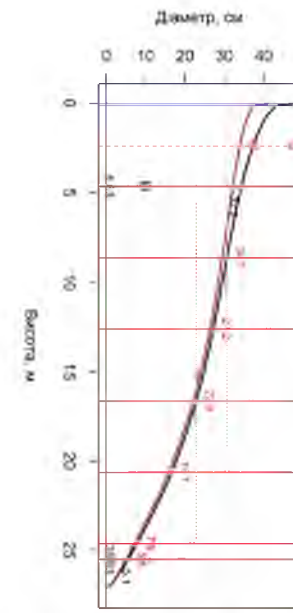
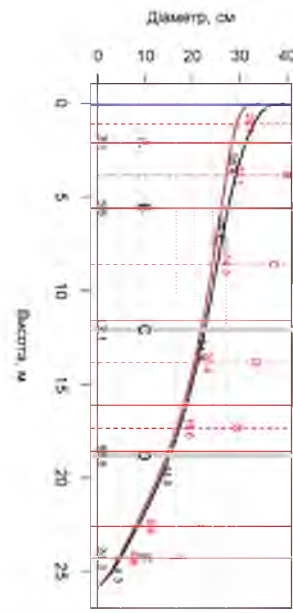
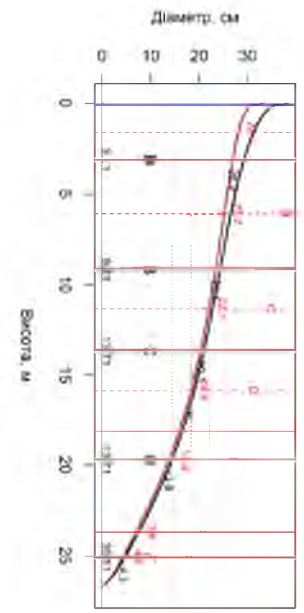
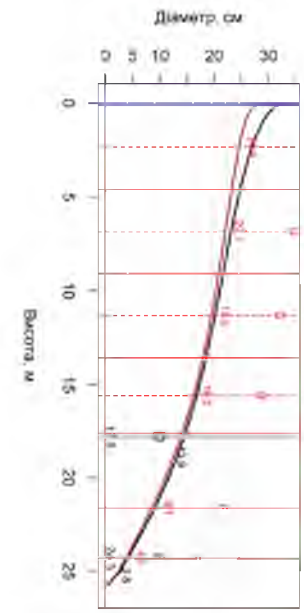
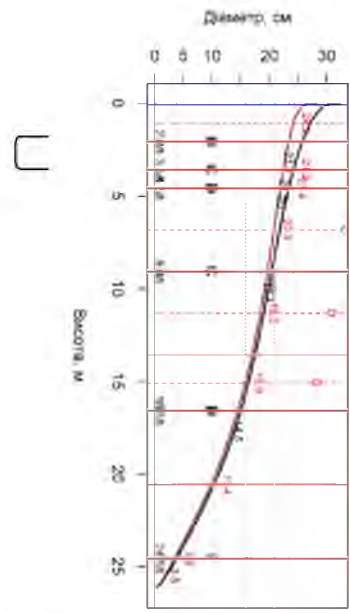
Диаметр, см



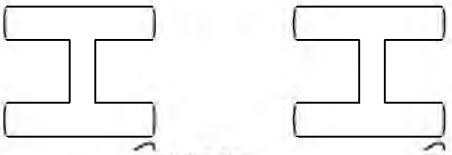
Диаметр, см



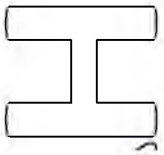
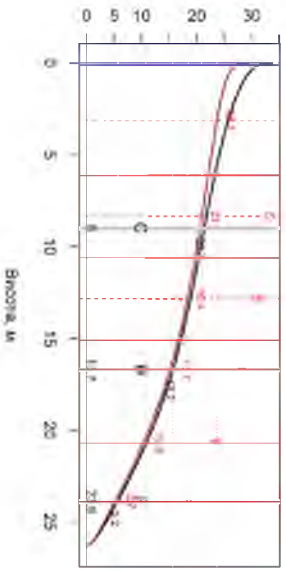
)



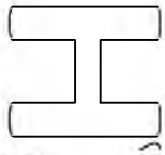
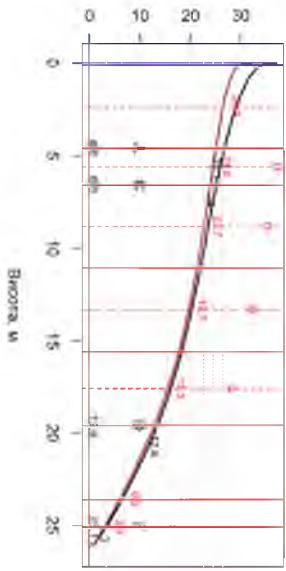
))



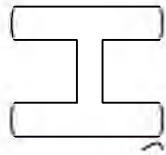
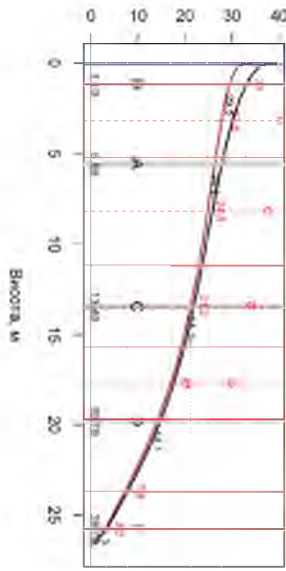
Диаметр, см



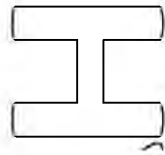
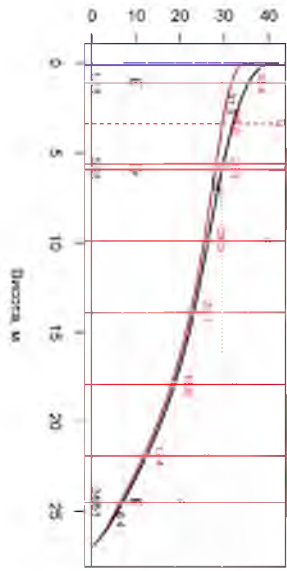
Диаметр, см



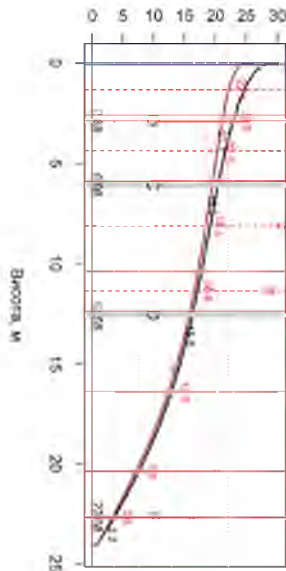
Диаметр, см



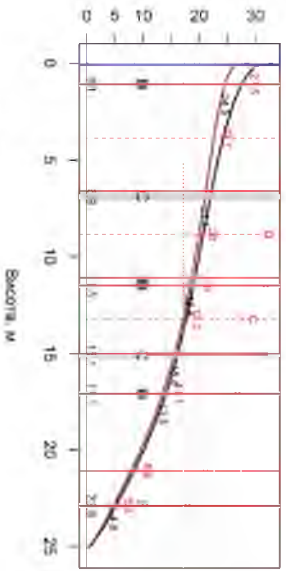
Диаметр, см



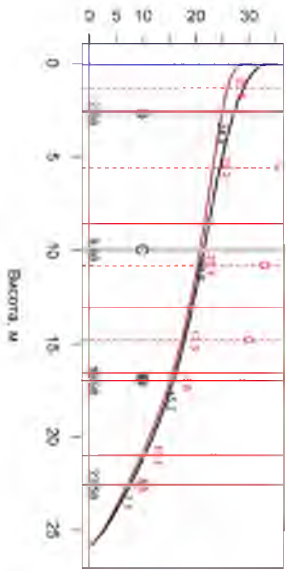
Диаметр, см



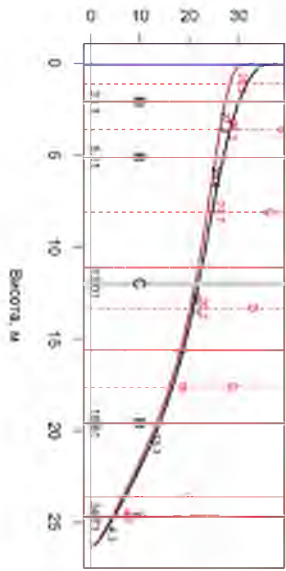
Диаметр, см



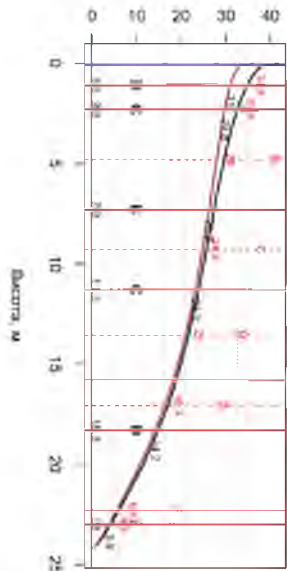
Диаметр, см



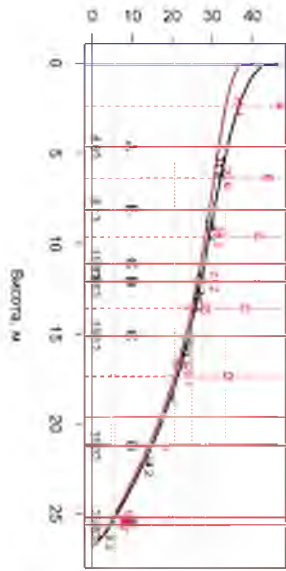
Диаметр, см

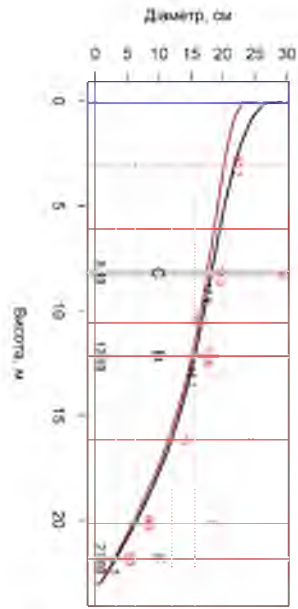
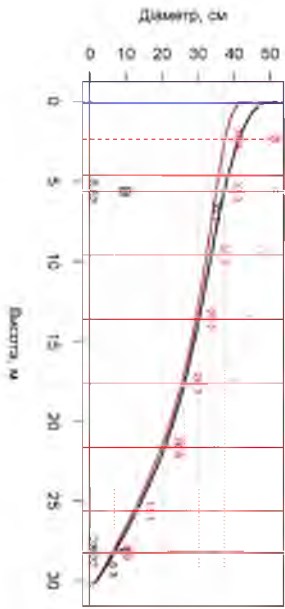
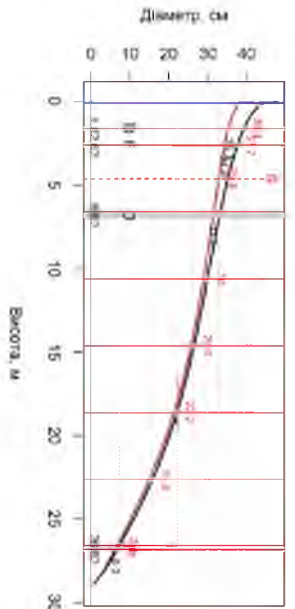
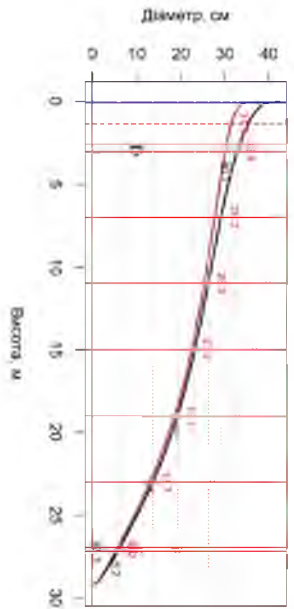
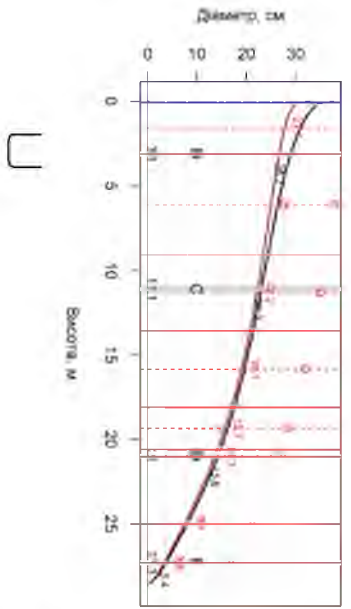
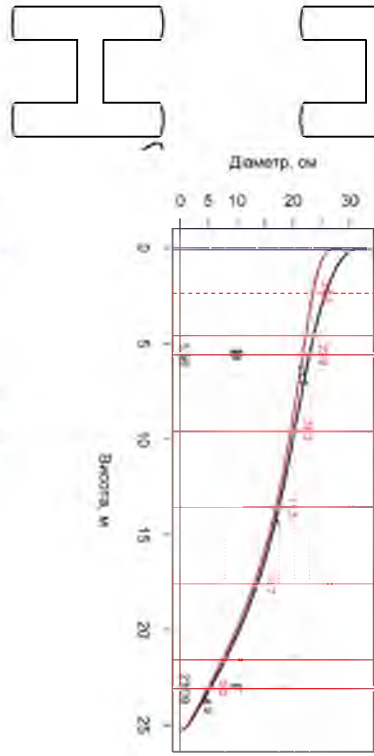
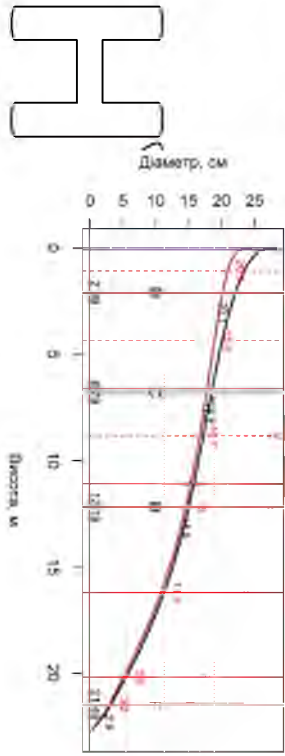
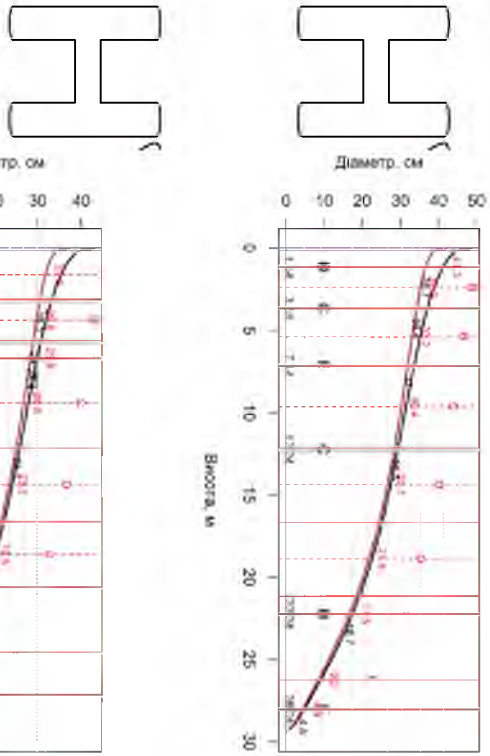
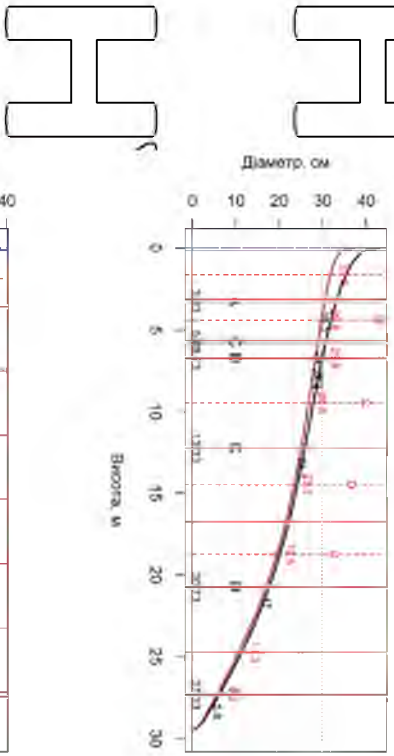
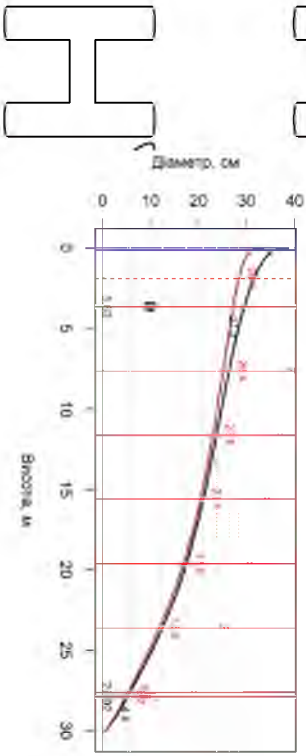


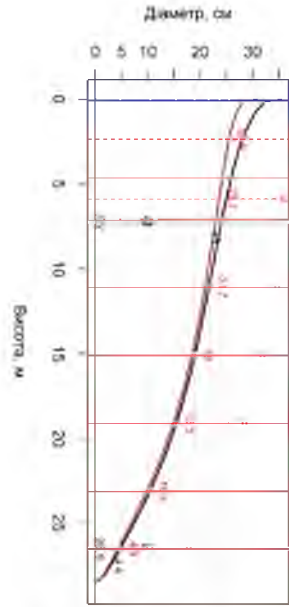
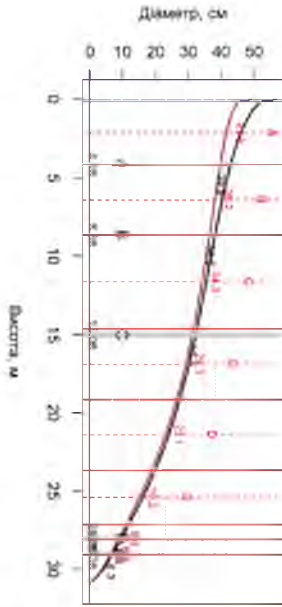
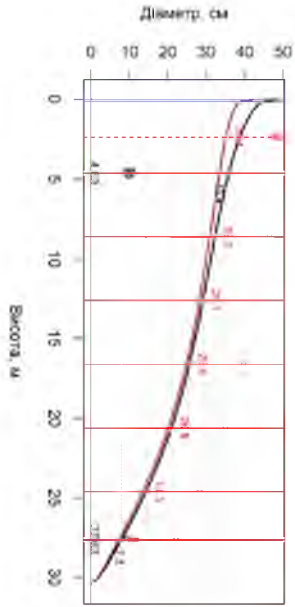
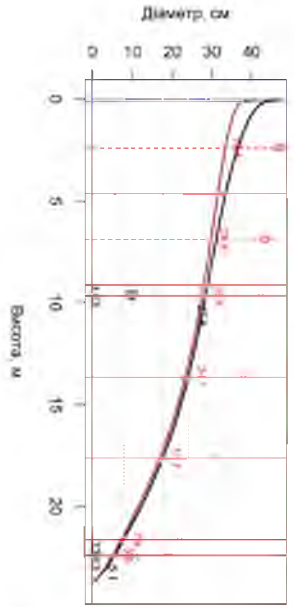
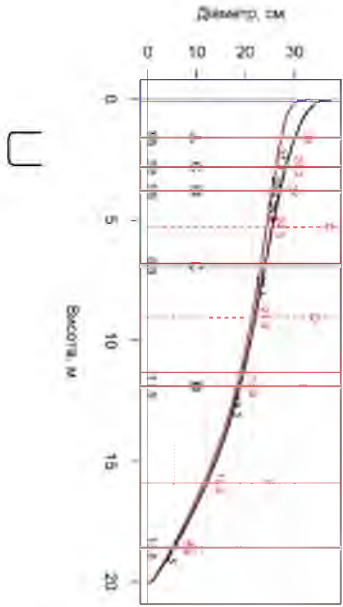
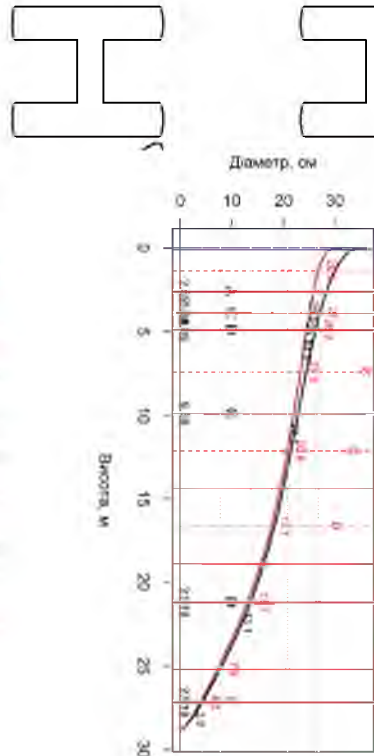
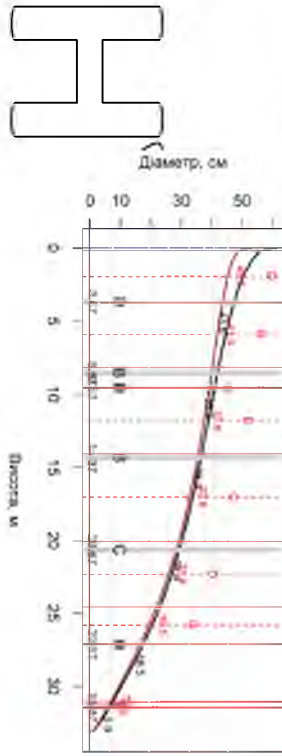
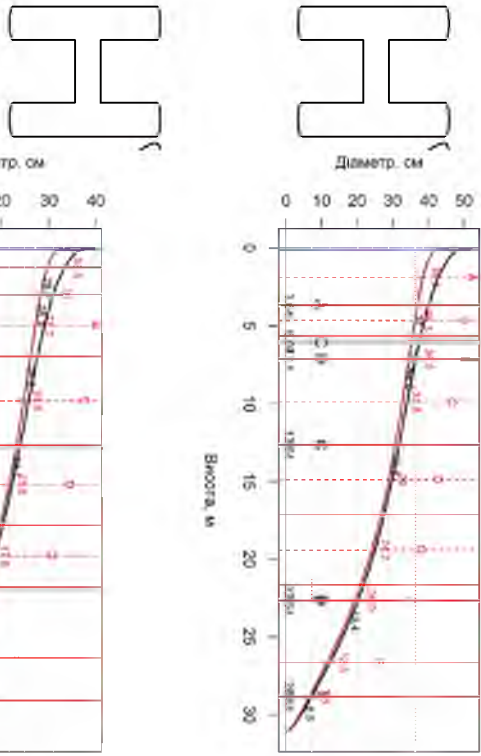
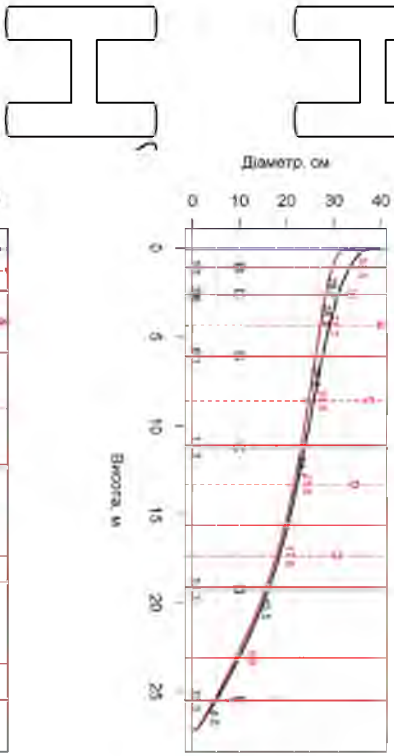
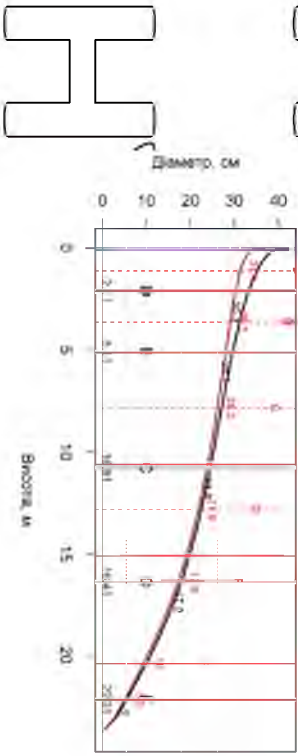
Диаметр, см

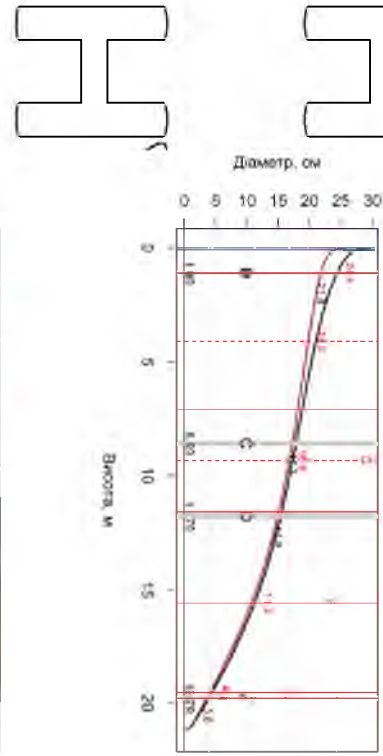
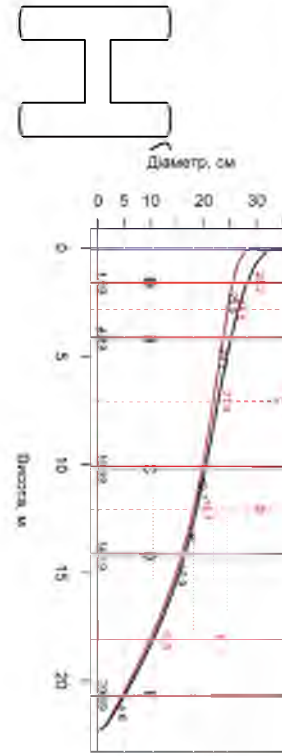
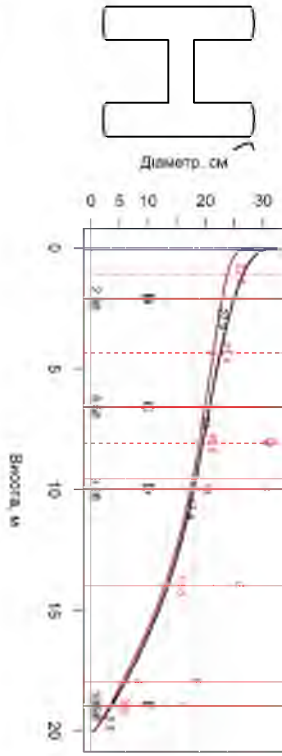
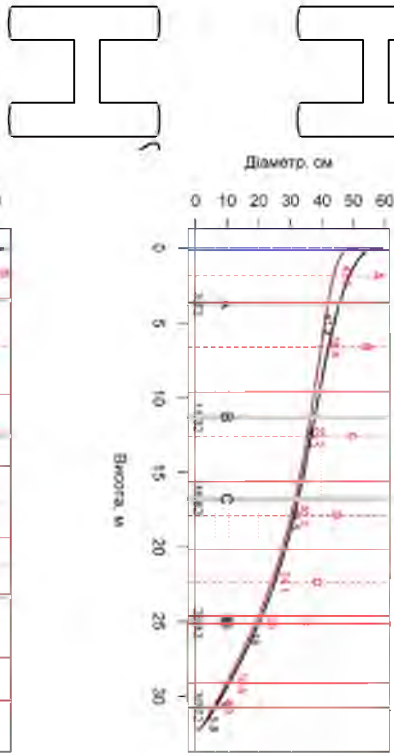
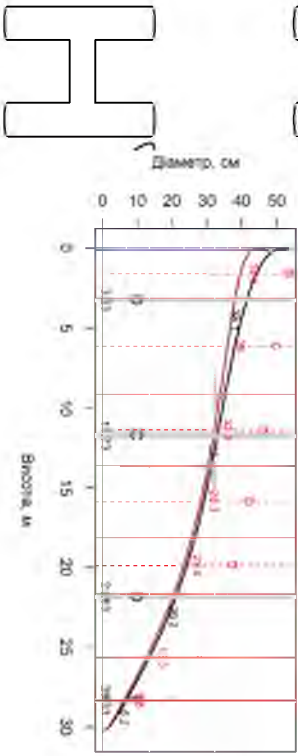


Диаметр, см



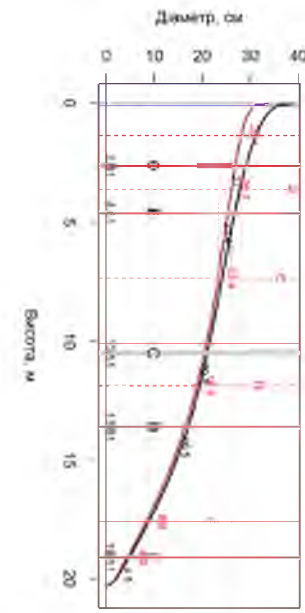
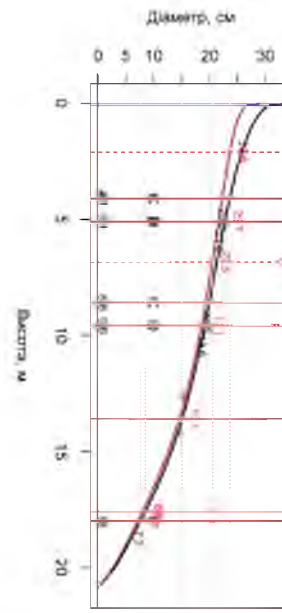
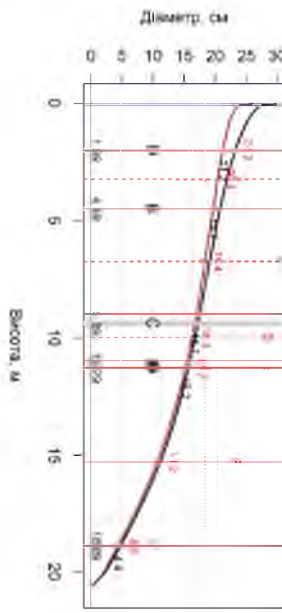
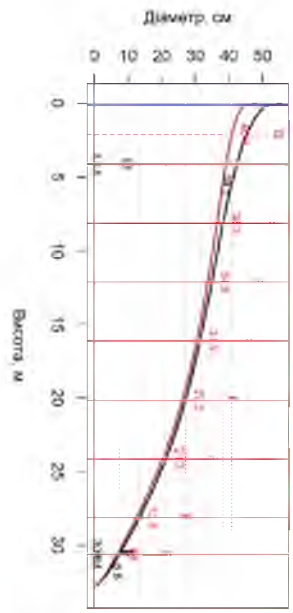
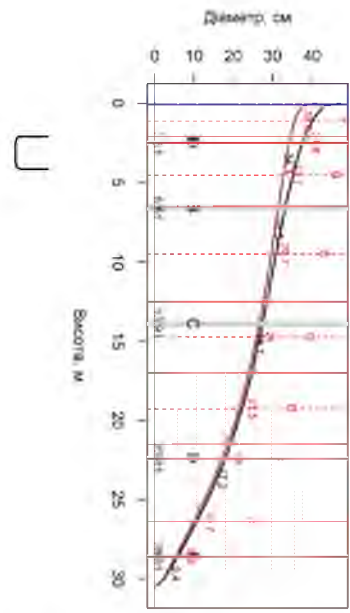






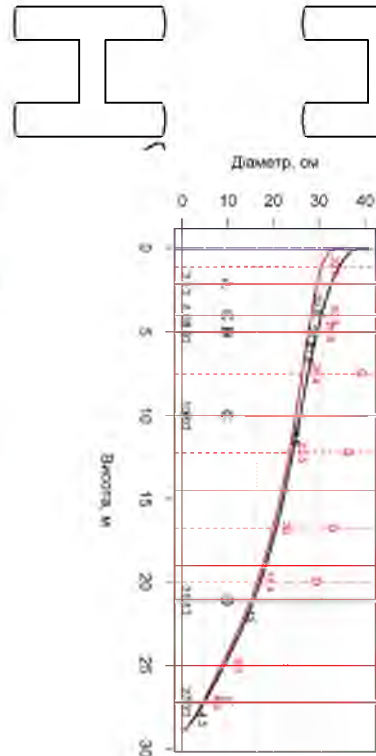
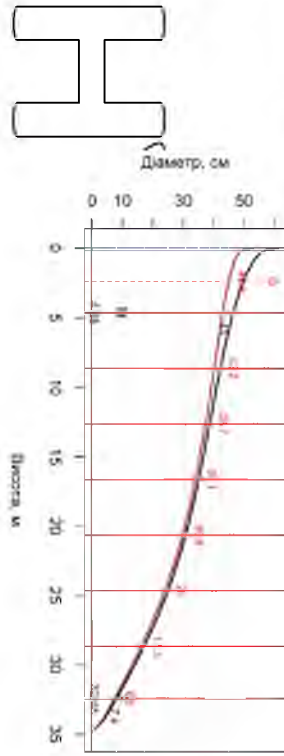
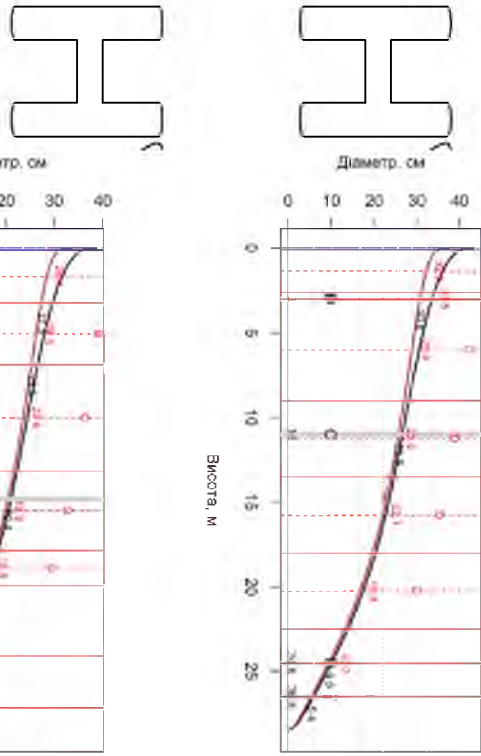
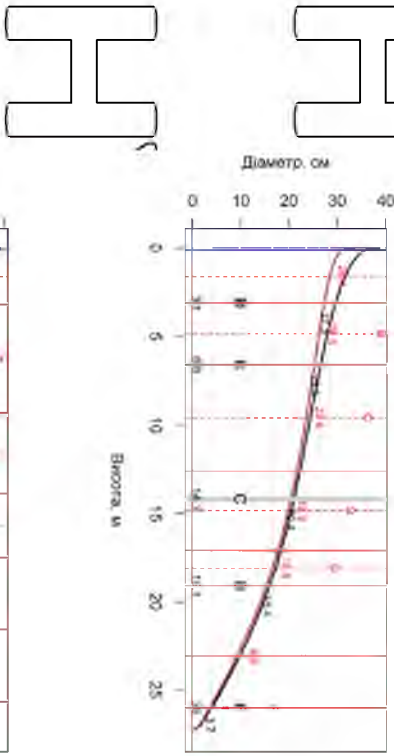
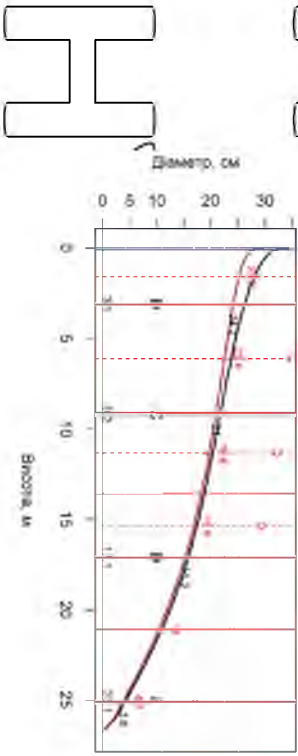
(

—



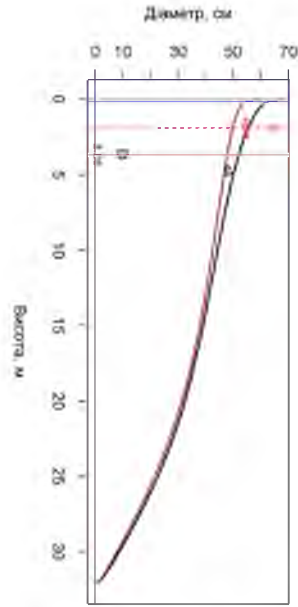
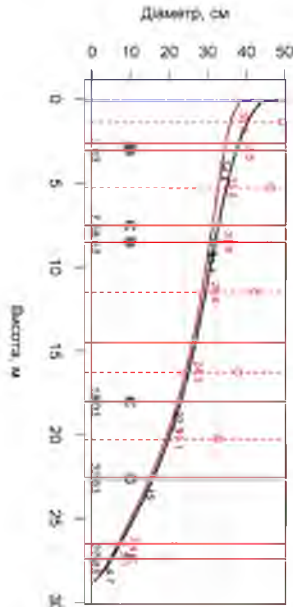
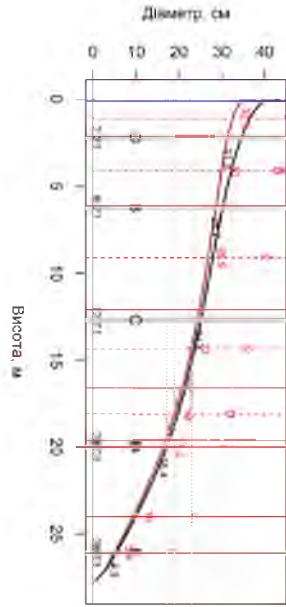
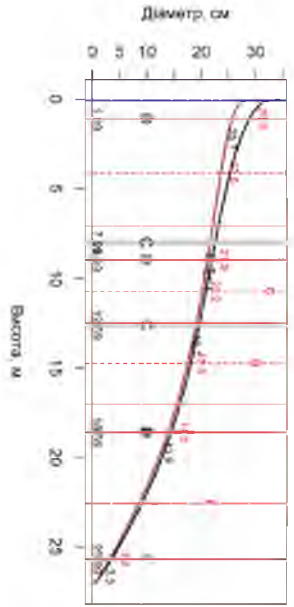
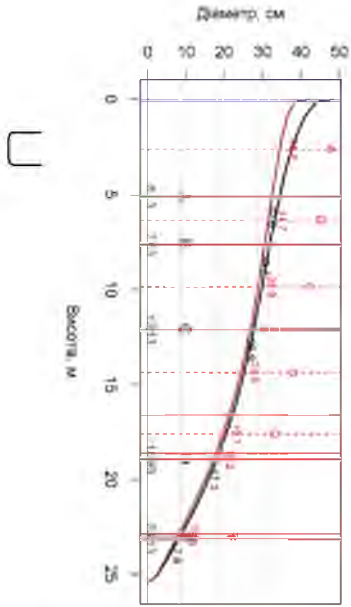
)

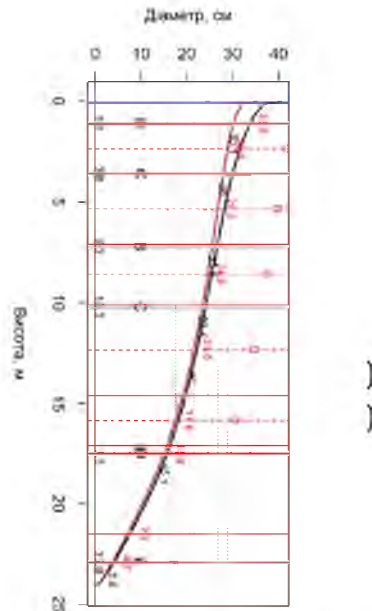
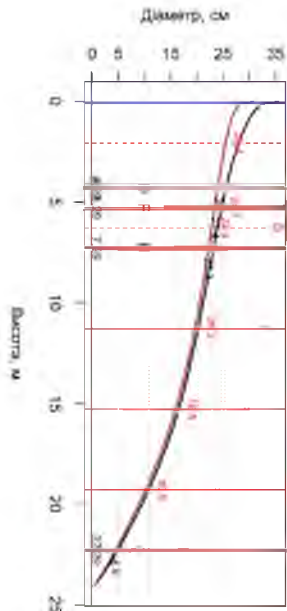
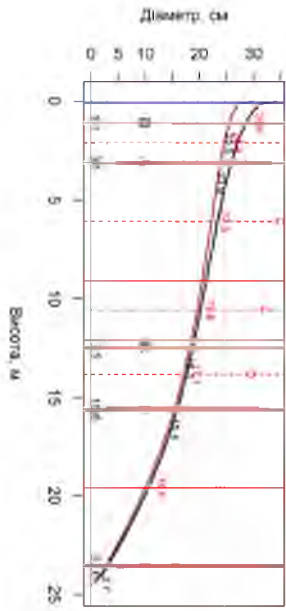
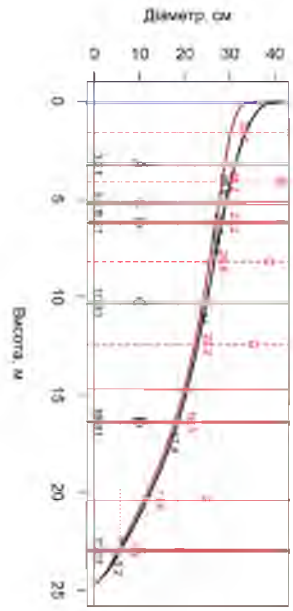
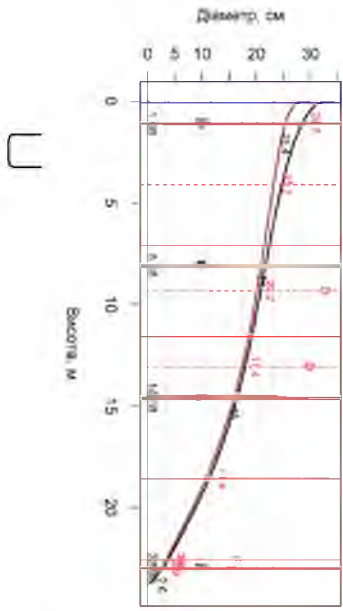
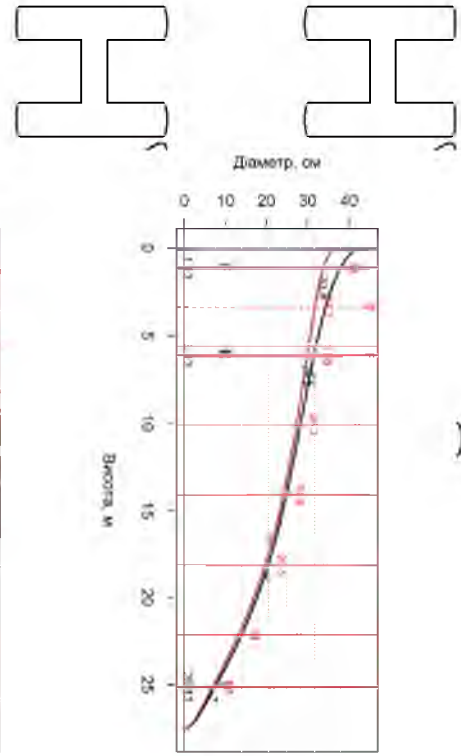
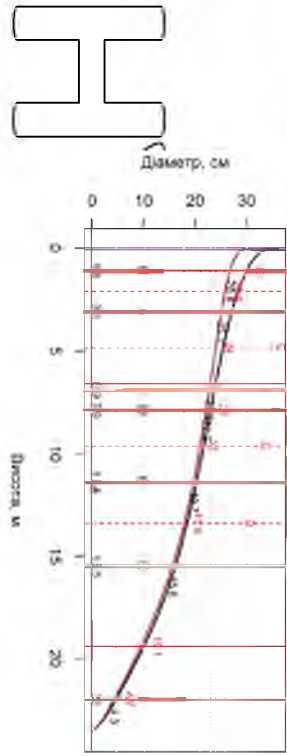
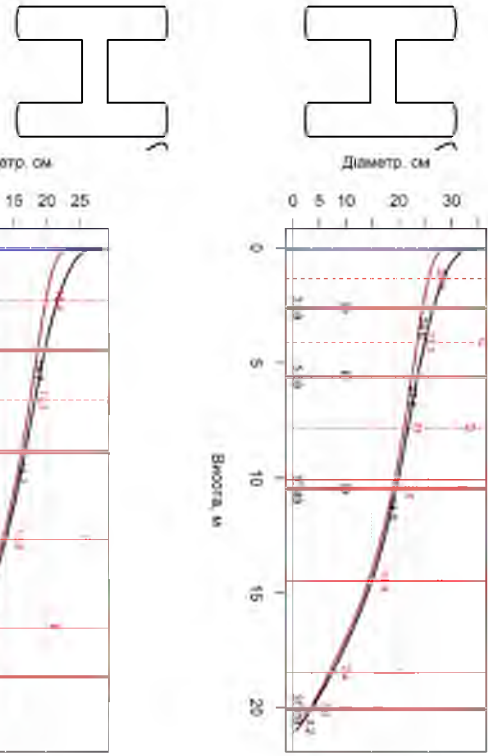
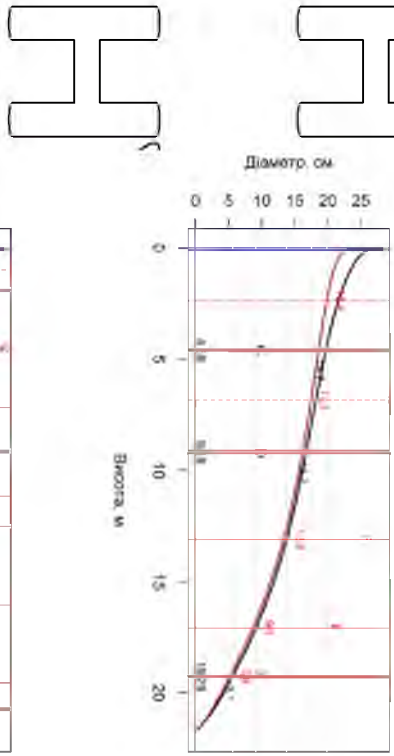
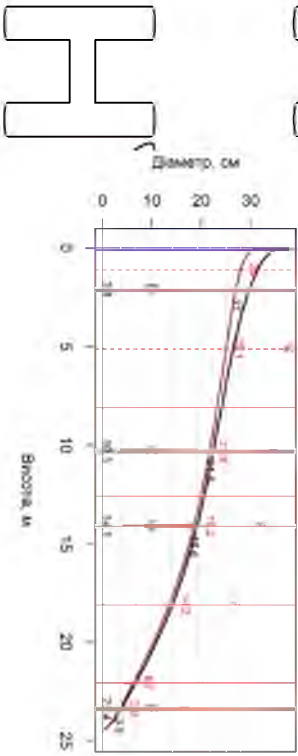


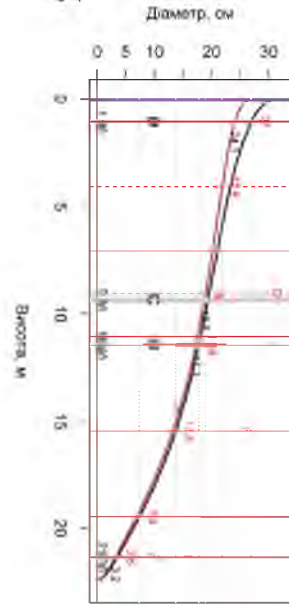
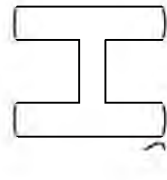
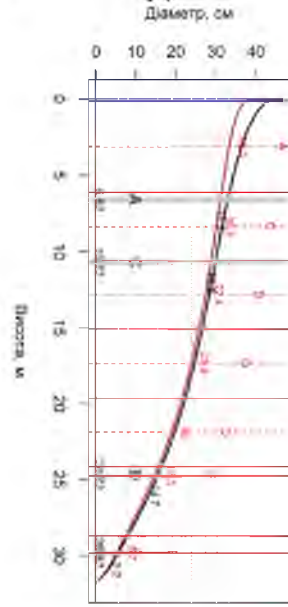
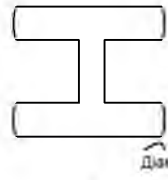
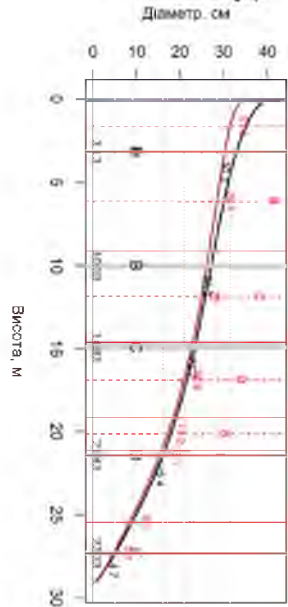
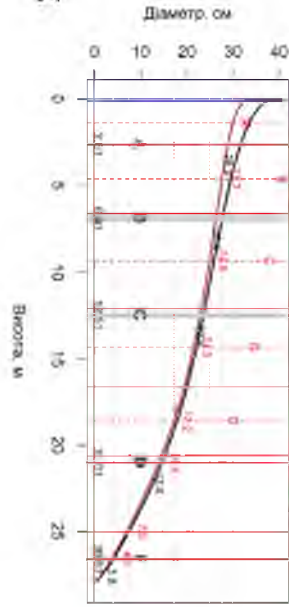
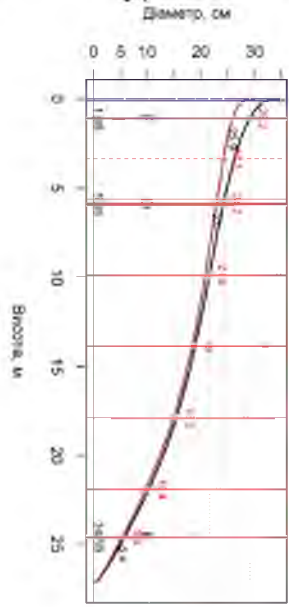
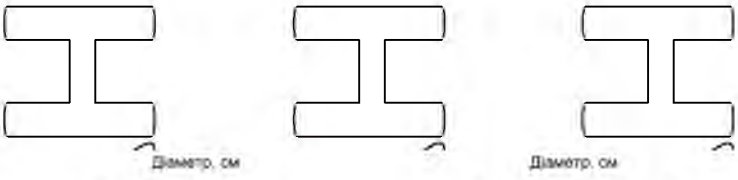


(

—

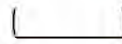
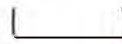
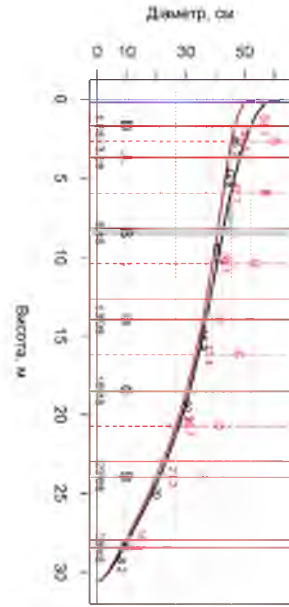
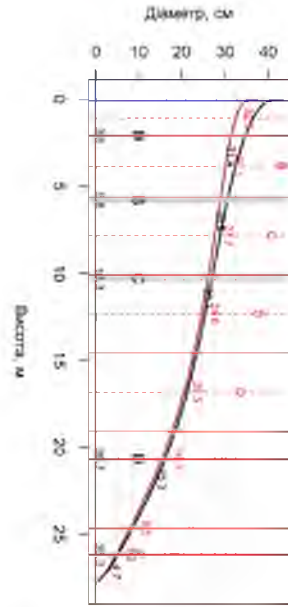
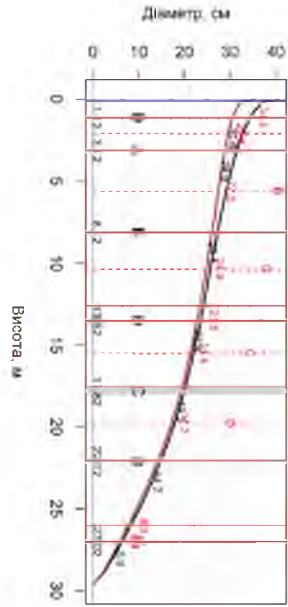
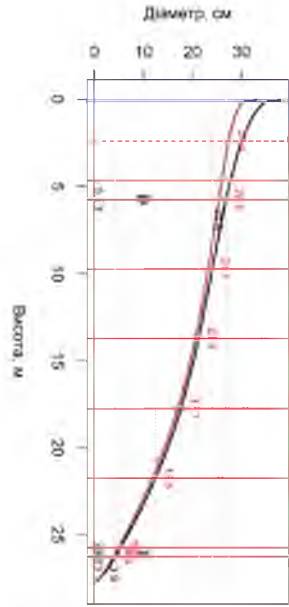
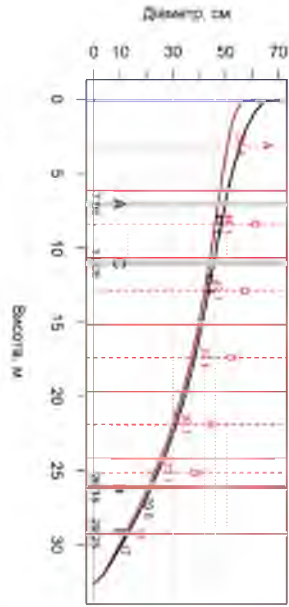


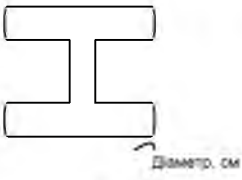




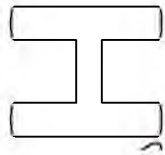
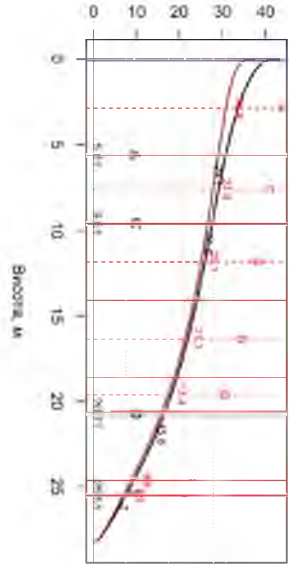
(

—

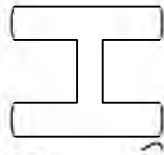
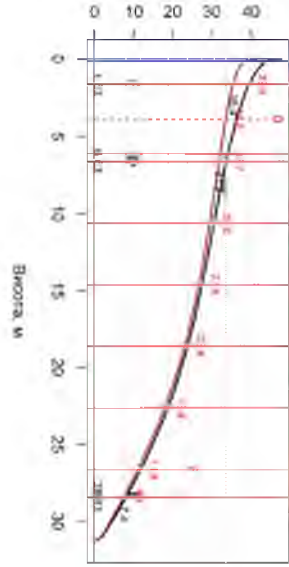




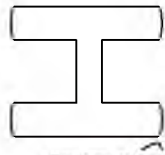
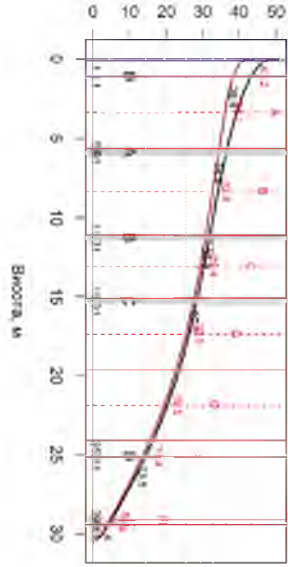
Диаметр, см



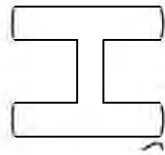
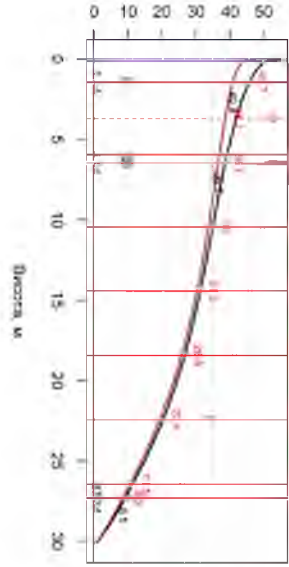
Диаметр, см



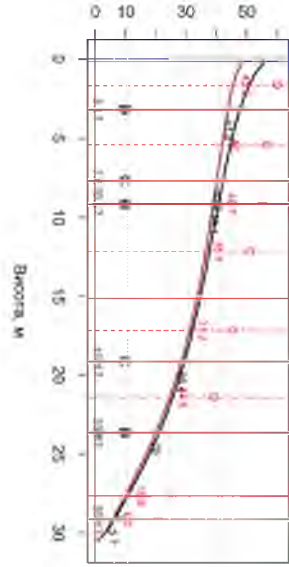
Диаметр, см



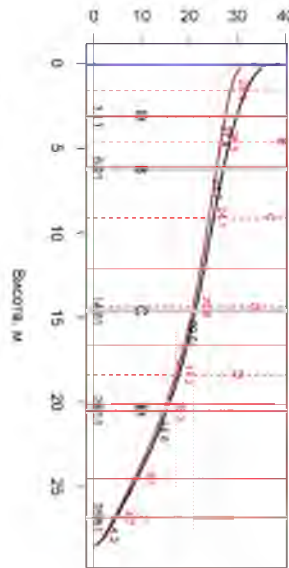
Диаметр, см



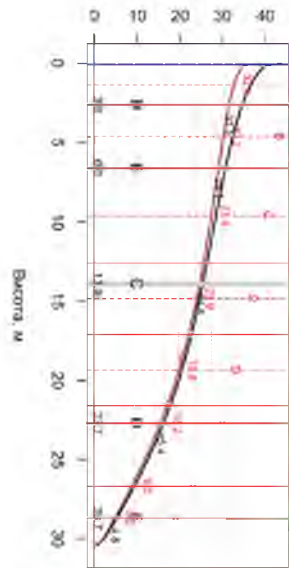
Диаметр, см



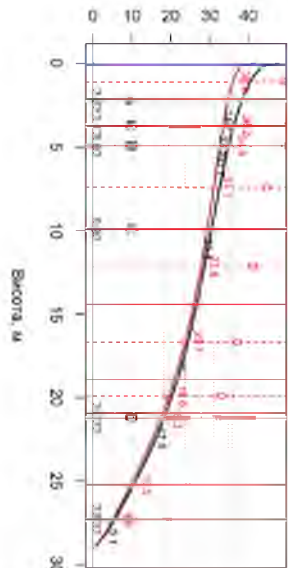
Диаметр, см



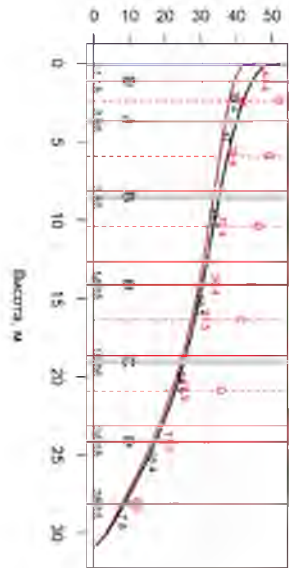
Диаметр, см



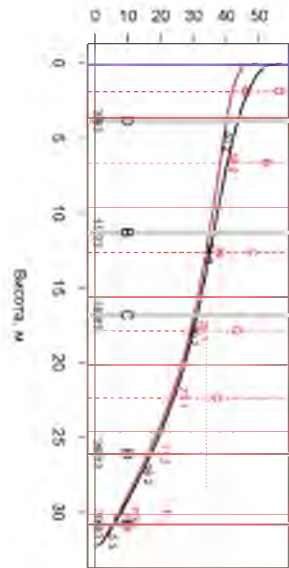
Диаметр, см



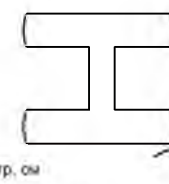
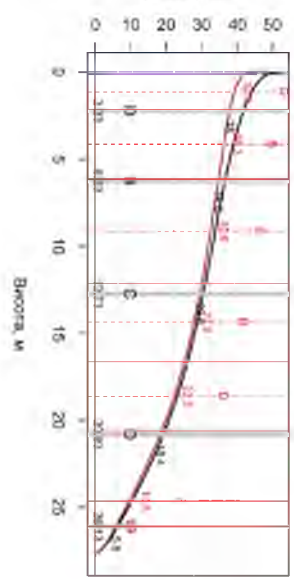
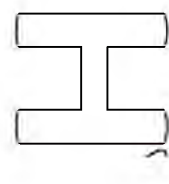
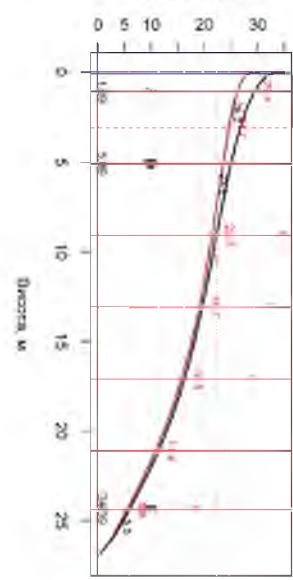
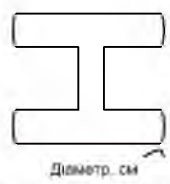
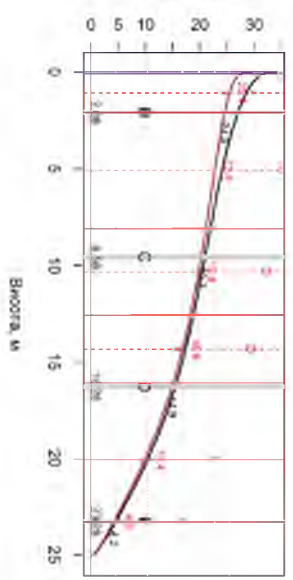
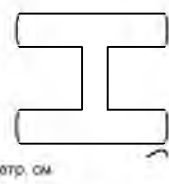
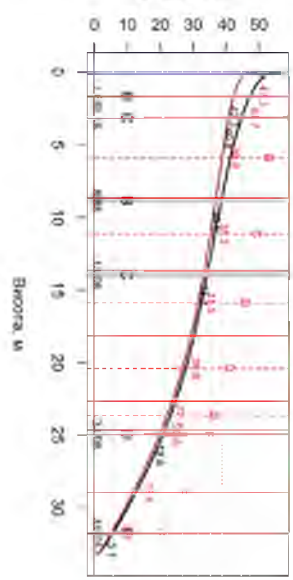
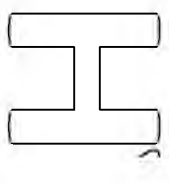
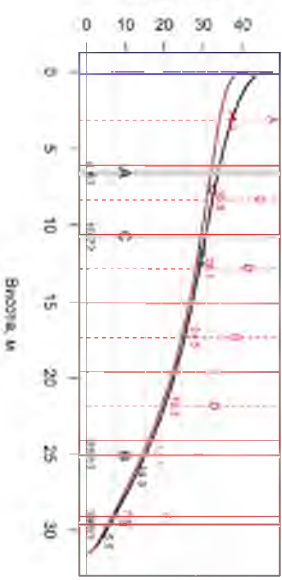
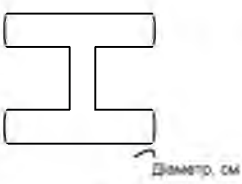
Диаметр, см



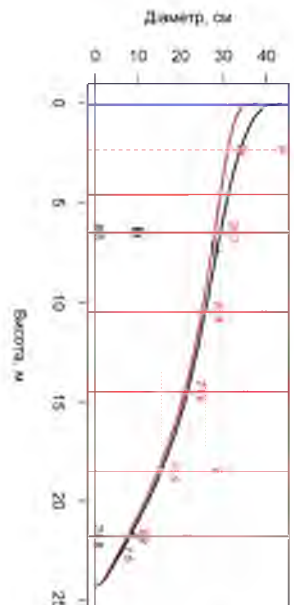
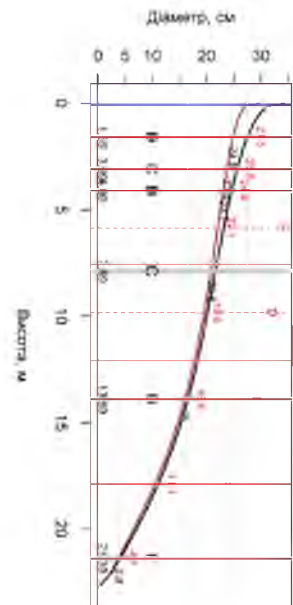
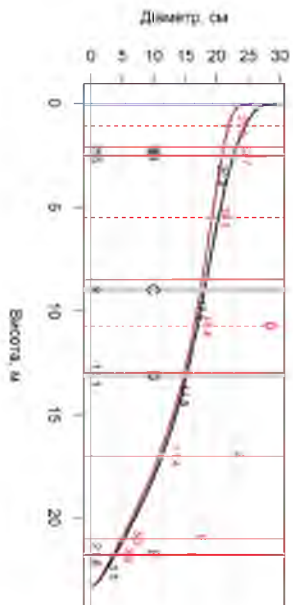
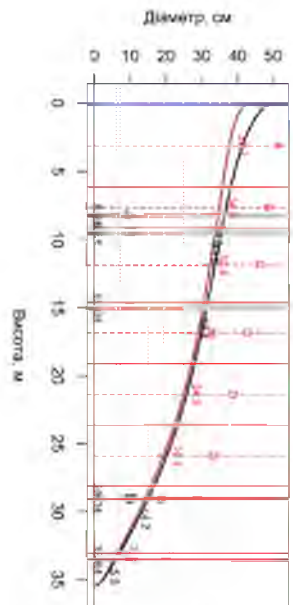
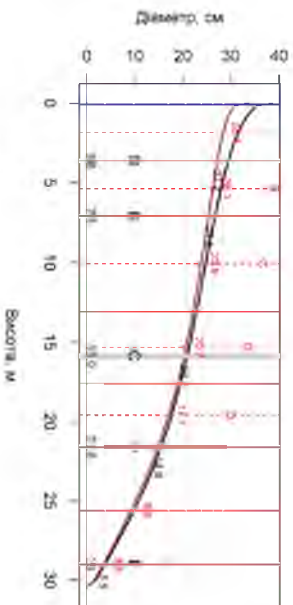
Диаметр, см



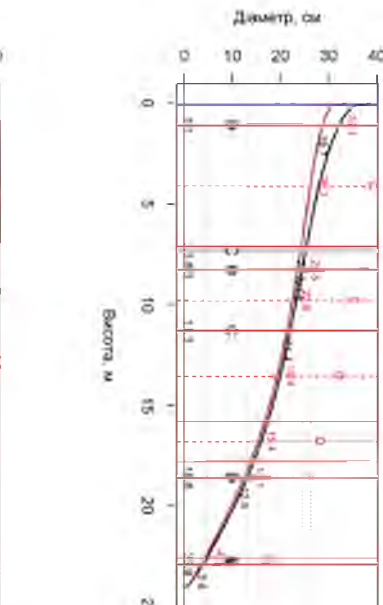
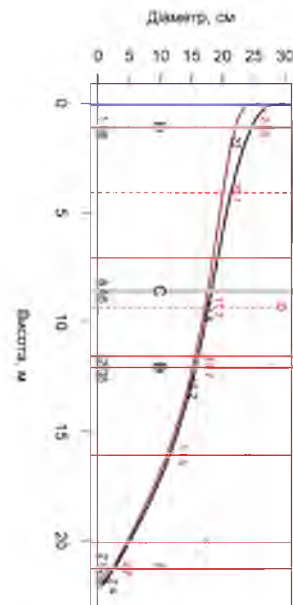
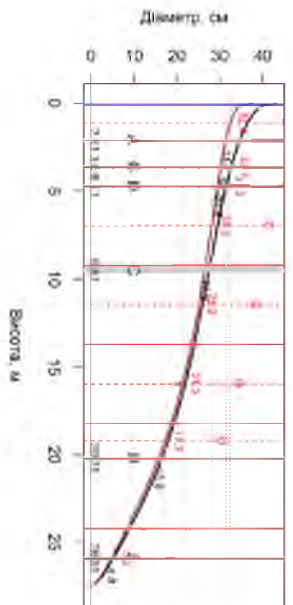
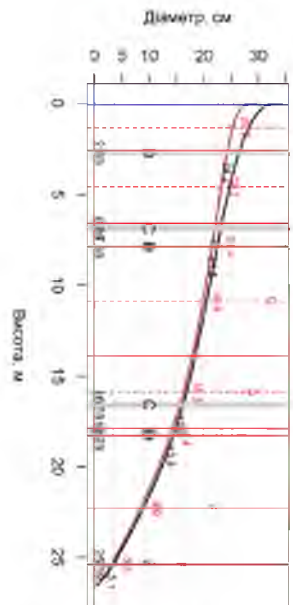
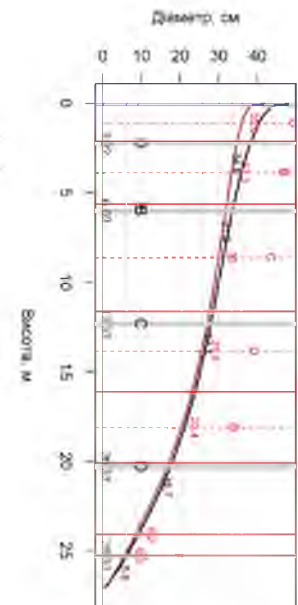
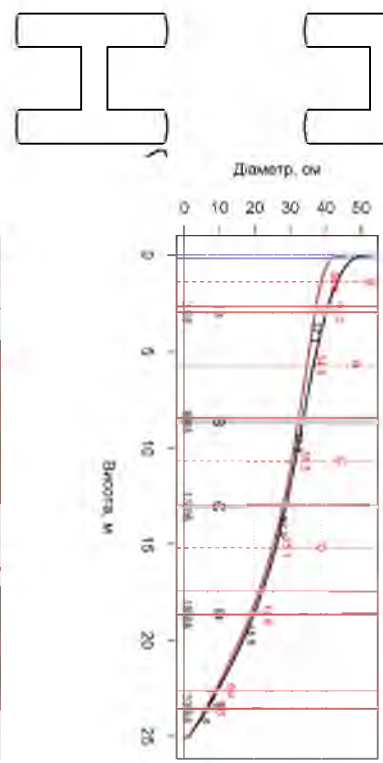
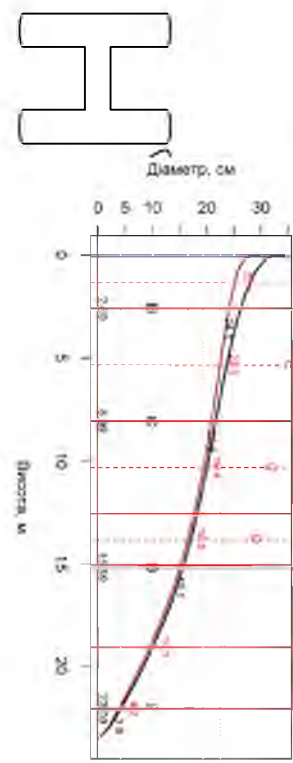
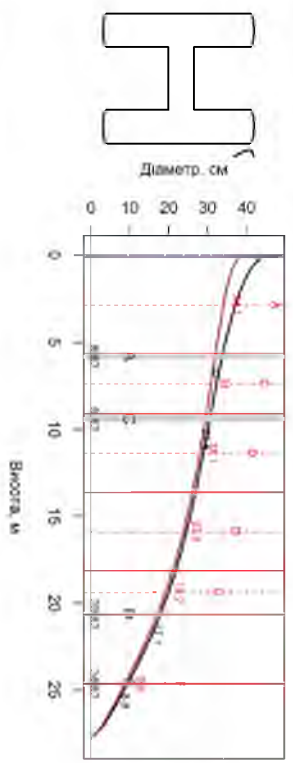
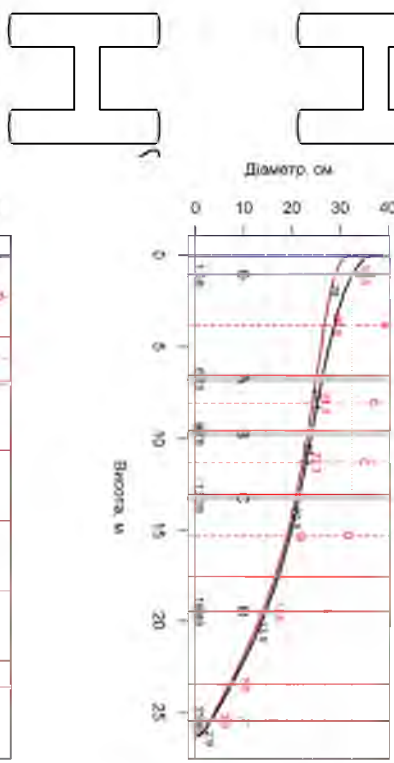
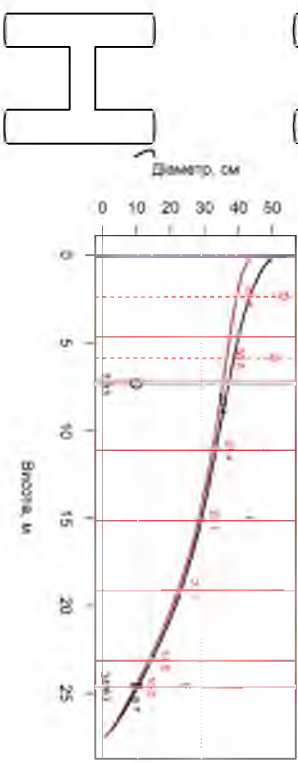




)

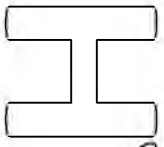
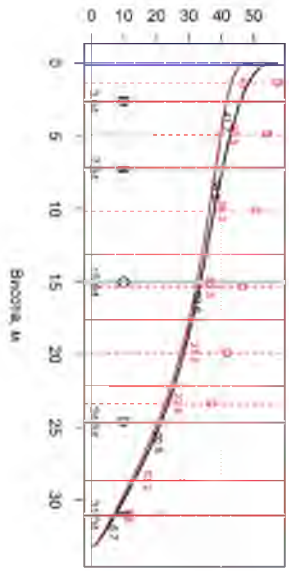


))

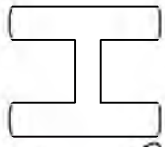
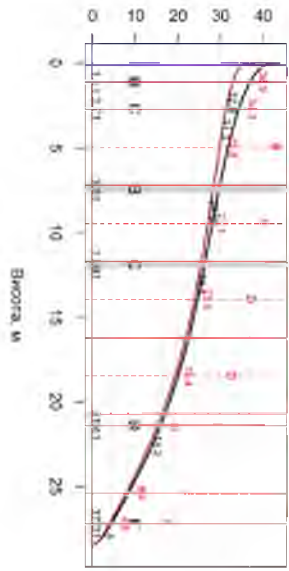




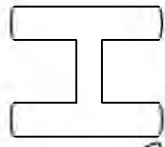
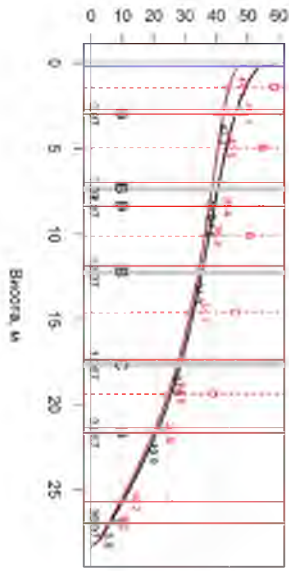
Диаметр, см



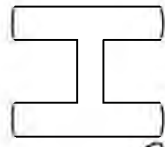
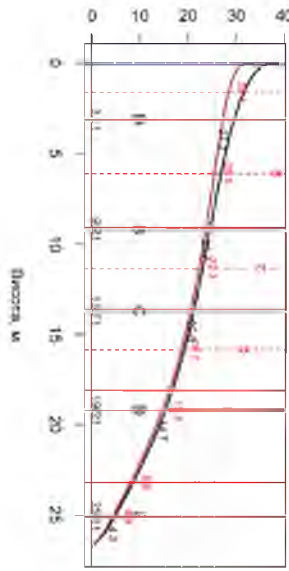
Диаметр, см



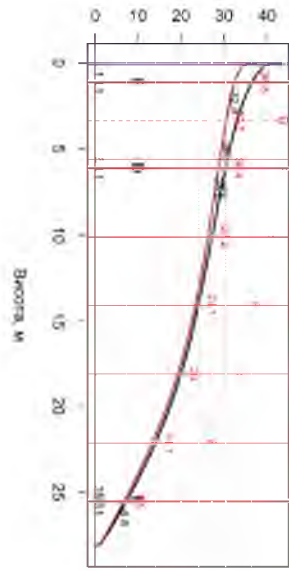
Диаметр, см



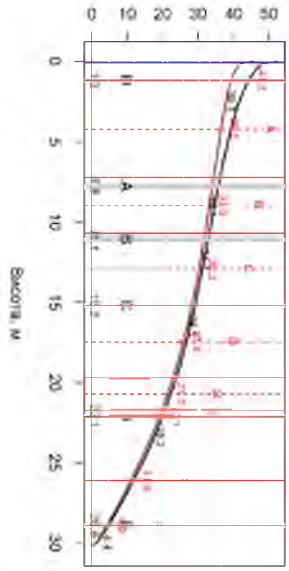
Диаметр, см



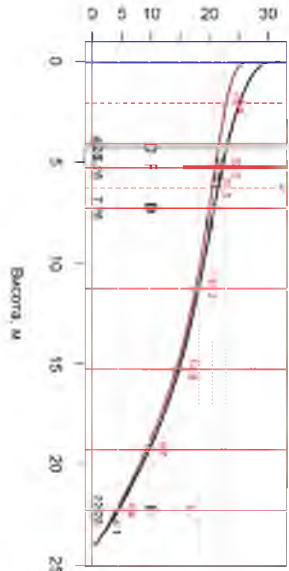
Диаметр, см



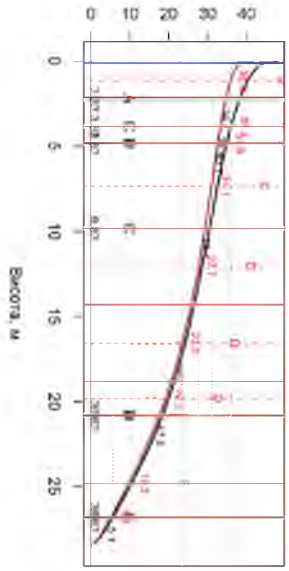
Диаметр, см



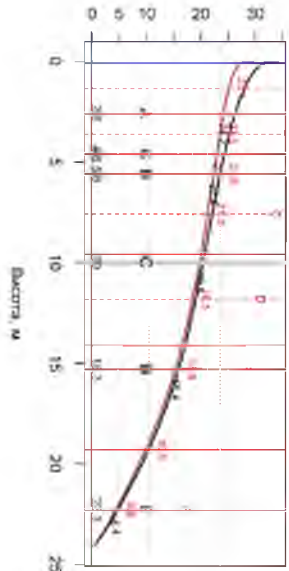
Диаметр, см



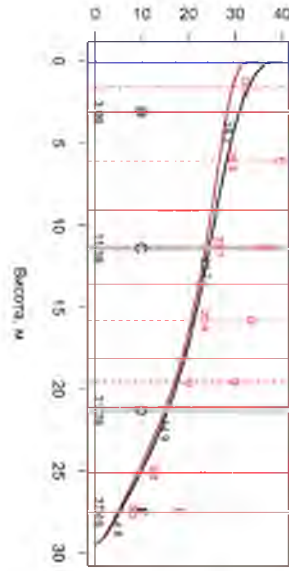
Диаметр, см



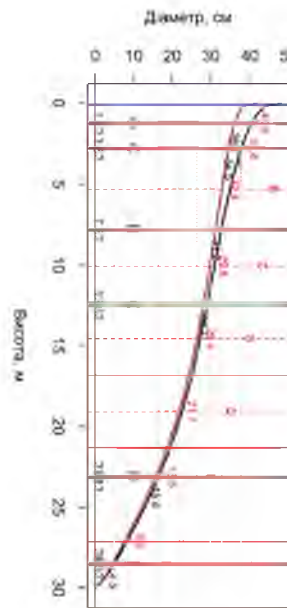
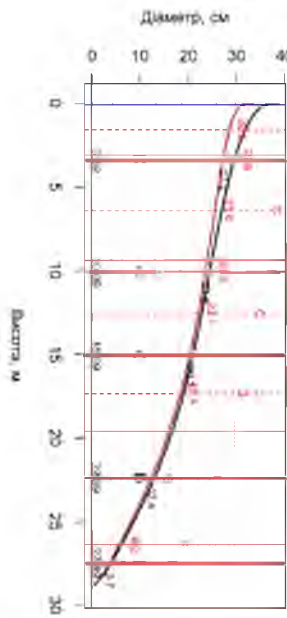
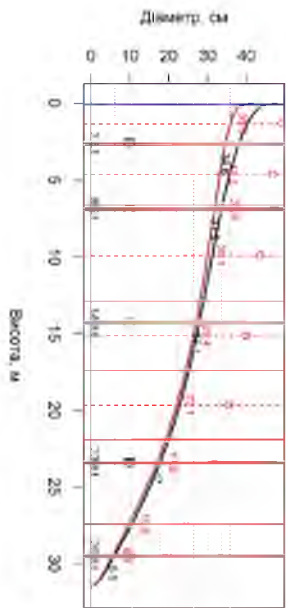
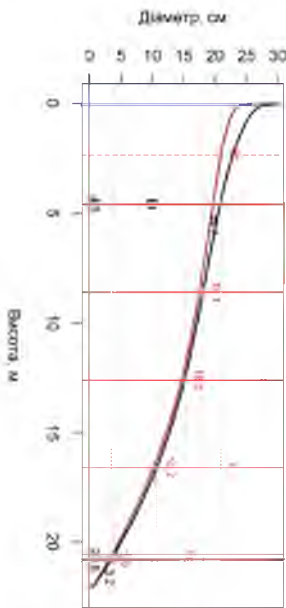
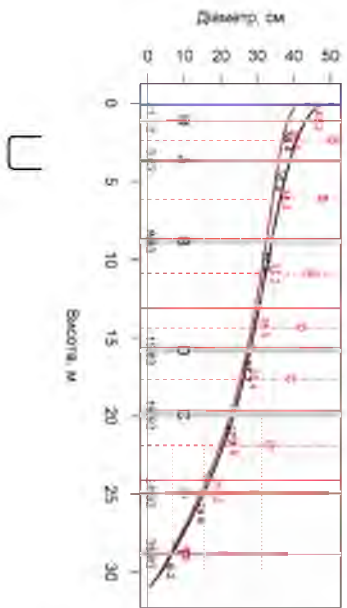
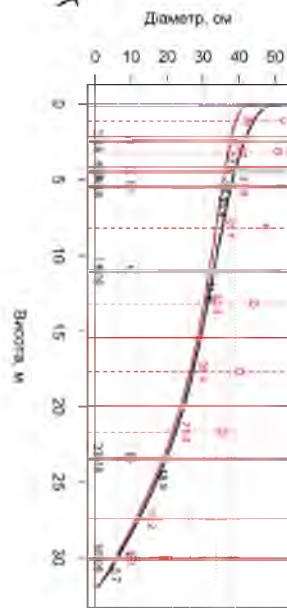
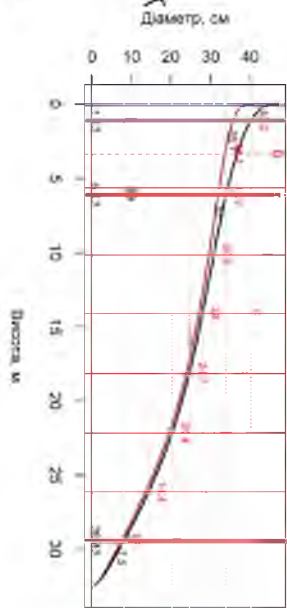
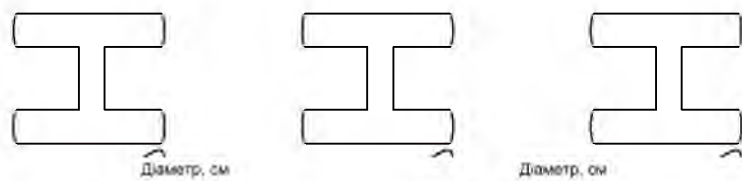
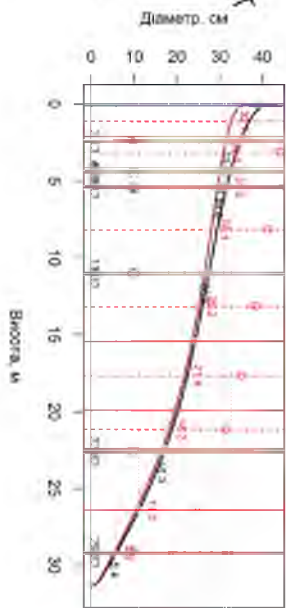
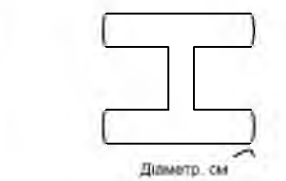
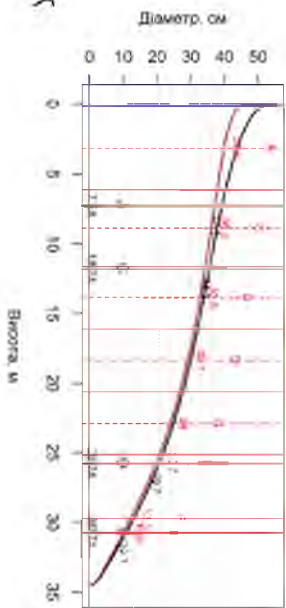
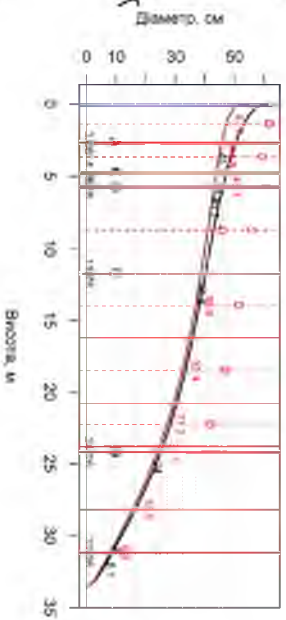
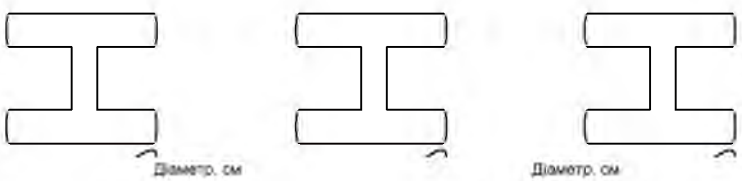
Диаметр, см

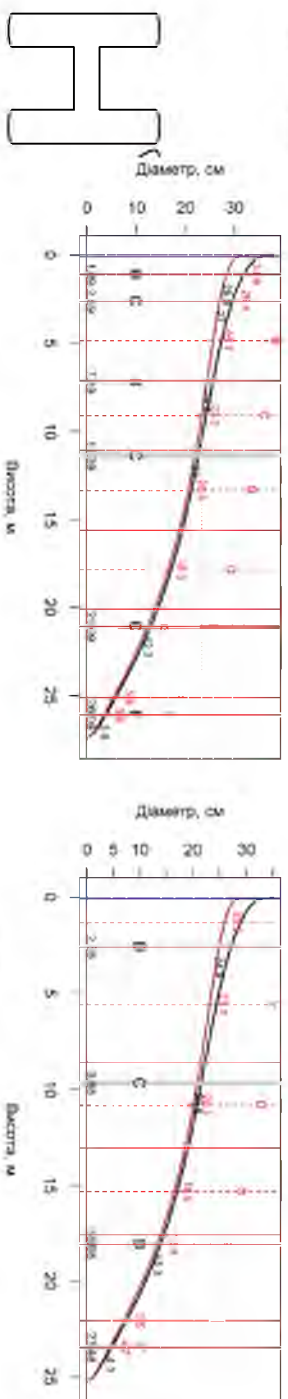
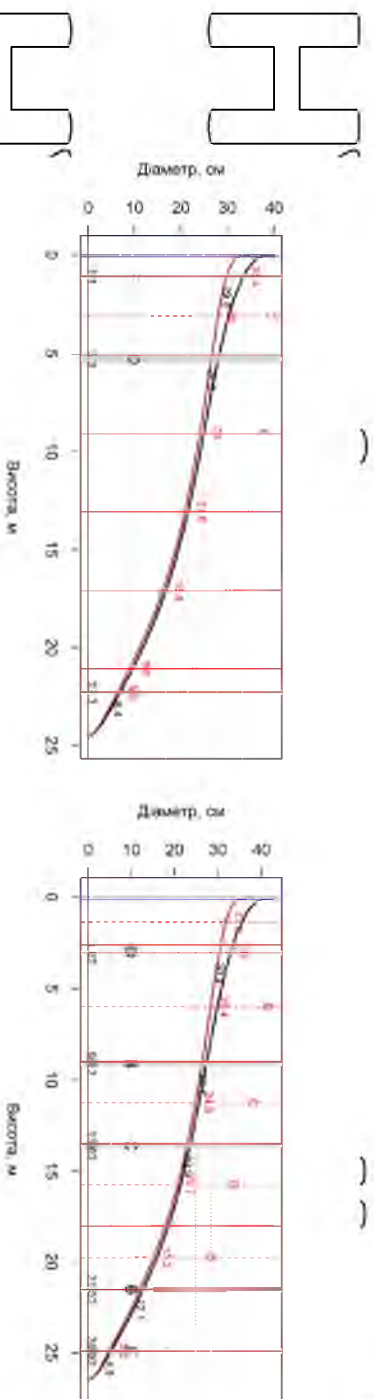


Диаметр, см









НУБІГ УКРАЇНИ

НУБІГ УКРАЇНИ

НУБІГ УКРАЇНИ

НУБІГ УКРАЇНИ