

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

Кваліфікаційна магістерська робота

на тему: **ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ДЕРЕВ'ЯНОЇ ФЕРМИ
ШЛЯХОМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Допустити до захисту

Завідувач кафедри БДМБ, к.т.н., професор

Владислав НАСТОЯЩИЙ

" ____ " _____ 2024 р.

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи, к.т.н., доцент

Микола ПАШИНСЬКИЙ

" ____ " _____ 2024 р.

Консультант з охорони праці, к.т.н., доцент

Віктор ДАРІЄНКО

" ____ " _____ 2024 р.

Виконав студент спеціальності

192 – Будівництво та цивільна інженерія

Олена НОВОХАТЬКО

" ____ " _____ 2024 р.

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				Документація загальна		
				Знову розроблена		
				Анотація	1	
				Summary	1	
A4			KMP 2319217 ПЗ	Пояснювальна записка		
				Зміст	2	
				Вступ	3	
				Розділ 1 Розвиток і використання дерев'яних конструкцій у будівництві	12	
				Розділ 2 Основні види та конструктивні елементи дерев'яних ферм покрівлі	8	
				Розділ 3 Цифрове моделювання дерев'яних ферм	8	
				Розділ 4 Аналіз результатів аналітичного моделювання	8	
				Висновки за результатами досліджень	2	
				Conclusions results of research	2	
				Список використаних джерел	2	
				Додаток А Охорона праці при монтажі несучих конструкцій	11	
A4			KMP 2319217 ПР	Додаток Б Ілюстраційні матеріали (мультимедійна презентація)	22	
				</		

АНОТАЦІЯ

Україна має великий ринок для різної продукції з деревини, але використання сировини все ще можна покращити та оптимізувати. У сучасному будівництві деревина використовується відповідно до її властивостей та необхідного класу міцності. Однак добре відомо, що властивості деревини в природі мають значну мінливість. Для визначення міцності деревини використовують характеристичне значення міцності, забезпеченість якого складає 0,95. Це означає, що в партії дерев'яних елементів певного класу міцності 95% усіх елементів мають показник міцності вище заданого характеристичного значення. Цей аспект і невизначеність фактичної міцності окремого дерев'яного елемента враховується при калібруванні коефіцієнтів надійності за матеріалом і навантаженням в нормах проєктування, які спрямовані на певний рівень надійності. У цій роботі вивчається потенціал використання результатів досліджень про оновлені та фактичні властивості матеріалу окремих дерев'яних елементів у процесі проєктування та виготовлення конструкцій з метою підвищення рівня надійності та підвищення ефективності використання деревини. Поки що виробники ферм не використовують результати класифікації для кожного окремого зразка деревини. Замість цього вони використовують лише характеристичні значення, відповідні класу міцності. Натомість у процесі проєктування та складання конструкцій елементи можуть бути розподілені в конструкції відповідно до їхніх фактичних властивостей, які доцільно використати для підвищення рівня надійності. У місцях з більш високими вимогами до міцності можна використовувати дерев'яні елементи з найвищими значеннями міцності, а в місцях з нижчими вимогами використовується деревина з меншою фактичною міцністю. В даній магістерській роботі цей процес моделюється у програмному забезпеченні MATLAB і RFEM і визначається ймовірність відмови конструкції. Результати показують, що ймовірність відмови можна зменшити, використовуючи оновлені дані про індивідуальні значення властивостей кожного елемента деревини замість узагальненого характерного значення. Оцінено потенціал економії сировини для більш ефективного будівництва.

SUMMARY

Ukraine has a large market for various wood products, but the use of raw materials can still be improved and optimized. In modern construction, wood is used according to its properties and required strength class. However, it is known that the properties of wood in nature have significant variability. To determine the strength of wood, the characteristic value of strength is used, the value of λ of which is 0.05. This means that in a batch of wooden elements of a certain strength class, 95% of all elements have a strength index above the specified characteristic value. This aspect and the uncertainty of an individual wooden element strength is taken into account when calibrating the reliability coefficients by load in the design norms, which are aimed at a certain level of reliability. This work studies the potential of using the results of research on the updated and actual material properties of individual wooden elements in the process of designing and manufacturing structures in order to increase the level of reliability and increase the efficiency of wood use. So far, farm producers do not use the classification results for each individual piece of wood. Instead, they use only characteristic values from the strength class. Instead, in the process of designing and assembling structures, elements can be distributed in the structure according to their actual properties, which can be used to increase the level of reliability. In areas with higher strength requirements, wood members with the highest strength values can be used, and in areas with lower requirements, wood with a lower actual strength is used. In this master's thesis, this process is simulated in MATLAB and RFEM software, and the probability of failure of the structure is determined. The results show that failure probability can be reduced by using updated data on the individual property values of each wood element instead of just the characteristic value. The potential of saving raw materials for more efficient construction was assessed.

З М І С Т

В С Т У П.....	4
Розділ 1. Розвиток і використання дерев'яних конструкцій у будівництві	7
1.1 Деревина як конструкційний матеріал	7
1.2 Інженерні вироби з деревини.....	8
1.3 Міцнісні властивості деревини.....	100
1.4 Система сортування деревини	13
1.5 Висновки з огляду літератури та завдання досліджень	17
Розділ 2. Основні види та конструктивні елементи дерев'яних ферм покрівлі.....	19
2.1 Види кроквяних покрівель	19
2.2 З'єднувальні елементи кроквяних покрівель	20
2.3 Проектування ферм покриття	22
2.3 Навантаження на ферми покриття	22
2.4 Вибір елементів кроквяних ферм	24
2.5 Конструкційна надійність	25
2.6 Висновки з розділу.....	26
Розділ 3. Цифрове моделювання дерев'яних ферм.....	27
3.1 Вихідні дані, програмний комплекс та основні припущення.	27
3.2 Скінченно-елементна модель.....	29
3.3 Моделювання та оптимізація за допомогою метода Монте-Карло.....	32
3.4 Висновки з розділу.....	34
Розділ 4. Аналіз результатів аналітичного моделювання.....	35
4.1 Випадкові ітерації.	35
4.2 Матеріал.	36
4.3 Навантаження.	37
4.2 Результати симуляції методом Монте-Карло.	39

					КМР 2319217 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Є.П.П. / Є.П.			Оптимізація конструкції дерев'яної ферми шляхом комп'ютерного моделювання	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів		Є.П.П. / Є.П.					2	59
Реценз.						ЦНТУ гр. БІ-23Мз		
Н. Конт.		Є.П.П. / Є.П.						
Затвердив		Є.П.П. / Є.П.			4.3 Оптимізація розташування дерев'яних елементів.....			40

4.4	Недоліки зміни розміру або сорту деревини.....	41
4.5	Припущення та спрощення при розрахунках.	41
4.6	Висновки з розділу.....	42
Висновки за результатами досліджень		43
Conclusions results of research.....		45
Список використаних джерел.....		47
Додаток А. Охорона праці при монтажі несучих конструкцій		49
Додаток Б. ІЛЮСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ		60

ВСТУП

Актуальність теми. Через різні умови вирощування, процеси обробки, а також через неоднорідну структуру матеріалу деревина має різні властивості. Тим не менш, вона постійно використовується у різних несучих і ненесучих конструкціях. Тверда деревина зазвичай використовується для облицювання та зовнішніх робіт, де потрібні колір, міцність та естетика. Хвойні породи часто використовуються для ефективних і економічних дерев'яних конструкцій. Зокрема, у будівлях деревина використовується як основний структурний компонент для різних цілей, таких як підлога, стеля, стіни та ферми покриття. Деревина використовується у формі самостійного конструкційного бруса або як збірні будівельні елементи, такі як клеєні балки. Ця магістерська робота присвячена конструктивному компоненту кроквяної конструкції дерев'яної ферми. Кроквяні ферми використовуються для підтримки даху будівлі та мають як естетичне, так і конструктивне призначення.

Міцність деревини зазвичай залежить від умов зростання та від природних характеристик деревини. Через природну мінливість деревини для отримання надійного будівельного продукту за українськими та європейськими нормами деревину сортують візуально або за допомогою приладів. Візуальне сортування зазвичай здійснюється згідно національного додатку до правил класифікації. Хоча простота та менша кількість технічних вимог роблять візуальну систему класифікації легшою для застосування простими засобами, вона не гарантує оптимальний розподіл деревини. Машинна система класифікації працює з попередньо визначеними налаштуваннями та безперервними випробуваннями й контролем результату. Машинне сортування є більш ефективним способом, ніж візуальне, оскільки машина може неруйнівним способом вимірювати властивості деревини, щоб визначити або вказати властивості, що визначають сорт. Дерев'яні елементи для ферм машинно класифікуються за кількома класами міцності, які потім використовують при проектуванні ферми. Однак вибір поперечного перерізу елементів регулюється вручну і згодом перевіряється, чи досягається необхідна несуча здатність, прогин і стійкість елементів.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Метод класифікації деревини на класи та використання властивостей цих класів у проєктуванні, тим не менш, вимагає відносно високого запасу міцності при проєктуванні та виробництві. Дерев'яні конструкції все ще піддаються руйнуванню через розміщення слабких елементів в стержнях з великим навантаженням.

Мета дослідження: Метою роботи є оцінка впливу фактичних властивостей елементів за допомогою цифрового моделювання конструкцій та подальшої оптимізації в параметричних процесах. При моделюванні враховуються фактичні властивості матеріалу, а не лише характеристичні значення 95% забезпеченості та пов'язані з ними коефіцієнти надійності.

Для досягнення мети, необхідно вирішити такі **основні задачі**:

1. Порядок сортування деревини повинен бути зрозумілий після проведення дослідження відповідного матеріалу.
2. Дослідити процес виробництва кроквяних ферм, зокрема способи, за допомогою яких архітектори та інженери можуть скористатися перевагами деревини. Серед літературних джерел, які використовувалися при написанні цієї роботи, є книги, наукові журнали та статті, представлені на конференціях, присвячених темі сортування деревини та кроквяних ферм.
3. Зібрати дані про класифікацію деревини, щоб можна було побудувати числову модель кроквяної ферми. Використати отриману аналітичну модель деревини для побудови параметричної моделі конструкцій.
4. Оцінити рівень надійності отриманих ферм, і використати модель для оптимізації продуктивності, безпеки та витрат матеріалів на конструкції. Для моделювання параметричної моделі та аналізу даних буде використано програмне забезпечення MATLAB, а також RFEM.

Об'єкт дослідження: раціональне використання деревини для виготовлення несучих конструкцій у вигляді дерев'яних ферм.

Предмет дослідження: раціональні значення характеристик матеріалу та розмірів дерев'яних ферм.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Методи дослідження базуються на використанні програмного комплексу RFEM-Design для визначення оптимальних розмірів елементів ферм.

Наукова та технічна новизна результатів виконаних досліджень:

- 1) Запропоновано спосіб оптимізації дерев'яних ферм на основі даних випробувань і сортування. Зменшено ймовірність відмови ферми за рахунок оптимізованого розміщення пиломатеріалів;
- 2) Функція граничного стану для конструктивної системи дерев'яної ферми визначена як функція, що враховує багато змінних (компоненти навантаження, параметри міцності, властивості матеріалу, розміри та інші невизначені фактори аналізу). Ці невизначені змінні розглядалися як випадкова змінна з використанням підходу на основі надійності;
- 3) Для оцінки надійності конструктивної системи використано метод Монте-Карло. Показано, що метод дозволяє оцінити надійність конструктивної системи з помірними витратами часу на обчислення.

Практичне значення одержаних результатів полягає в реалізації проєктного розрахунку дерев'яних ферм програмними засобами, виявленні меж можливого збільшення несучої здатності за рахунок раціонального розміщення елементів з дефектами, а також у розробленні рекомендацій з використання програмних засобів для оптимального розміщення деревини у фермах.

Апробація та публікація результатів роботи. Основні положення магістерської роботи були представлені на IV Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій» (м. Кропивницький, 21-22 листопада 2024 р.) та опубліковані в тезах доповіді: О.В. Новохатько, А.В. Невешкін, К.Д. Богатирьова, М.В. Пашинський. Оптимізація конструкції дерев'яних ферм. Кропивницький: ЦНТУ, 2024.

Структура роботи. Робота містить 59 сторінок (вступ, 4 розділи, висновки, один додаток), у тому числі 5 таблиць, 22 рисунка, список літератури з 23 використаних джерел, анотацію українською та англійською мовами, а також мультимедійну презентацію з 22 слайдів.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		6

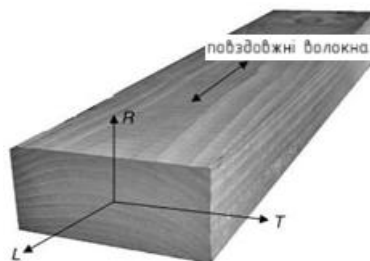
Розділ 1

РОЗВИТОК І ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ У БУДІВНИЦТВІ

1.1 Деревина як конструкційний матеріал

Деревина є традиційним будівельним матеріалом, який використовується протягом багатьох років. Це природна органічна речовина з багатьма перевагами. Конструкції можуть мати безліч форм і розмірів та високе співвідношення міцності до ваги. Її можна поєднувати з іншими будівельними матеріалами і вона є справді відновлюваним джерелом будівельних матеріалів.

Оскільки деревина є природним біологічним матеріалом, її застосування загрожує ускладненнями. Її характеристики сильно змінюються та реагують на кліматичні умови та умови навантаження. Деревина є ортотропним матеріалом через високу міцність і жорсткість паралельно волокнам, тобто в поздовжньому напрямку (L), але має недостатні міцнісні властивості перпендикулярно волокну, тобто в радіальному та тангенціальному напрямках (R, T). Окрім різної міцності та жорсткості, матеріал також демонструє різні властивості усадки/набухання у всіх трьох ортогональних орієнтаціях. Малюнок 1.1 ілюструє ортоптичні властивості за напрямками [1, 2].



Малюнок 1.1. Ортотропний напрям для деревини

Деревина є гігроскопічним матеріалом, здатним обмінюватися вологою з навколишнім середовищем. Вологість деревини, яка визначається як відношення маси води, яку можна вилучити з деревини, до маси висушеної деревини, має

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

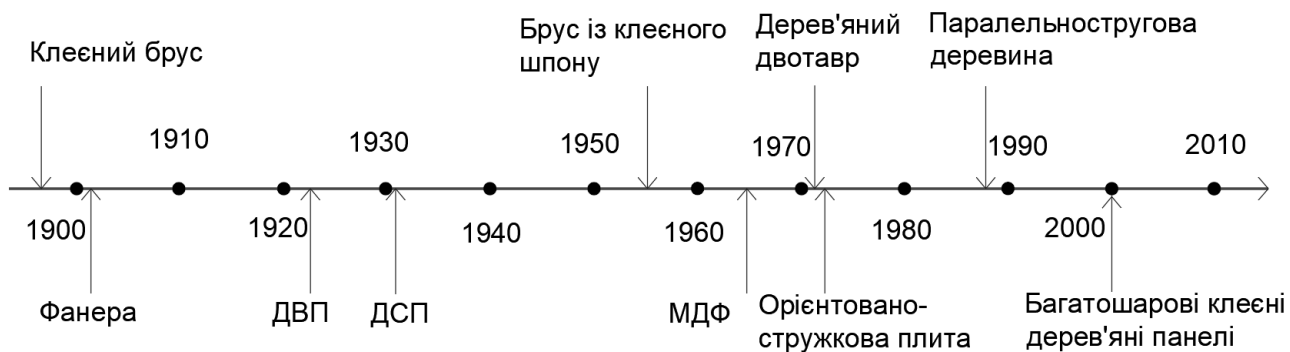
істотний вплив на її властивості. Рівень вологості необхідно ретельно вимірювати не тільки через варіації міцності та розбухання/усадки, але також через те, що деревина чутлива до дії різноманітних організмів. Якщо рівень вологи у відкритому середовищі неможливо контролювати, рекомендується використовувати спеціальні покриття деревини.

Механічні характеристики зазвичай вимірюють на зразках деревини з рівнем вологості близько 12%. Вони отримуються шляхом тестування та класифікації, під час яких матеріал класифікується, щоб задовольнити численні критерії кінцевого користувача та гарантувати надійність продукту. При проєктуванні структурних компонентів необхідно враховувати можливість дефектів. Такі дефекти, як сучки, ускладнюють визначення справжньої міцності матеріалу. Він визначається аналітично шляхом припущення, що дефекти розсіяні по всьому об'єму і, таким чином, залежать від розміру елемента [1, 2].

1.2 Інженерні вироби з деревини

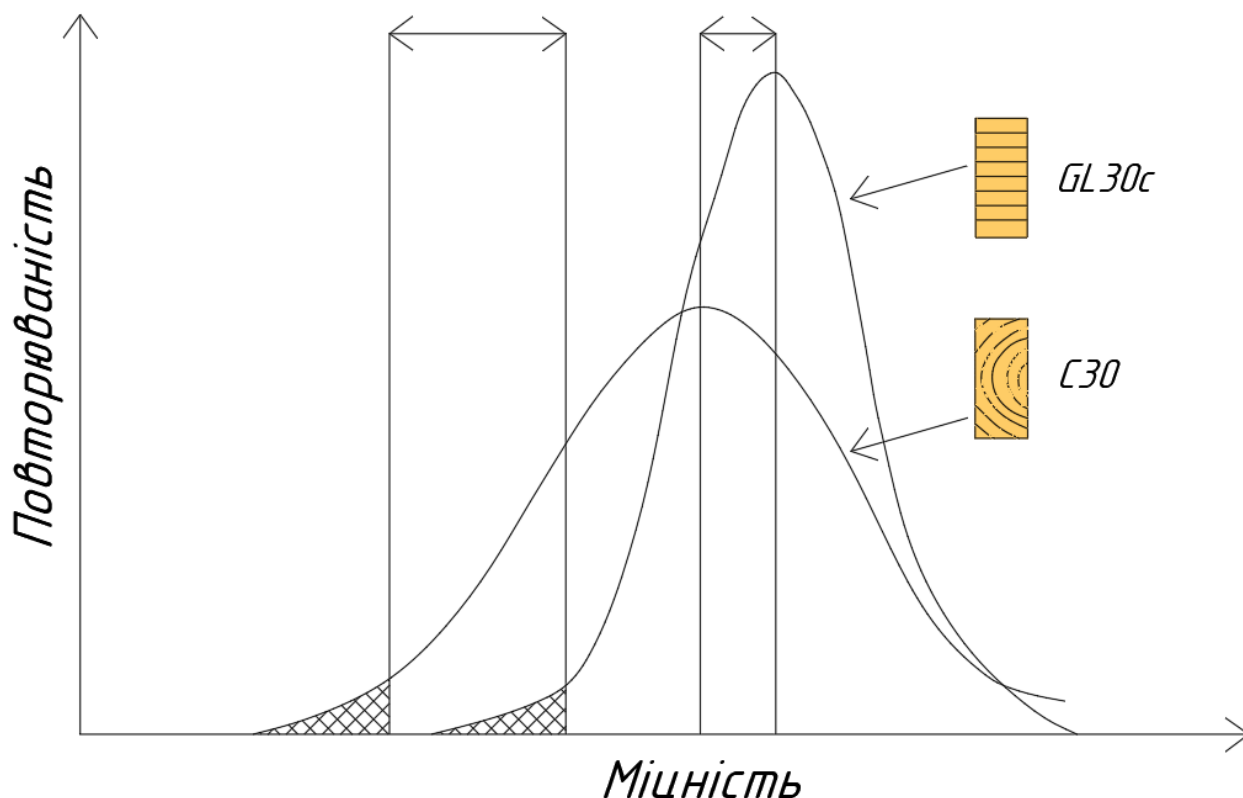
Поперечний переріз і довжина пиломатеріалів обмежуються розмірами бруса і технологією виготовлення. За даними [3, 4], максимальна висота й довжина становлять 260 мм і 5,5 м відповідно. Щоб отримати більші розміри, вироби з деревини можуть бути виготовлені з пиломатеріалів, шпону, волокон або дерево-стружкових плит, які скріплюються клеєм. Більшість виробів з деревини, включаючи балки та панелі, були розроблені в Північній Америці протягом 20 століття. На малюнку 1.2 зображено хронологію розробки кількох дерев'яних виробів. Древа невеликого діаметру та низькоякісні пиломатеріали можуть бути використані для створення продукту з прийнятними структурними якостями завдяки поєднанню різних елементів. Це важливо як з економічної, так і з екологічної точки зору [5].

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



Малюнок. 1.2. Розвиток виробів з дерева протягом 20 століття

Густина розподілу імовірності для характеристик міцності пиломатеріалів та клеєного бруса зображена на малюнку 1.3. Міцність пиломатеріалів знижується через дефекти поперечного перерізу, такі як сучки. Матеріалами з деревини, з іншого боку, легше управляти для забезпечення необхідної якості, а комбінація ширших частин (ефект Вейбулла) збільшує міцність, одночасно зменшуючи дисперсію порівняно з пиляною деревиною [6, 7].

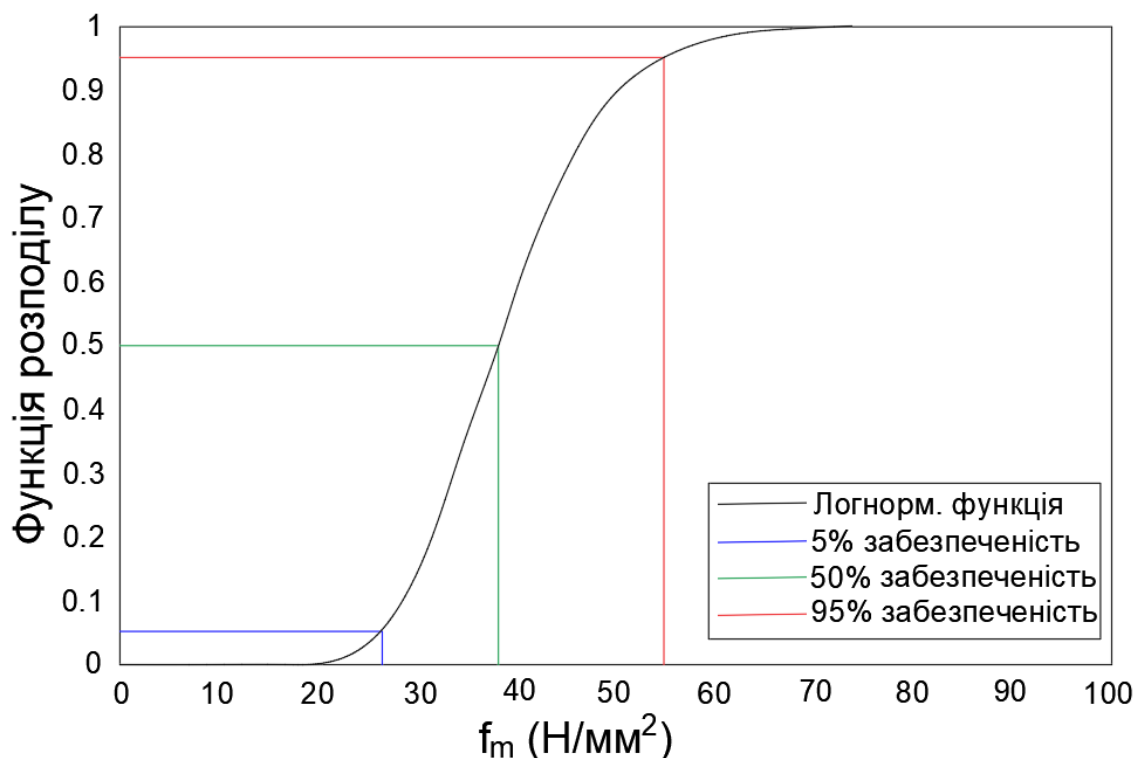


Малюнок 1.3. Крива ймовірності міцності дерев'яного і клеєного бруса

1.3 Міцнісні властивості деревини

Європейські і вітчизняні стандарти [4, 8] класифікують деревину, що використовується для будівельних цілей, за допомогою класів міцності. Клас міцності – це показник, за яким деревині присвоєно фізичні та механічні властивості для використання в розрахунках конструкцій.

При класифікації міцності деревини [8, 9] вона розглядається як однорідний матеріал із незмінною міцністю вздовж усього зразка. Міцність деревини визначається її характерним значенням, також відомим як 5-ти відсотковий процентиль, який вказує на те, що 95% усіх зразків мають більшу міцність, ніж призначений клас. Це може призвести до надмірно великих запасів надійності для дерев'яних конструкцій. Міцність деревини відповідає логарифмічно нормальному кумулятивному розподілу, який представлено на малюнку 1.4 нижче.



Малюнок 1.4. Логарифмічно-нормальний кумулятивний розподіл змодельованих міцнісних властивостей деревини

У Європі при оцінці зразків деревини враховують три основні характеристики: міцність, жорсткість і щільність. Використовуються два європейські стандарти, EN408 [10] і EN384 [11] (в Україні готується заміна для нормативного документу [12]), а також приймається стандартний вміст вологи, що складає 65 відсотків і температура 20 градусів за Цельсієм.

Розпилювання деревини з наступним склеюванням дає змогу виготовляти величезні структурні елементи [13]. Після проходження ряду процедур деревина доступна для використання в будівництві. Відповідно до таблиці 1.1, тверда деревина класифікується згідно [4, 8, 12] від C14 до D70 на основі міцності на вигин $f_{m,k}$ у МПа. Буква С чи D визначає деревину як хвойну або тверду.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1

Характеристики деревини в залежності від класу міцності відповідно до EN338[12]

Клас деревини	Міцнісні характеристики (Н/мм ²)						Характеристики жорсткості (кН/мм ²)				Густина (кг/м ³)	Густина (кг/м ³)
	Згин	Міцність при розтягу вздовж волокон	Міцність при розтягу впоперек волокон	Міцність при стиску вздовж волокон	Міцність при стиску впоперек волокон	Міцність при зсуві	Середнє значення модуля пружності	5% квантиль модуля пружності	Середнє значення модуля пружності впоперек волокон	Середнє значення модуля зсуву		
	f _{m,k}	f _{t,0,k}	f _{t,90,k}	f _{c,0,k}	f _{c,90,k}	f _{v,k}	E _{0,mean}	E _{0,05}	E _{90,mean}	G _{mean}	Г _k	Г _{mean}
C14	14	8	0,4	16	2	3	7	4,7	0,23	0,44	290	350
C16	16	10	0,4	17	2,2	3,2	8	5,4	0,27	0,5	310	370
C18	18	11	0,4	18	2,2	3,4	9	6	0,3	0,56	320	380
C20	20	12	0,4	19	2,3	3,6	9,5	6,4	0,32	0,59	330	390
C22	22	13	0,4	20	2,4	3,8	10	6,7	0,33	0,63	340	410
C24	24	14	0,4	21	2,5	4	11	7,4	0,37	0,69	350	420
C27	27	16	0,4	22	2,6	4	11,5	7,7	0,38	0,72	370	450
C30	30	18	0,4	23	2,7	4	12	8	0,4	0,75	380	460
C35	35	21	0,4	25	2,8	4	13	8,7	0,43	0,81	400	480
C40	40	24	0,4	26	2,9	4	14	9,4	0,47	0,88	420	500
C45	45	27	0,4	27	3,1	4	15	10	0,5	0,94	440	520
C50	50	30	0,4	29	3,2	4	16	10,7	0,53	1,00	460	550
D18	18	11	0,6	18	7,5	3,4	9,5	8	0,63	0,59	475	570
D24	24	14	0,6	21	7,8	4	10	8,5	0,67	0,62	485	580
D30	30	18	0,6	23	8	4	11	9,2	0,73	0,69	530	640
D35	35	21	0,6	25	8,1	4	12	10,1	0,8	0,75	540	650
D40	40	24	0,6	26	8,3	4	13	10,9	0,86	0,81	550	660
D50	50	30	0,6	29	9,3	4	14	11,8	0,93	0,88	620	750
D60	60	36	0,6	32	10,5	4,5	17	14,3	1,13	1,06	700	840
D70	70	42	0,6	34	13,5	5	20	16,8	1,33	1,25	900	1080

1.4 Система сортування деревини

Існує два різних підходи до сортування деревини. Оцінювання здійснюється як візуально, так і механічно. Механічний або машинний процес класифікації є трудомістким, деревина має відповідати певним вимогам, щоб отримати розпізнавальні штампи, такі як сорт, виробник, ідентифікаційний номер та інші. Ці штампи можна знайти на дереві. Такий вид класифікації є більш складним, ніж візуальне класифікування, але він забезпечує безпечнішу та надійнішу оцінку міцності матеріалу. Найбільш поширений підхід до сортування деревини в Європі досягається за допомогою машин. Щоб класифікувати деревину, машина знімає показання однієї або кількох властивостей деревини. З іншого боку, візуальна класифікація передбачає візуальну оцінку конструкційної деревини та надання певних візуальних якостей для оцінки відповідно до прийнятих національних критеріїв. Під час цієї процедури класифікації вимірюються фізичні аномалії, такі як сучки, ширина кільця, нахил волокон та інші, щоб обчислити найвище значення, яке може бути присвоєно конкретному класу для кожної з цих ознак [14, 15].

Візуальна оцінка міцності.

Візуальна оцінка існувала протягом століть і все ще використовується в різних контекстах сьогодні. Під час процесу сортування зовнішній вигляд деревини є фактором, який в тій чи іншій мірі береться до уваги.

Під час візуального сортування деревини повинні бути дотримані вимоги, викладені в стандарті ДСТУ EN ISO 18081:2019 [16]. Незважаючи на те, що існують стандарти, які визнані в глобальному масштабі, кожна країна може використовувати відносно унікальний набір стандартів для оцінювання якості за допомогою зору людини. Правила в кожній країні були адаптовані до порід деревини, які найчастіше зустрічаються в цьому регіоні. В Україні для будівництва використовуються різні види деревини, в залежності від конкретних вимог до міцності, стійкості та естетики. Основними видами деревини, які використовуються в будівництві, є:

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Сосна: Найпоширеніший вид деревини для будівництва. Вона легко обробляється, має хороші механічні властивості та відносно недорого.

Ялина: Також популярна в будівництві. Відрізняється від сосни меншим вмістом смоли та трохи меншою міцністю.

Дуб: Використовується для більш міцних та довговічних конструкцій. Має високу щільність, стійкість до гниття та привабливий вигляд.

Бук: Відома своєю міцністю та твердістю. Часто використовується для виготовлення меблів та внутрішніх елементів будівель.

Ясен: Висока міцність та гнучкість. Використовується для виготовлення підлогових покриттів, сходів та інших конструкцій.

Модрина: Стійка до вологи та гниття, що робить її ідеальною для зовнішніх конструкцій та покрівель.

Липа: Використовується для декоративних елементів, оскільки легко піддається обробці і має приємний колір та текстуру.

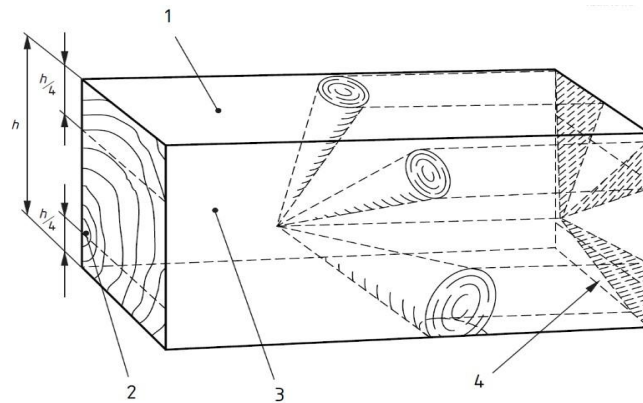
Кожен шматок деревини візуально оцінюється та отримує оцінку на основі властивостей, які сприяють його загальній міцності. Такими якостями є жорсткість, щільність, нахил волокон, кількість і ширина сучків. Остаточна оцінка, присвоєна зразку, визначатиметься тим, наскільки добре він задовольняє всім цим естетичним критеріям.

Візуальні характеристики деревини не завжди є найкращим показником її властивостей, а візуальна класифікація міцності може бути не найкращим підходом для оцінки реальних властивостей деревини, беручи до уваги запас надійності з урахуванням людської помилки. Крім того, властивості деревини можна неправильно оцінити на основі лише зовнішнього вигляду деревини. Однак, оскільки оцінка візуальної міцності потребує менше ресурсів, це хороша відправна точка для гарантії того, що більша різноманітність видів деревини може використовуватися в будівельних проєктах. Це стає можливим, оскільки оцінка візуальної міцності є більш дешевою.

Одним із найбільш фундаментальних обмежень візуального сортування є те, що воно не може виявити будь-які дефекти деревини, які не помітні на

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

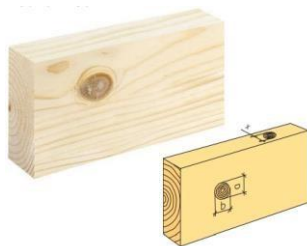
поверхні. Це одна з причин, чому візуальне оцінювання не таке точне, як інші методи. Невизначеність підходу візуального сортування призводить до більшого запасу надійності, ніж у методу машинного сортування.



Малюнок 1.5. Візуальна оцінка деревини

Сучки в пиломатеріалах.

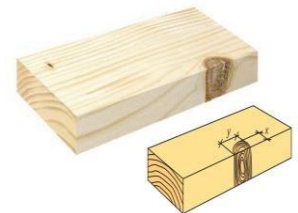
Пиломатеріали можуть містити різноманітні сучки, кожен з яких має власний набір специфікацій щодо того, що становить прийнятну марку. Ілюстрації вузлів показано на малюнку 1.6.



а) круглий сучок



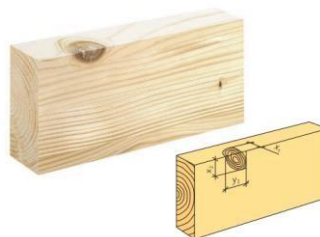
б) овальний сучок



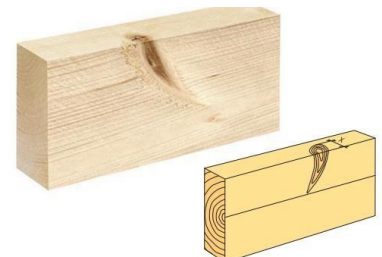
в) сучок на краю



г) сучок, що не перетинає край



д) сучок на вузлі



е) шиповий сучок



ж) розкисний сучок



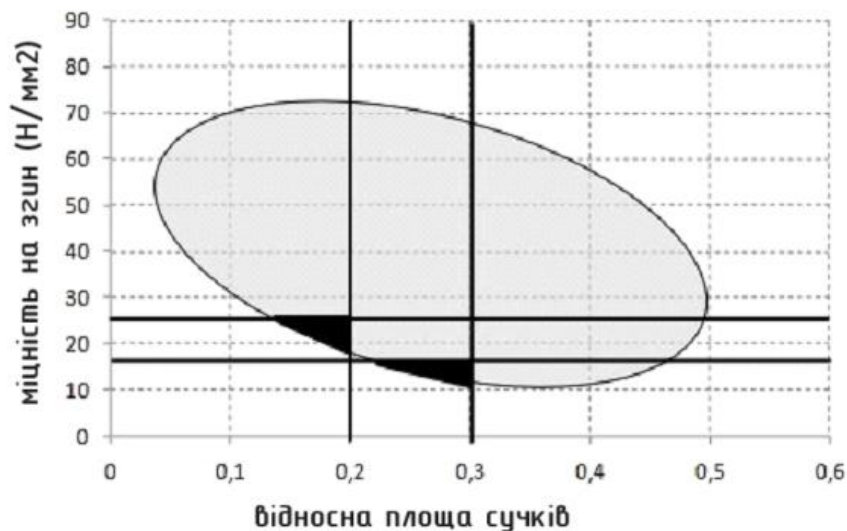
з) шпильковий сучок

Малюнок 1.6. Різні форми сучків

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		15

Згідно з Європейським стандартом EN 338 [12], зразки однієї породи з порівнянними якостями відносять до першого класу міцності. Міцність, щільність (ρ) і модуль пружності (E) є трьома визначальними параметрами, які характеризують міцнісні якості деревини. Як для хвойних порід (клас C), так і для листяних порід (клас D) встановлюється клас міцності на згин, а також клас міцності на розтяг для м'якої деревини (клас T). Класи встановлені так, щоб якомога точніше відповідати властивостям найбільш поширених видів деревини.

На малюнку 1.7 показано стандартний зв'язок між співвідношенням сучків і міцністю на вигин для м'якої деревини. Одним із поширених показників впливу сучків є коефіцієнт, що враховує кількість сучків на квадратний метр деревини. Його можна визначити, розділивши діаметр сучка в поперечному перерізі на висоту балки. У більшості випадків найбільшим розміром поперечного перерізу є висота, яка є розміром балки в напрямку навантаження.



Малюнок 1.7. Залежність міцності на згин від кількості сучків хвойних і твердих порід деревини.

На малюнку 1.7 показано, як діапазон величин, у якому з'являються дефекти, впливає на кількість ступенів класифікації та різноманітність розподілу класів міцності для кожного ступеня. Можливі співвідношення сучків до висоти перерізу від нуля до шістдесяти трьох відсотків. На графіках відображається крива, що представляє зміну міцності на згин від відсоткової кількості сучків для кожного зразка. У вищому сорті співвідношення сучків становить від 0 до 0,2,

тоді як у нижчому сорті воно становить від 0,2 до 0,3. Деталі з коефіцієнтом сучків більше 0,3 вважаються неприйнятними, оскільки їх неможливо зміцнити жодним чином. Для кожного класу чорним трикутником позначені місця з найнижчими значеннями міцності на згин.

Механізована класифікація міцності деревини.

Системи механізованої класифікації залежать від визначених параметрів, які були отримані в результаті попередньо проведеного руйнівного випробування. Налаштування, які використовуються, змінюються залежно від породи, а також походження деревини. Якщо походження деревини інше, то параметри керування машиною необхідно відповідно налаштовувати. Відповідні зміни налаштувань треба проводити навіть у тому випадку, якщо вид деревини однаковий, а різниця лише у її походженні.

Щоб використовувати цю технологію, виробник повинен регулярно оцінювати результати своєї роботи та вносити необхідні коригування в параметри машини. Оскільки цей підхід використовується не дуже часто, процеси, викладені в стандарті EN14081-1 [17] ще не дуже детально встановлені.

1.5 Висновки з огляду літератури та завдання досліджень

Викладені результати бібліографічного огляду питань, пов'язаних з використанням та проектуванням дерев'яних ферм, дозволяють зробити такі **висновки:**

1. Деревина є традиційним будівельним матеріалом, який використовується протягом тисячоліть. Деталі з неї можуть бути виготовлені в безлічі форм і розмірів і мають високе співвідношення міцності до ваги. Деревину можна поєднувати з іншими будівельними матеріалами і вона є справді відновлюваним ресурсом.
2. Максимальні розміри бруса є обмеженими. Щоб отримати більші розміри, вироби з деревини можуть бути виготовлені з пиломатеріалів, шпону, волокон або дерево-стружкових плит, які скріплюються клеєм.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

3. Європейські і вітчизняні стандарти класифікують деревину, що використовується для будівельних цілей, за допомогою класів міцності. Клас міцності – це показник, за яким деревині присвоєно фізичні та механічні властивості для використання в розрахунках конструкцій. При класифікації міцності деревини вона розглядається як однорідний матеріал із незмінною міцністю вздовж усього зразка.
4. Візуальна оцінка існувала протягом століть і все ще використовується в різних контекстах сьогодні. Під час процесу сортування зовнішній вигляд деревини є фактором, який в тій чи іншій мірі береться до уваги. Під час візуального сортування деревини повинні бути дотримані вимоги, викладені в стандарті ДСТУ EN ISO 18081:2019.
5. Більш точними, але складними й трудомісткими є механізовані способи оцінювання якості деревини.

На підставі обраної теми й мети дослідження, а також наведених вище висновків за результатами огляду літературних джерел сформульовані такі **завдання досліджень:**

1. Розробити порядок сортування деревини, щоб він був зрозумілий після проведення дослідження відповідного матеріалу.
2. Дослідити процес виробництва кроквяних ферм, зокрема способи, за допомогою яких архітектори та інженери можуть скористатися перевагами деревини.
3. Зібрати дані про класифікацію деревини, щоб можна було побудувати числову модель кроквяної ферми. Використати отриману аналітичну модель деревини для побудови параметричної моделі конструкції.
4. Оцінити рівень надійності отриманих ферм, і використати модель для оптимізації продуктивності, безпеки та витрат матеріалів на конструкції. Для моделювання параметричної моделі та аналізу даних використати програмне забезпечення MATLAB, а також RFEM.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ОСНОВНІ ВИДИ ТА КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ДЕРЕВ'ЯНИХ ФЕРМ ПОКРІВЛІ

2.1 Види кроквяних покрівель

Ферми — трикутні решітчасті конструкції, що складаються з елементів, які піддаються навантаженню у осях. Оскільки поперечний переріз усіх компонентів майже рівномірно деформований, вони ефективніше витримують зовнішні навантаження. Елементи ферми працюють лише на осьовий стиск або розтяг, що робить її єдиною конструкцією, а не одним компонентом. У фермі поясами є верхні та нижні елементи, а розкосами — середні. Розтягнуті вертикальні елементи решітки називають підвісками, а стиснуті вертикальні елементи називаються стійками. У ідеальній фермі точки з'єднання елементів називаються шарнірами або вузлами, і вважається, що ці вузли не можуть передати згинальні моменти. У той час як навантаження прикладаються лише у вузлах ідеальної ферми, на практиці навантаження зазвичай діють уздовж поясів і решітки, що призводить до одночасної дії осьового напруження, згинальних моментів і зсуву.

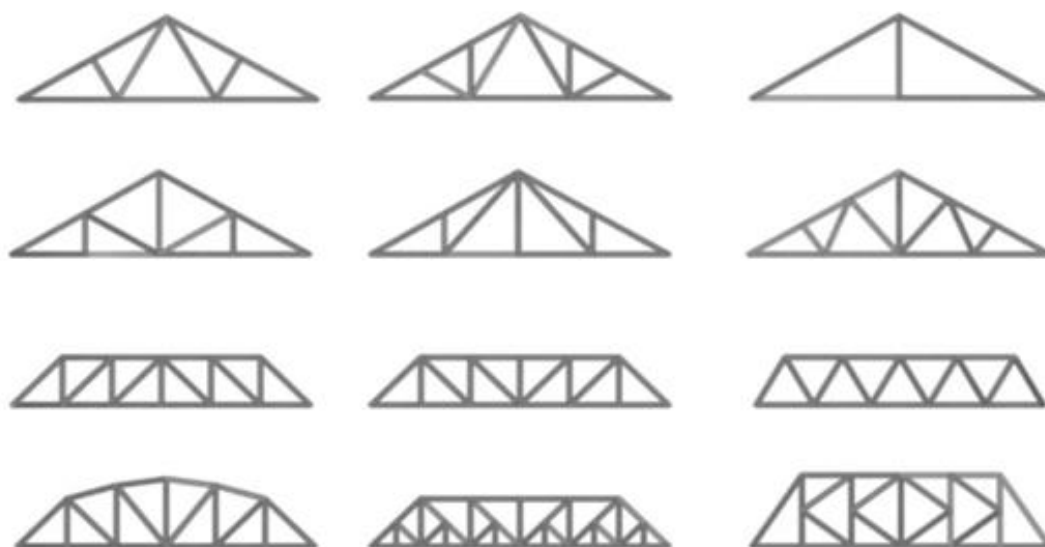
На даний момент в будівельній практиці найчастіше використовуються наступні види кроквяних дерев'яних ферм:

Скатні ферми покрівлі. Це найпопулярніші кроквяні конструкції. Верхній пояс має нахил, що забезпечує природний дренаж опадів і видалення накопиченого пилу/снігу. Через це, незважаючи на те, що загальний вплив згинальних зусиль є більшим у середині прольоту, напруження на поясі та в решітці менші ближче до середини прольоту та більші ближче до опор. Малюнок 2.1 містить інформацію про діапазон, призначення, корисність, вартість, час виготовлення та багато іншого.

Нижче наведено кілька прикладів типових конфігурацій ферм.

Ферми з паралельними поясами. Використовуються в багатоповерхових будинках для підтримки проміжних перемичок, збірних перекриттів, балок.

Трапецієподібні та полігональні ферми. Такі конструктивні рішення використовуються при особливо великому прольоті.



Малюнок 2.1. Різні типи ферм покриття.

2.2 З'єднувальні елементи кроквяних покрівель

З'єднання необхідні в конструкціях, оскільки вони передають вагу від однієї секції до іншої. Аналіз минулих несправностей виявив вирішальну роль, яку відіграють з'єднання в кількох випадках структурної несправності або руйнування. При будівництві з пиломатеріалів важливо переконатися, що з'єднання мають достатню гнучкість, щоб витримати вагу конструкції [7]. У сучасному будівництві використовується багато різних типів дерев'яних з'єднань для кріплення різних структурних компонентів дерев'яної будівлі, від тих, що використовуються в традиційній столярній справі, до більш сучасних клеєних дерев'яних з'єднань. При проектуванні та виготовленні дерев'яних ферм в основному використовують наступні три типи зв'язків:

Традиційні столярні з'єднання: характеризуються з'єднанням дерев'яних елементів без використання зовнішніх кріплень і натомість покладаються на з'єднання двох дерев'яних елементів разом.

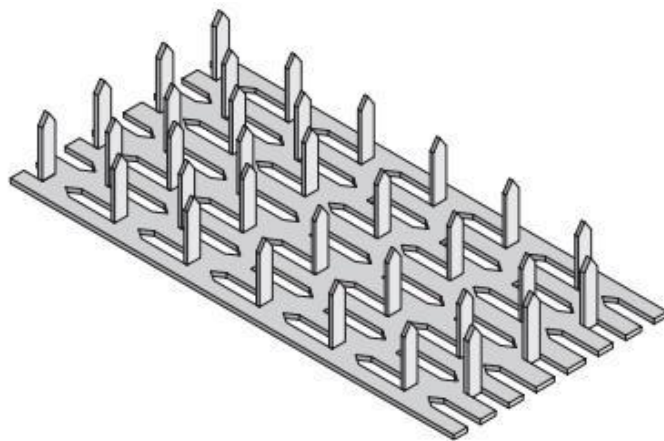
Дюбельні з'єднання: найпоширенішим типом з'єднання, який використовується на практиці, є з'єднання дюбельного типу. Вони з'єднують разом два або більше структурних елементів за допомогою зовнішніх кріплень, які часто виготовляються з дерева або сталі.

Клейові з'єднання: зустрічаються рідко через відсутність відповідних умов для склеювання на будівельному майданчику, де зовнішні фактори, такі як погода, можуть серйозно погіршити цілісність таких з'єднань.

Кріплення за допомогою штампованих металевих пластин.

В будівництві широко використовують цвяхові пластини, котрі в поєднанні з перфорованими металевими пластинами утворюють єдину систему.

Цвяхи виготовляються шляхом вибивання їх прямо зі сталевій пластини (малюнок 2.2). Через обмеження процесу штампування товщина вихідної сталевій пластини не може перевищувати 2 мм, отже «цвяхи» мають відносно низьку несучу здатність. «Цвяхи» мають розмір від 8 мм до 15 мм. Найбільш поширене застосування штампованих металевих пластин саме для виготовлення дерев'яних ферм.



Малюнок 2.1. Конструкція перфорованої металевій пластини.

2.3 Проектування ферм покриття

Процеси виробництва суцільної деревини та конструювання балок даху зараз роз'єднані та мало взаємовпливають один на одного. Тому, виготовляючи балки, будівельники повинні думати про типову міцність деревини. Проектувальник кроквяних ферм, відповідає за концепцію та проектування ферми «з нуля», враховуючи такі аспекти, як призначення будівлі, розмір і її географічне розташування. Завдяки цим даним кожна ферма буде сконструйована інакше, ніж ферма для інших умов.

Остаточна форма ферми може змінитися пізніше залежно від того, чи буде вона схованою від погляду зсередини будівлі. Як тільки конструкція ферми закінчена, креслення направляються у виробничий відділ, де компоненти ферми розрізаються та збираються. До ферми додаються сталеві пластини, деревина міцно з'єднується зі сталлю за допомогою машини з гідравлічним тиском після того, як ферму правильно встановлено. Коли елементи прикріплені з одного боку ферми, вони перевертаються та з'єднуються з іншого.

2.3 Навантаження на ферми покриття

Усі вертикальні навантаження (кліматичні та власна вага), що діють на ферми будівлі, спочатку розраховуються як навантаження, що діють на один квадратний метр горизонтальної площі. Вітрове навантаження розраховується на квадратний метр фактичної похилої поверхні даху.

Власна вага ферми. Власне навантаження - це власна вага різних компонентів самої конструкції. Його величина і місце прикладання помітно не змінюються з часом. До власних навантажень на ферму відносяться навантаження покрівельного покриття, перпендикулярно розташованих балок (прогонів), з'єднань, опорних елементів (підкосів) і власне навантаження ферми. Тому, щоб обчислити навантаження на метр погонний чи квадратний, потрібно знати густину і розмір кожного компонента ферми. Щільність дерев'яної конструкції приймається рівною 5%, що відповідає типовому значенню міцності

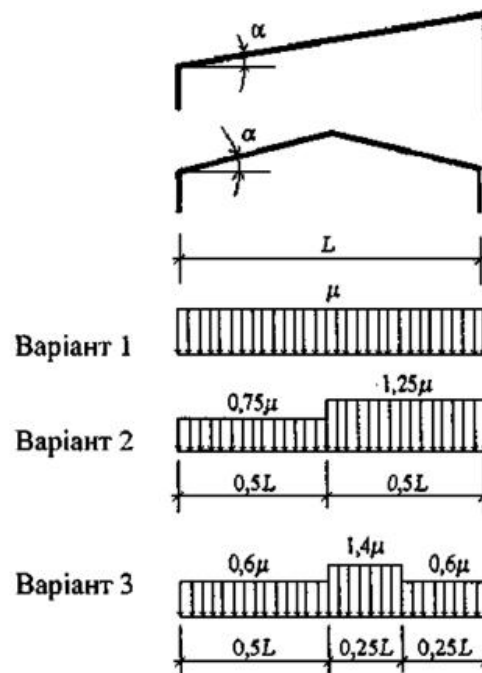
					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

деревини. Щоб розрахувати постійне навантаження від ферми, необхідно знати, скільки деревини було використано.

Снігове навантаження. Снігове навантаження розраховується відповідно до максимально очікуваної висоти снігового покриву та його густини.

Ця магістерська робота буде зосереджена на будівлі в м. Кропивницький, яка має характеристичне значення снігового навантаження $S_0=1230$ Па. Частота снігового навантаження приймається рівною тій, що може перевищитися приблизно один раз на п'ятдесят років. На кількість снігу, що накопичується на даху, впливає як снігова зона, так і нахил даху; крутіший схил означає, що там збиратиметься менше снігу, і навпаки [18].

Кут нахилу даху впливає на розрахункове значення снігового навантаження, яке використовується в остаточних розрахунках. Для цього в ДБН «Навантаженні і впливи» [18] в додатку Ж наведені розрахункові схеми і значення коефіцієнтів μ . На малюнку 2.2 наведений приклад визначення коефіцієнта μ для двосхилого даху.



$$\mu = 1 \quad \text{при} \quad \alpha \leq 25^\circ$$

$$\mu = 0 \quad \text{при} \quad \alpha > 60^\circ$$

Варіанти 2 і 3 слід враховувати для будинків із двосхилими покриттями (профіль б), при цьому варіант 2 – при $20^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$, а варіант 3 – при $10^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ тільки при наявності ходових містків або аераційних пристроїв по гребеню покрівлі.

Малюнок 2.2. Врахування коефіцієнта μ при розрахунку двосхилого даху.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		23

Вітрове навантаження. Сила вітру завжди перпендикулярна площині зовнішніх стін або даху будівлі. Передбачається, що один раз на п'ятдесят років на дах буде впливати вітрове навантаження, що дорівнює середньому тиску швидкості протягом десятихвилинного періоду. Найвища зареєстрована швидкість вітру в Кропивницькому була в 1971 році і складала 19 м/с [19].

Вітровий тиск враховується згідно з ДБН «Навантаження і впливи» [18], додаток І. В ньому наведені схеми вітрових навантажень і значення аеродинамічних коефіцієнтів для різних конструктивних рішень.

2.4 Вибір елементів кроквяних ферм

Елементи верхнього поясу кроквяних ферм часто складаються з однієї секції, яка містить кілька вузлів. Його переріз може прийматися єдиним по довжині і таким, щоб витримувати максимальне зусилля в будь-якій його частині. Така практика може здатися неекономічною, але враховуючи економію на вартості з'єднань, у результаті можна отримати більш економічну конструкцію. Якщо в певних точках потрібно зробити з'єднання для транспортування чи монтажу, переріз можна змінити в цих точках.

Вибір елемента ферми за допомогою вибору кута нахилу. Для елементів верхнього поясу, які примикають один до одного і мають значення внутрішнього зусилля, на 25% менше за максимальну несучу здатність цих елементів, можна використовувати ту саму секцію, яка призначена для максимального зусилля. Це також стосується елементів нижнього поясу.

У комбінованих конструкціях ферм з деревини та сталі сталеві елементи верхнього та нижнього поясу повинні бути подвійними, а всі стиснуті елементи – подвійними кутиками. Елементи, які працюють на розтяг, можуть бути одинарними або подвійними кутиками в залежності від величини сили, елемент з нульовою силою має бути виготовлений з одинарного кутника.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

2.5 Конструкційна надійність

Інженерно-будівельні споруди тісно пов'язані зі структурною надійністю та проєктуванням, в основі розрахунків якого лежить поняття надійності. Для визначення імовірнісних показників безпечної роботи конструкції (елементів або системи) використовуються критерії певного граничного стану, тобто стану остаточної відмови чи непридатності до експлуатації, наприклад зношування, прогину або розтріскування [7].

Якщо порівнювати за вагою, деревина є легким матеріалом. Однак вона має високу міцність, а її співвідношення міцності до ваги може бути навіть вищим, ніж у сталі [17]. Тим не менш, багатьма архітекторами та інженерами-конструкторами деревина не вважається конкурентоспроможним будівельним матеріалом порівняно з іншими будівельними матеріалами, такими як бетон, сталь або кам'яна кладка, оскільки такі характеристики, як надійність, придатність до обслуговування та довговічність, не завжди притаманні деревині як будівельному матеріалу. Незважаючи на це, в усьому світі деревина є надзвичайно екологічним матеріалом з точки зору виробництва, використання та зносу [1]. Аналіз структурної надійності має на меті кількісне визначення ймовірності виникнення відмови.

Мета розрахунку структурної надійності. Метою аналізу є кількісна оцінка ймовірності відмови механічної системи щодо визначеного критерію відмови. Це передбачає врахування невизначеностей, які виникають через геометрію, властивості матеріалу та прикладене навантаження. Ідея критеріїв відмови може бути охарактеризована як конфлікт, який виникає між двома основними величинами, які називаються навантаженням і несучою здатністю системи відповідно. У галузі будівництва термін «навантаження» відноситься до ефектів дії, які викликають реалізацію механічних умов, таких як напруження або зсув. Іншими словами, навантаження - це ефект зовнішньої дії. Термін «несуча здатність» відноситься до міцності матеріалу, яка встановлює граничний стан, якого необхідно дотримуватися, щоб запобігти обвалу будівлі.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

2.6 Висновки з розділу

1. Ферми – стержневі конструкції, що складаються з елементів, які піддаються навантаженню у осях. Оскільки поперечний переріз усіх компонентів майже рівномірно деформований, вони ефективніше витримують зовнішні навантаження. Елементи ферми працюють лише на осьовий стиск або розтяг, що робить її єдиною конструкцією, а не одним компонентом.

2. Існує багато конструкцій з'єднань елементів дерев'яних ферм, найпоширенішими серед них є традиційні столярні з'єднання, дюбельні з'єднання та клейові з'єднання.

3. На ферму діють кліматичні навантаження та навантаження від власної ваги ферми. Усі вертикальні навантаження спочатку розраховуються як навантаження, що діють на один квадратний метр горизонтальної площі. Вітрове навантаження розраховується на квадратний метр фактичної похилої поверхні.

4. Вибір типу перерізу елементів ферм обумовлюється характером їх роботи (розтяг, центральний чи позацентровий стиск), конструкцією вузлових з'єднань та примикаючих елементів (покриття, підвісні системи, в'язі тощо).

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Розділ 3

ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ ФЕРМ

3.1 Вихідні дані, програмний комплекс та основні припущення.

Програмне забезпечення, засноване на методі скінченних елементів, RFEM-Design 6 – це 2D структура, що використовується для чисельного вирішення різних завдань. Різні рівняння в цілому описують структурну поведінку ферми даху. Цей розділ має на меті представити чисельне моделювання та підтвердити його результати.

Програмний комплекс RFEM-Design 6 знаходиться у вільному доступі для студентів, з можливістю вільного користування впродовж 90 днів. Для отримання ліцензії необхідно заповнити відповідні дані про користувача на офіційному сайті компанії <https://www.dlupal.com/>. Приклад заповнення наведено на малюнку 3.1:

My Contact Details

Salutation: Ms

First Name: Olena

Last Name: Novokhatko

Job Position: Student

Company Name: Central Ukrainian National Technical

Customer Number: *If you are a Dlupal customer*

Email: [Redacted]

Phone: [Redacted]

URL: [Redacted]

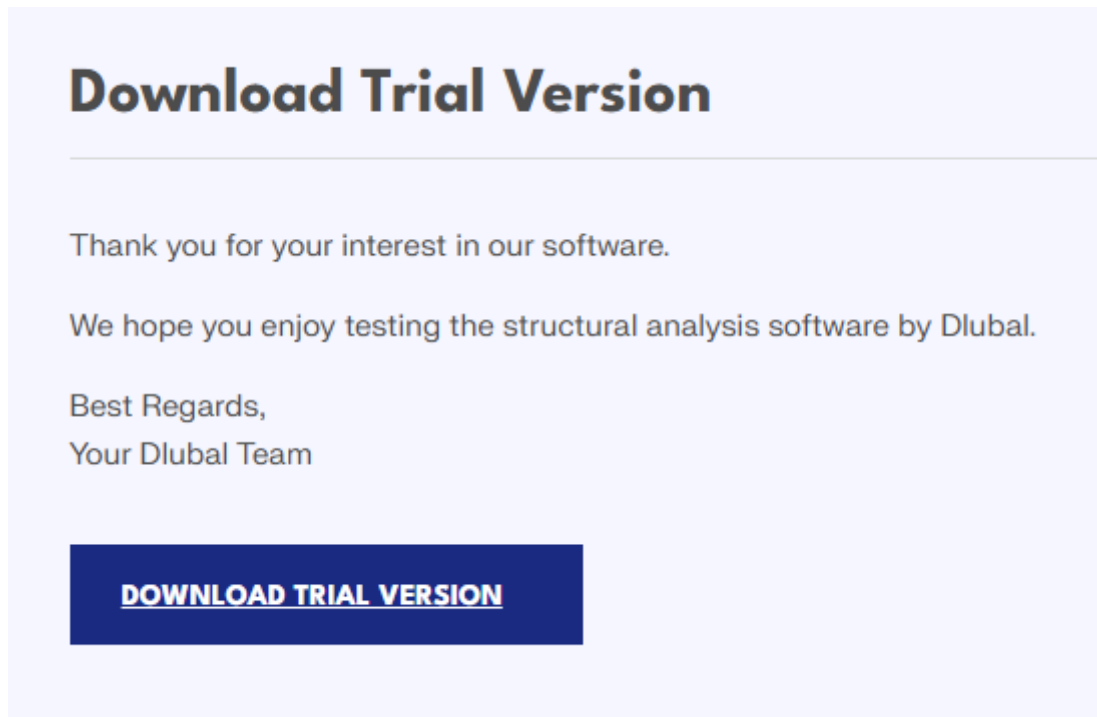
Address

Country: Ukraine

Малюнок 3.1 Заповнення даних для отримання ліцензії RFEM 6

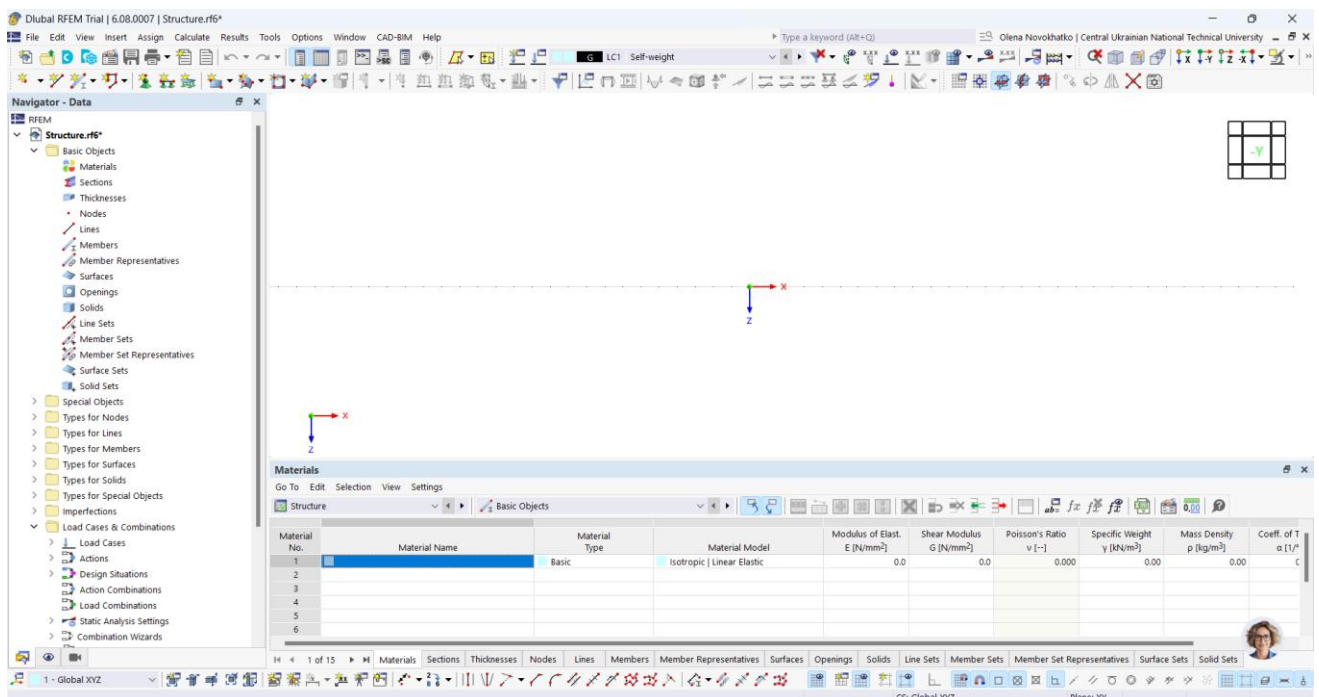
					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Після цього на вказану при реєстрації електронну пошту прийде лист з посиланням для активації. Перейшовши за посиланням, отримуємо можливість завантажити програму (Малюнок 3.2)



Малюнок 3.2 Посилання для завантаження програми

Після установки програми отримуємо робочу область наступного вигляду (малюнок 3.3):



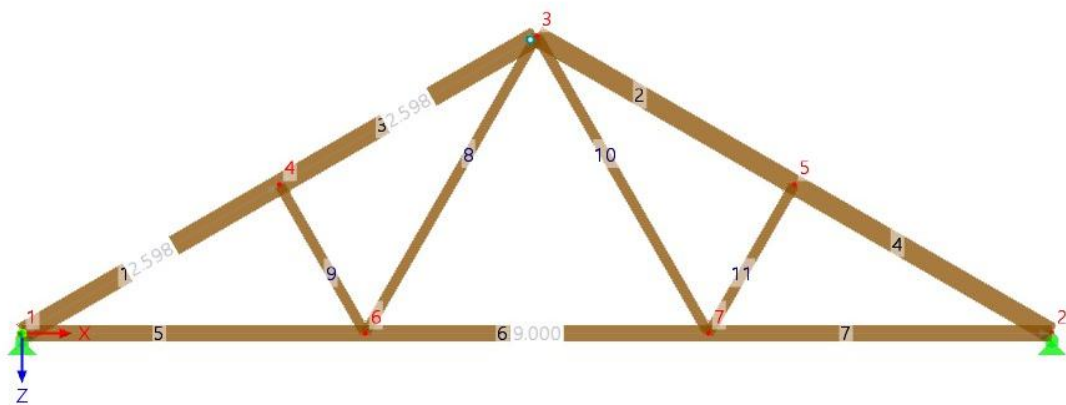
Малюнок 3.3 Робоча область програми RFEM-6

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		28

Щоб побудувати модель, яка може стати предметом структурного аналізу, потрібно зробити багато припущень. Окрім врахування обмежень програмного забезпечення, зроблено певні припущення для спрощення дослідження. Ферма утримується закріпленими опорами, які обмежують рух у вузлах опори як по вертикалі, так і по горизонталі.

3.2 Скінченно-елементна модель.

Структурна 2D-модель W-подібної трикутної ферми даху була побудована з використанням елемента балки RFEM (малюнок. 3.4). Модель була побудована з можливістю повної зміни висоти та глибини ферми, однак з аналітичних міркувань буде використано ферму висотою 3 метри та прольотом 9 метрів. Ухил верхнього поясу прийнято рівним 30° .



Малюнок 3.4 Модель кроквяної ферми W-подібного типу

Структурна система в програмному комплексі RFEM-Design моделюється на основі матеріалів, характеристики яких можна отримати у виробника. Використовується деревина класу C24 [20] для внутрішньої та зовнішньої частини з різною товщиною елементів. Відповідні властивості матеріалу можна побачити в таблиці 3.1.

Характеристики міцності та жорсткості, що використовуються для конструкційного дерев'яного матеріалу для даху відповідно до EN 338:2016 [12]

C24	$f_{m,k}$ Н/мм ²	$f_{t,0k}$ Н/мм ²	$f_{t,90,k}$ Н/мм ²	$f_{c,0,k}$ Н/мм ²	$f_{c,90,k}$ Н/мм ²	$f_{v,d}$ Н/мм ²	E_d кН/мм ²	E_{mean} кН/мм ²	G_{mean} кН/мм ²	ρ_m кг/м ³
-	24	14.5	0.4	21	2.5	4.0	11000	370	690	420

Позначення в таблиці відповідають наступним показникам:

C24 – клас деревини;

$f_{m,k}$ – характеристичне значення міцності при згині (в Н/мм²);

$f_{t,0k}$ – характеристичне значення міцності при розтягу вздовж волокон;

$f_{t,90,k}$ – характеристичне значення міцності при розтягу впоперек волокон;

$f_{c,0,k}$ – характеристичне значення міцності при стиску вздовж волокон;

$f_{c,90,k}$ – характеристичне значення міцності при стиску впоперек волокон;

$f_{v,d}$ – розрахункове значення міцності при сколюванні;

E_d – розрахункове значення модуля пружності;

E_{mean} – середнє значення модуля пружності;

G_{mean} – середнє значення модуля зсуву;

ρ_m – середнє значення густини.

Робота з фізичними характеристиками деревини завжди має за своєю суттю певну невизначеність. Більшість будівельних якостей деревини залежать від регіону її вирощення і не завжди однакові. Таким чином, краще використовувати інші статистичні поняття, такі як густина ймовірності та інтегральна функція розподілу ймовірностей:

Функція густини ймовірності. Густина ймовірності використовується для представлення випадкових характеристик матеріалу. Форма кривої визначається середнім і стандартним відхиленням. Стандартне відхилення — це міра розкду розподілу навколо середнього значення, і його часто визначають як квадратний корінь з дисперсії. Із збільшенням стандартного відхилення підйом параболи у висоту зменшується. Площа під графіком дорівнює одиниці. Досліджені дані

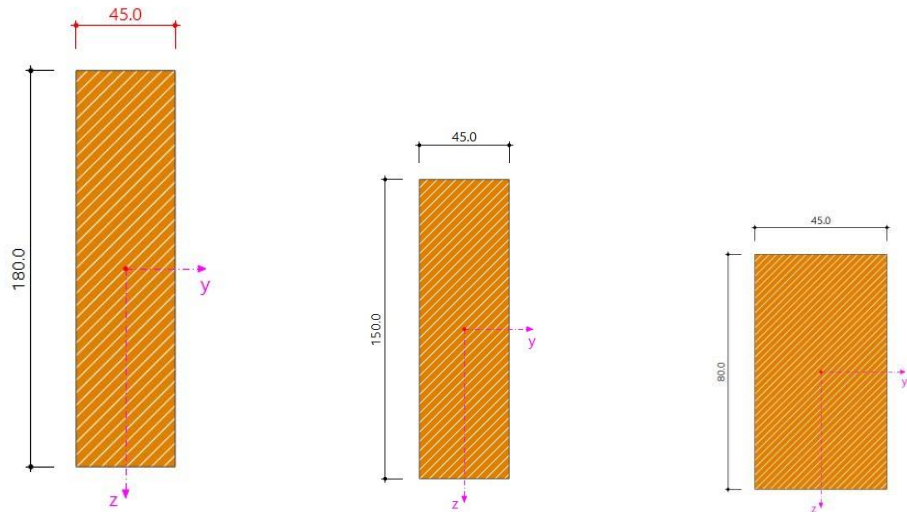
					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

розташовуються по осі абсцис і густина розподілу ймовірності по осі ординат. Крива може зображати різні розподіли густини ймовірності в залежності від міцності на розтяг для деревини.

Функція розподілу ймовірностей. Іншим методом представлення розподілу є функція розподілу ймовірностей. Функція розподілу ймовірностей це по суті інтеграл густини ймовірності. Його значення коливаються від нуля до одиниці, на відміну від функції густини ймовірності. У деяких розподілах середнє значення відповідає значенню по осі ординат (y), рівному 0,5, і це також є середнім значенням. Подібним чином, квантиль з забезпеченням 0,95 відповідає значенню осі абсцис, коли вісь ординат дорівнює 0,95. Крива може зображати різні розподіли ймовірностей в залежності від міцності на розрив, у тому числі для деревини класу С24.

З'єднання та перерізи елементів ферми. Кроквяна ферма - це каркас, який встановлюється між двома опорами і розраховується на навантаження від вітру, снігу/опадів і ваги людей, які знаходяться в будівлі. На відміну від інших кроквяних конструкцій, дах кроквяної конструкції зазвичай має нахил від опор до вершини. Крім верхнього, нижнього пояса і ґратки існують також з'єднання елементів ферми. У статиці верхній і нижній пояси працюють аналогічно балкам, сприймаючи нормальний, зсувний і згинальний моменти, тоді як елементи ґратки часто поводяться як стержні, що сприймають лише повздовжнє зусилля. Без напівжорстких з'єднань між секціями в програмному комплексі RFEM, які запобігають обертанню та викривленню в ненавантаженому стані, компоненти 5, 6 і 7 (а також 1, 3 і 2) були б одним безперервним елементом уздовж ферми по довжині. У заданій аналітичній моделі також відрізняються поперечні перерізи та матеріали вузлів і стержнів. Позначення матеріалів і поперечних перерізів задається у аналітичній моделі RFEM, малюнок 3.5.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



Малюнок. 3.5 Задані перерізи з деревини класу C24 в програмі RFEM

Навантаження на ферму. Навантаження на конструкцію виникає від постійних і змінних навантажень (вітрове та снігове). Змінне навантаження складає $1,8 \text{ кН/м}^2$. Лінійне навантаження в $1,06 \text{ кН/м}^2$ прикладається на рівні покрівлі. Для спрощення припускаємо, що нижня частина ферми не містить жодної системи вентиляції чи іншого необхідного обладнання, а також будь-якої стелі, покрівельного матеріалу, ізоляції та ДВП-панелей.

Вітрові навантаження визначаються після визначення швидкості вітру та категорії рельєфу. Приймаємо швидкість вітру 19 м/с , так як згідно з завданням дах знаходиться в м. Кропивницький.

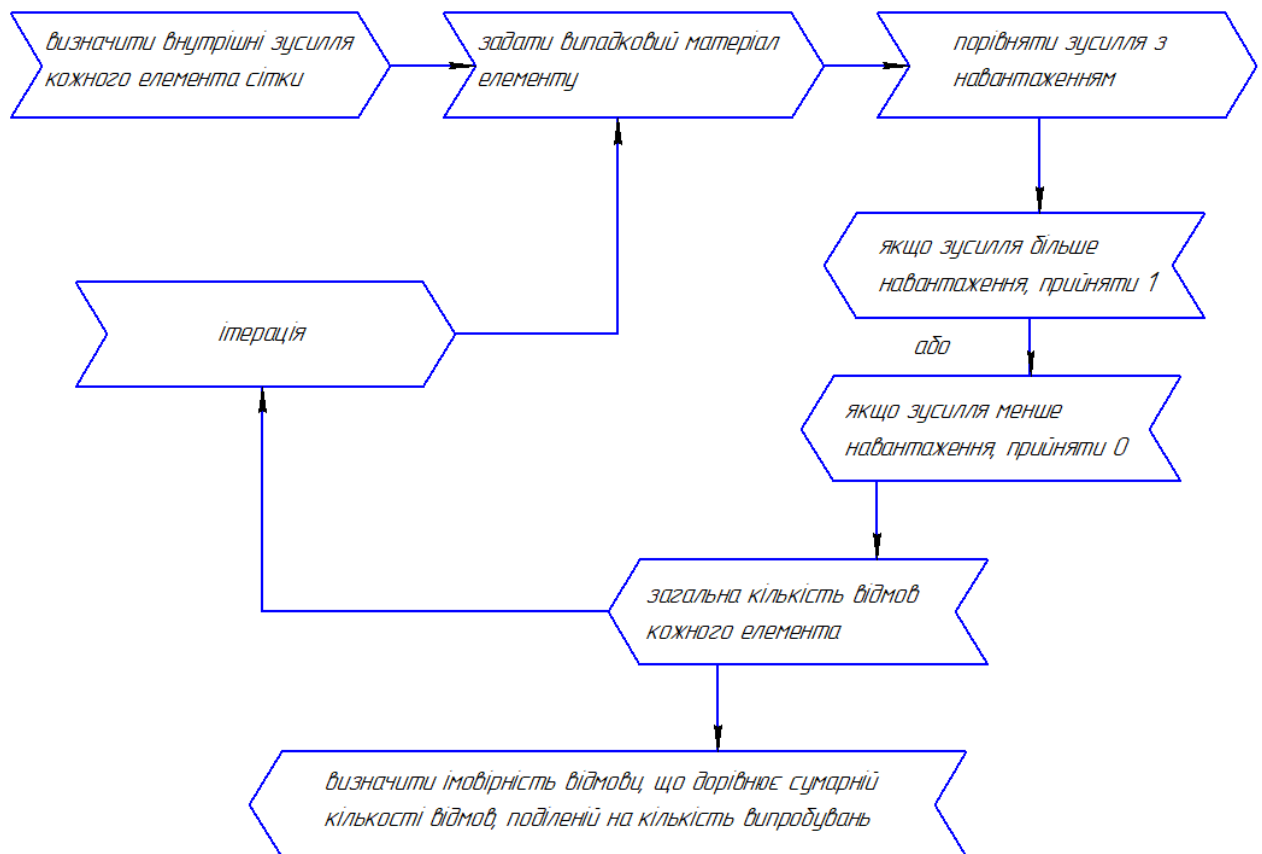
3.3 Моделювання та оптимізація за допомогою методу Монте-Карло.

Для того, щоб врахувати природню мінливість матеріалу, треба задати її параметри. Для цього існує декілька методів. Але найбільш поширеним можна назвати метод Монте-Карло [21]. Він базується на комп'ютерній генерації випадкових величин і подальшій їх обробці.

Напруження призначаються для кожного елемента ферми. Міцність матеріалу приймається на основі показаних нормальних розподілів. Потім нормальні напруги в кожному компоненті порівнюються з міцністю матеріалу. Якщо нормальні напруження в елементі перевищують міцність матеріалу, тоді

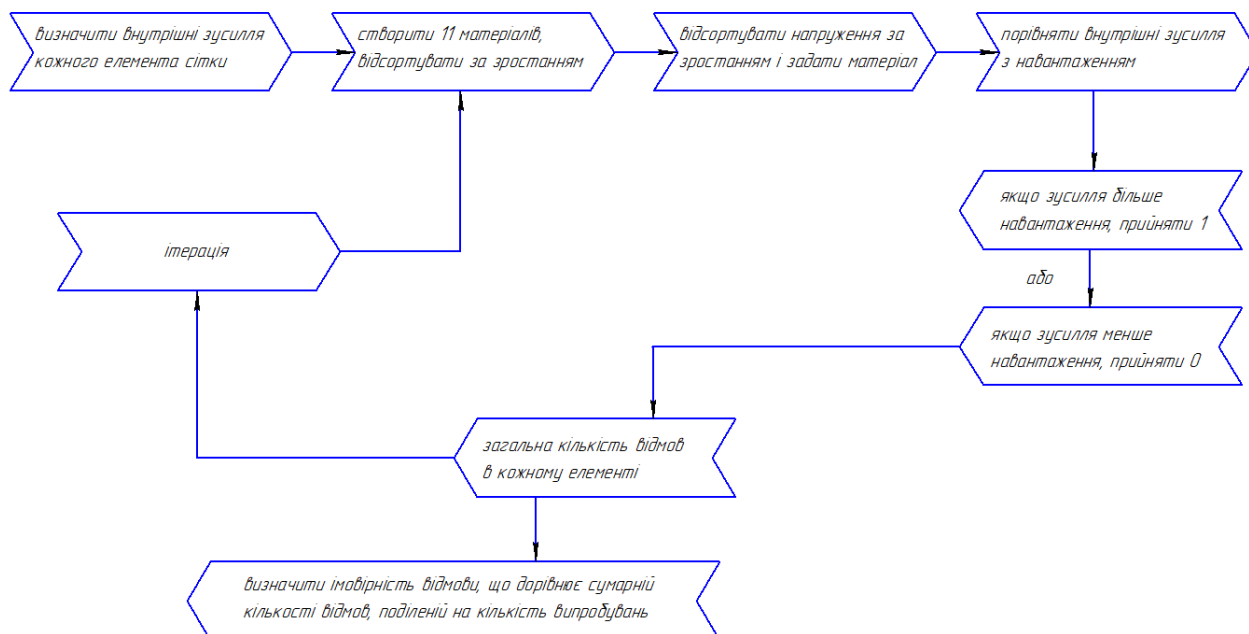
					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

елемент знаходиться у стадії відмови, відповідне положення у векторі буде встановлено на 1. Частота відмов кожного компонента відстежується під час моделювання, а потім підсумовується в кінці. Далі вказується відсоток від загальної кількості невдалих ітерацій. Як функцію ітерацій приймаємо коефіцієнт відмов у квадраті. У цьому дослідженні було виконано 1 000 000 ітерацій моделювання методом Монте-Карло.



Малюнок. 3.6 Блок-схема аналізу надійності за методом Монте-Карло

Крім того, моделювання методом Монте-Карло виконується з оптимальним розташуванням елементів на відміну від випадкового розміщення. Розподіл використовується для створення одинадцяти різних значень міцності матеріалів, упорядкованих від найменшої до найбільшої. Потім ці матеріали призначаються елементам на основі навантажень, яким вони піддаються. Найслабший матеріал приписується найменш напруженому елементу, найміцніший – найбільш напруженому і так далі, як показано на малюнку 3.7.



Малюнок. 3.7 Блок-схема для оптимізації на основі методу Монте-Карло

3.4 Висновки з розділу

1. Для проведення чисельного експерименту доцільно використати відповідне програмне забезпечення, засноване на методі скінченних елементів. Наприклад, RFEM-Design 6 –2D структура, що використовується для чисельного вирішення різних завдань. Різні рівняння в цілому описують структурну поведінку ферми даху.

2. Структурна 2D-модель W-подібної трикутної ферми покриття була побудована з використанням елемента балки у програмі RFEM. Модель була побудована з можливістю повної зміни висоти та ширини елементів ферми, міцнісних характеристик кожного елемента.

3. Постійні та змінні навантаження визначені для геометричної моделі заданої ферми та кліматичних умов м. Кропивницький.

4. Для розрахунків використано метод Монте-Карло. Проведено 1.000.000 ітерацій для визначення кількості відмов кожного з елементів.

Розділ 4

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ АНАЛІТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

4.1 Випадкові ітерації.

Після задання усіх початкових параметрів та проведення розрахунку отримуємо результати моделювання методом Монте-Карло, виконаного в MATLAB, відповідні розміри поперечного перерізу для кожного типу ферм, а також розглянемо переваги та недоліки зміни розміру або класу деревини.

У більшості випадків достатньо трьох різних розмірів бруса з різною шириною та товщиною для перевірки. Діапазон брусів, який дозволено класифікувати на основі похідних параметрів, становить $\pm 10\%$ від перевірених розмірів. Вибірка складається зі 100 брусів із заданим розміром 45x180; 45x150 та 45x80 мм (табл. 4.1).

З кожною ітерацією змінювалися наступні вхідні дані: розмір елементів у поперечному перерізі та унікальні для нього характеристики матеріалу (у цьому випадку деревини класу C24).

Таблиця 4.1

Геометричні розміри використаних елементів

Елемент	Висота, мм	Ширина, мм
Верхній пояс (елементи 1, 2, 3 і 4)	180	45
Нижній пояс (елементи 5, 6 і 7)	150	45
Елементи решітки (8, 9, 10 і 11)	80	45

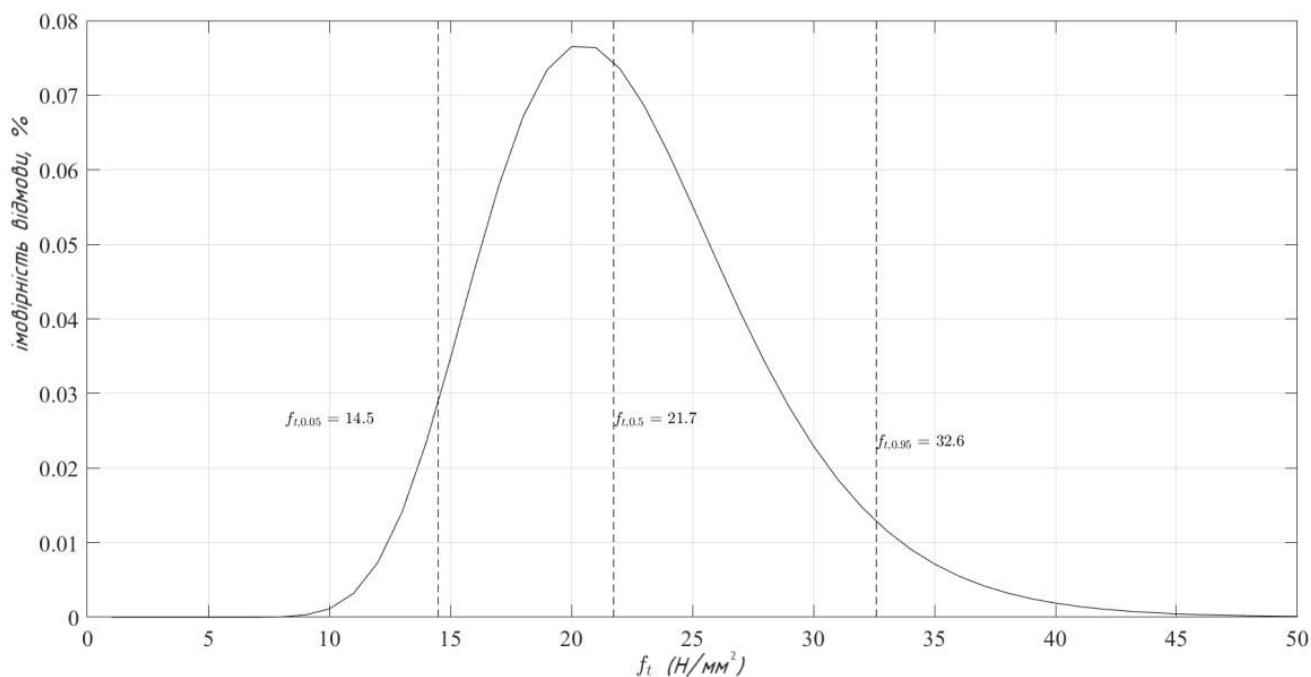
Дані, отримані шляхом моделювання, є достовірними. Оскільки нормальні напруження збільшуються зі зменшенням розміру поперечного перерізу та матеріалу, ймовірність відмови зростає, оскільки розмір поперечного перерізу кожного елемента зменшується. Якщо один або кілька елементів ферми вийшли з ладу під дією прикладеного навантаження, ферма вважалася такою, що вийшла з ладу. Простіше кажучи, об'єкт руйнується, коли напруження, яким він піддається, перевищують його міцність.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

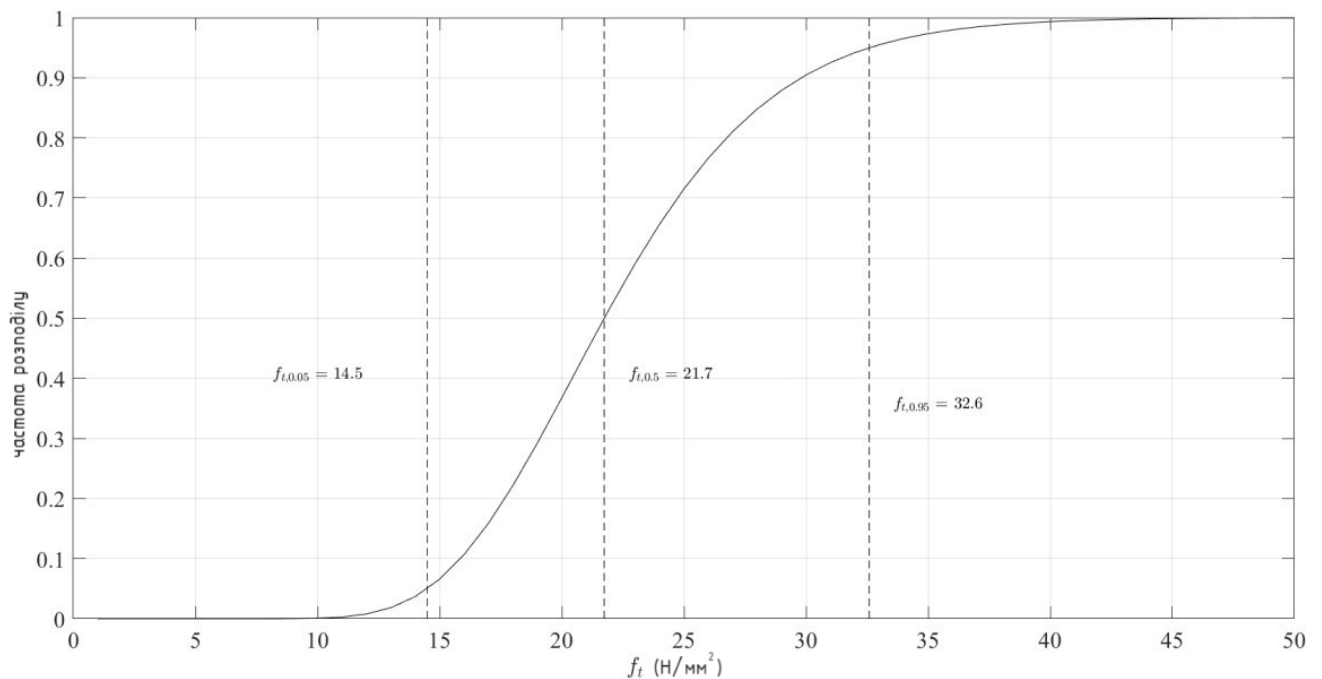
4.2 Матеріал.

У цій магістерській роботі результати комп'ютерного моделювання методом Монте-Карло відповідають нормальному розподілу. Понад дев'яносто п'ять відсотків значень зразків для цих матеріалів перевищують 24 МПа. Вибірка складається зі 100 даних, але розподіл результату моделювання нагадує логнормальний розподіл ймовірностей. Властивості матеріалу можна задати кожному окремому компоненту.

Імовірність і функція розподілу ймовірностей наведені на малюнках 4.1 і 4.2 графічно ілюструють, як поєднати шаблони. Густина ймовірності та функція розподілу ймовірностей на розрив показані для суцільної деревини класу С24, і на графіках можна побачити значну різницю. 5-ти відсотковий процентиль міцності на розрив становить 14,5 Н/мм², 50-ти відсотковий процентиль міцності на розрив становить 21,5 Н/мм², а 95-ти відсотковий процентиль міцності на розрив становить 32,6 Н/мм².



Малюнок. 4.1 Розподіл густини ймовірності міцності на розрив для конструкційної деревини класу С24 із фракталами 5%, 50% та 95%



Малюнок. 4.2 Функція розподілу ймовірностей міцності на розрив для конструкційної деревини класу С24 із фракталами 5%, 50% та 95%

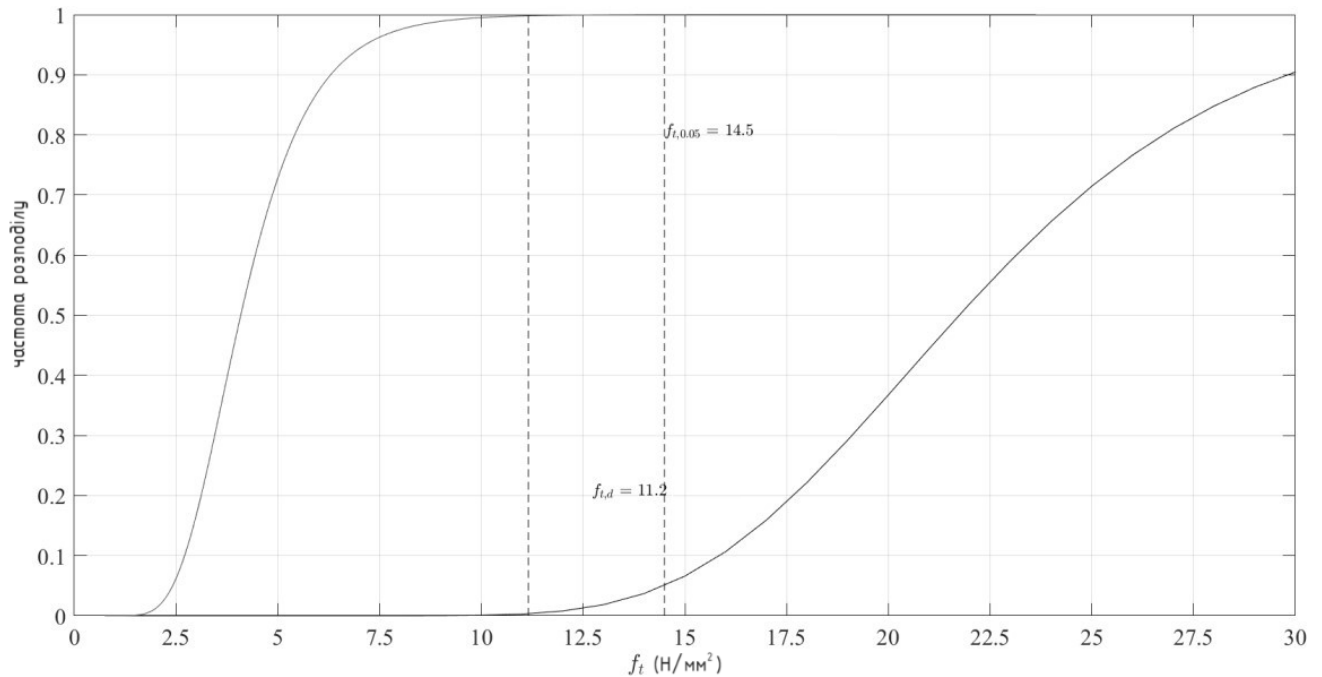
4.3 Навантаження.

Щоб оцінити вплив кореляції властивостей деревини на надійність ферми, необхідно враховувати природні коливання навантажень на ферму. Поточні методики проєктування використовують реальні цифри навантаження для врахування нестабільності навантаження. Оскільки існує невелика ймовірність того, що реальне навантаження може бути перевищено протягом строку служби конструкції, проєктувальники враховують це при встановленні розрахункових значень навантаження.

Хоча розрахункові навантаження такої величини корисні для проєктування ферм, їх не слід використовувати в дослідженні надійності дерев'яних ферм покриття. Оцінки відмов не можуть бути обмежені однією точкою розподілу навантаження і повинні охоплювати весь розподіл навантаження для правильного моделювання взаємодії навантаження та напружень.

Кожен тип навантаження має власний коефіцієнт навантаження, який враховує точність оцінки навантаження та будь-які зміни, які можуть виникнути протягом строку служби конструкції. Оскільки ступінь невизначеності при

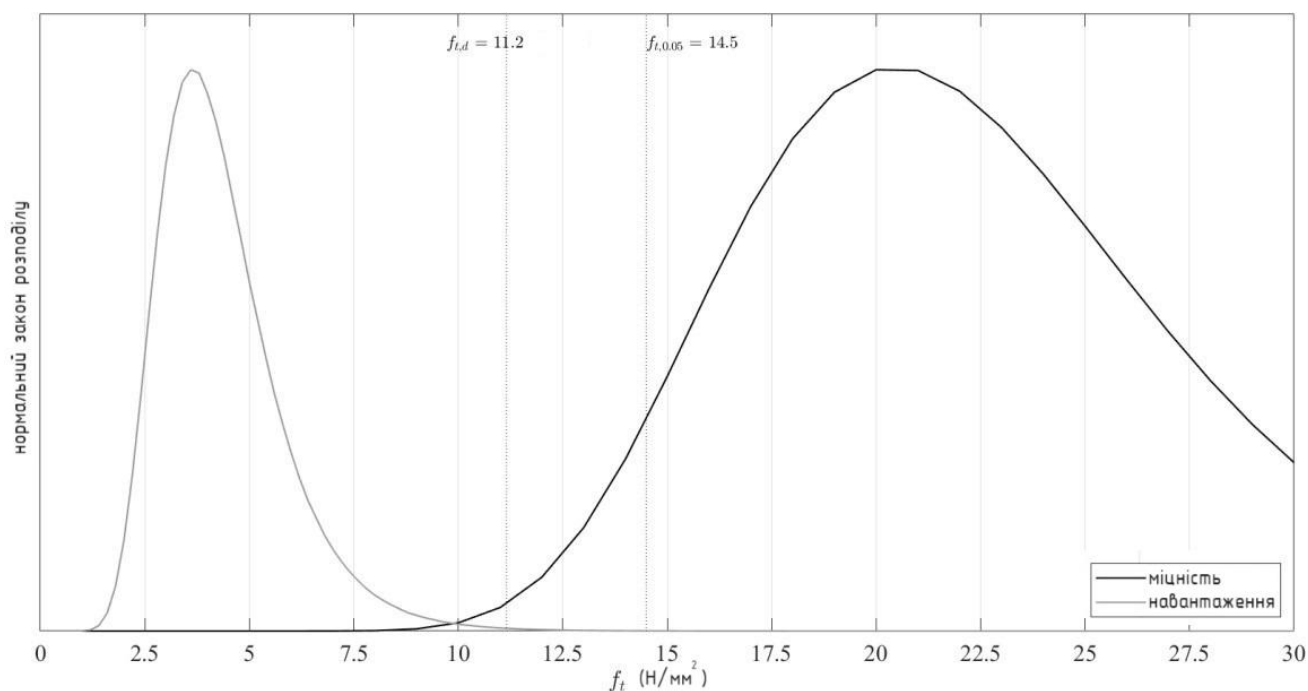
розрахунку постійних навантажень нижчий, ніж при оцінці змінних навантажень, коефіцієнти постійних навантажень нижчі.



Малюнок. 4.3 Функції розподілу ймовірностей навантаження та міцності на розтяг.

Значення напруження і міцності не є постійними, вони різняться між собою. Напруження змінюється через циклічність навантажень, тоді як міцність змінюється через зміни матеріалу, погіршення внаслідок старіння, корозії, температури тощо.

На малюнку 4.3 показано, що навіть якщо середня міцність більша за середні напруження, існує область, де розподіли перекриваються, і навантаження може фактично перевищувати міцність і призводити до часткового руйнування матеріалу. Область відома як область інтерференції, і з якісної точки зору існування цієї інтерференційної області створює ймовірність відмови в конструкції.



Малюнок. 4.4 Густина розподілів напружень і міцності матеріалу.

4.2 Результати симуляції методом Монте-Карло.

Результати моделювання методом Монте-Карло можна побачити в таблиці 4.2. Імовірність відмови перевищує 1/1 000 000.

Таблиця 4.2

Відмова ферми чи одного з її елементів

Елемент	Руйнівне зусилля	Імовірність відмови
1	2137	2.1370e-04
2	298	2.9800e-05
3	105	1.0500e-05
4	56	5.6000e-06
5	31	1.0000e-06
6	24	2.4000e-07
7	17	1.7000e-06
8	12	1.2000e-06
9	9	9.0000e-07
10	7	7.0000e-07
11	5	5.0000e-07

Було зафіксовано загальну кількість відмов окремих елементів і ферм. Для кожної комбінації коефіцієнтів ймовірність відмови визначалась шляхом ділення кількості несправних ферм на загальну кількість ферм. Будь-який інший результат вказував би на дефект у структурній або статистичній моделі. Кількість відмов зростає пропорційно кількості виконаних ітерацій; однак прогнозується, що 1.000.000 ітерацій буде достатньо для отримання достовірних висновків щодо ризику відмови.

4.3 Оптимізація розташування дерев'яних елементів.

Крім того, виконано моделювання методом Монте-Карло та проведено аналіз оптимального розташування матеріалів. Аналіз проводився відповідно до розмірів елементів.

Таблиця 4.3 демонструє, що коли одинадцять елементів випадковим чином вибираються з партії дощок і вставляються в ферму відповідно до їх міцності, ймовірність відмови для ферм з класом міцності C24 значно знижується.

Таблиця 4.3

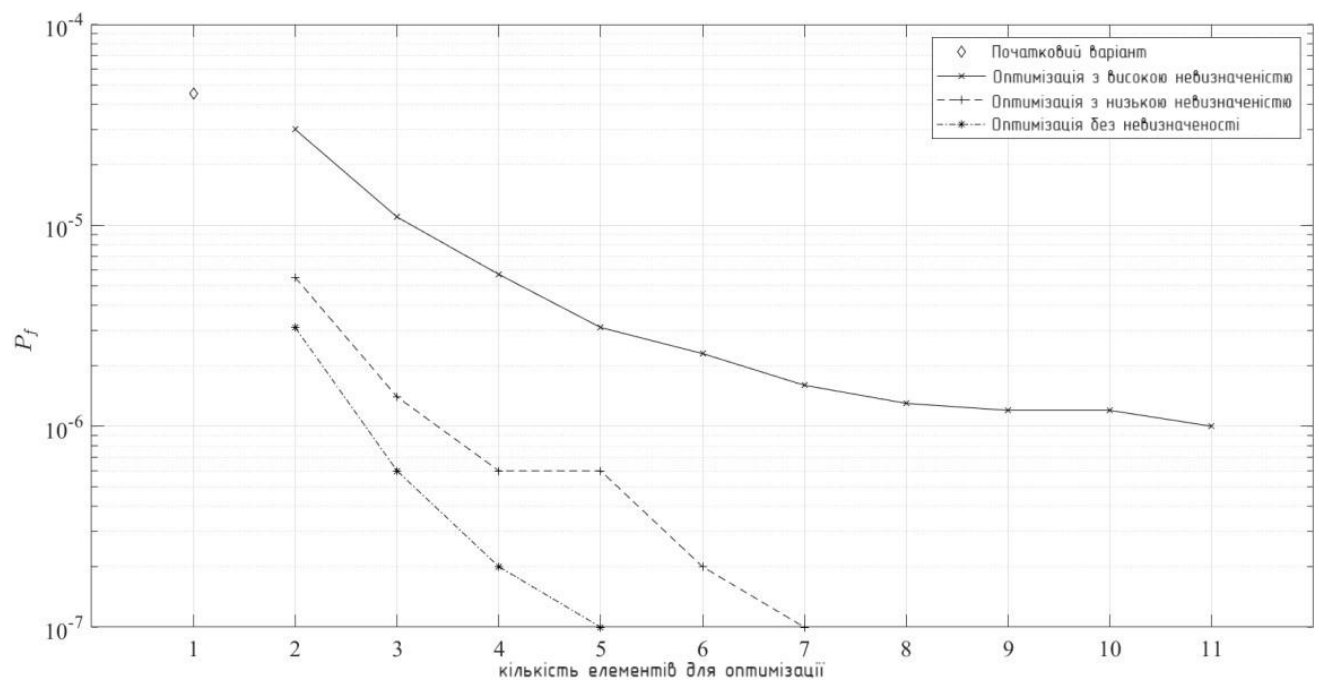
Оптимізація всієї ферми чи будь-якого з її 11 елементів

Елемент	Руйнівне зусилля	Імовірність відмови
1	475	4.7500e-05
2	24	2.4000e-06
3	7	7.0000e-07
4	3	3.0000e-07
5	1	1.0000e-07
6	1	1.0000e-07
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0

Як видно з малюнка 4.5, проблема оптимізації при змінній невизначеності характеризується обов'язковістю робити висновки без повного розуміння

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

наслідків. Ілюстрації зображують кілька умов невизначеності, які виражені в різних елементах ферми.



Малюнок. 4.5 Оптимізація з відповідними різними рівнями невизначеності.

4.4 Недоліки зміни розміру або сорту деревини.

Згідно з даними, розмір елементів має більший вплив на ризик поломки, ніж сорт деревини. При зміні міцності бруса напруження змінюються незначно, а при зміні розмірів елемента напруження сильно зростають. Якщо площу поперечного перерізу елемента скоротити навіпіл, напруження в елементі подвоюється. Найефективніший спосіб покращити міцність конструкції та ефективність ферми – змінити як розмір, так і міцність деревини.

4.5 Припущення та спрощення при розрахунках.

Найпоширенішою відмовою в фермах є поломка сталевих пластин у вузлах, однак у цьому дослідженні припускається, що пластини не руйнуються, і лише дерев'яні елементи чутливі до відмови. Оцінюючи отримані дані, важливо мати на увазі, що неможливо припустити, що сталеві пластини не вийдуть з ладу. Сталеві пластини та дерев'яні елементи можуть бути розроблені за

допомогою програмного забезпечення RFEM. Це також можна використовувати для зменшення ризику поломки сталевих пластин і дерев'яних елементів. Щоб отримати більше інформації, можна незалежно змінити розмір матеріалу та класи кожного компонента.

4.6 Висновки з розділу.

1. Виконано комп'ютерне моделювання у програмі RFEM. У більшості випадків достатньо трьох різних розмірів дошки з різною шириною та товщиною для перевірки. Вибірка складалася зі 100 дощок із заданим розміром 45x180; 45x150 та 45x80 мм.

2. У результаті розрахунків 5-ти відсотковий процентиль міцності на розрив становить 14,5 Н/мм², 50-ти відсотковий процентиль міцності на розрив становить 21,5 Н/мм², а 95-ти відсотковий процентиль міцності на розрив становить 32,6 Н/мм².

3. Якщо елементи ферми вибираються з партії дощок і встановлюються в ферму відповідно до їх міцності, ймовірність відмови для такої ферми значно знижується.

4. Розмір елементів має більший вплив на ризик поломки, ніж сорт деревини. При зміні міцності бруса напруження змінюються незначно, а при зміні розмірів елемента напруження значно зростають.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виконані в кваліфікаційній магістерській роботі дослідження дерев'яних кроквяних ферм дозволили зробити такі висновки:

1. Деревина є традиційним будівельним матеріалом, який має високе співвідношення міцності до ваги, може поєднуватися з іншими будівельними матеріалами та є реально відновлюваним ресурсом.
2. Для збільшення розмірів поперечного перерізу дерев'яних елементів, порівняно з максимально можливими розмірами пиляного бруса, вироби з деревини можуть бути склеєні з пиломатеріалів, шпону, волокон або дерево-стружкових плит.
3. Європейські і вітчизняні стандарти класифікують деревину для будівельних конструкцій за класами міцності, які встановлюються за результатами випробувань. При виборі деревини використовується орієнтовна візуальна оцінка якості, або механізовані способи оцінювання, які є складними й трудомісткими, але більш точними.
4. Елементи стержневих конструкцій ферм працюють на осьовий стиск або розтяг, за винятком верхнього та нижнього поясу, до яких можуть бути прикладені позавузлові навантаження від покрівлі та різноманітного технологічного обладнання.
5. Вузлові з'єднання елементів дерев'яних ферм найчастіше виконуються у вигляді столярних з'єднань, дюбельних з'єднань, клейових з'єднань та з використанням шипованих сталевих пластин, які працюють на зсув.
6. На ферму діють навантаження від власної ваги ферми та огорожувальних конструкцій, навантаження від підвісних стель та іншого обладнання, а також кліматичні навантаження від снігу та вітру
7. Тип перерізу елементів ферм обирається з урахуванням характеру їх роботи (розтяг, центральний чи позацентровий стиск), а також конструкції вузлових з'єднань і примикаючих елементів (покриття, підвісні системи, в'язі тощо).

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

8. Для моделювання дерев'яної ферми та проведення чисельного експерименту з оцінювання імовірностей відмови стержнів використане програмне забезпечення, засноване на методі скінченних елементів. Структурна 2D-модель W-подібної трикутної ферми покриття побудована в програмі RFEM з можливістю зміни висоти та ширини перерізів елементів ферми, а також характеристик міцності кожного елемента. Постійні та змінні навантаження визначені для кліматичних умов м. Кропивницький.
9. Для розрахунків з оцінювання імовірностей відмови використано метод Монте-Карло. У середовищі програмі RFEM виконане комп'ютерне моделювання ферми з проведенням 1.000.000 ітерацій для визначення кількості відмов кожного з елементів.
10. У процесі пошуку оптимальних перерізів елементів ферми використані три розміри дощок 45x180, 45x150 та 45x80 мм та вибірки зі 100 дощок кожного розміру з різними характеристиками міцності. П'ятивідсотковий процентиль міцності на розрив становить 14,5 Н/мм², 50% процентиль дорівнює 21,5 Н/мм², а 95% процентиль міцності на розрив становить 32,6 Н/мм².
11. На імовірність відмови більше впливає розмір елементів, ніж сорт деревини, оскільки напруження в елементі змінюються пропорційно зміні розмірів його поперечного перерізу.
12. Встановлено, що при виборі елементів ферми з партії дощок відповідно до їх міцності, ймовірність відмови для такої ферми істотно знижується порівняно з неконтрольованим випадковим вибором елементів.

CONCLUSIONS RESULTS OF RESEARCH

The studies of beams with a perforated wall carried out in the qualifying master's thesis allowed to make the following conclusions:

1. Wood is a traditional building material that has a high strength-to-weight ratio, can be combined with other building materials, and is a truly renewable resource.
2. To increase the cross-sectional dimensions of wooden elements, compared to the maximum possible dimensions of sawn timber, wood products can be glued from lumber, veneer, fibers, or particleboard.
3. European and Ukrainian standards classify wood for building structures according to strength classes, which are established based on test results. When selecting wood, an approximate visual quality assessment is used, or mechanized methods of assessment, which are complex and time-consuming, but more accurate.
4. Elements of truss rod structures operate in axial compression or tension, with the exception of the upper and lower belts, to which extranodal loads from the roof and various technological equipment can be applied.
5. Nodal connections of wooden truss elements are most often made in the form of joinery connections, dowel connections, adhesive connections and using studded steel plates that work in shear.
6. The truss is subjected to loads from the self-weight of the truss and enclosing structures, loads from suspended ceilings and other equipment, as well as climatic loads from snow and wind
7. The type of cross-section of truss elements is selected taking into account the nature of their work (tension, central or eccentric compression), as well as the design of nodal connections and adjacent elements (coverings, suspension systems, ties, etc.).
8. Software based on the finite element method was used to model the wooden truss and conduct a numerical experiment to assess the failure probabilities of the rods. The structural 2D model of the W-shaped triangular roof truss was built in the RFEM program with the ability to change the height and width of the truss

					КМР 2319217 ПЗ	Архив
						45
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

elements, as well as the strength characteristics of each element. Constant and variable loads were determined for the climatic conditions of Kropyvnytskyi.

9. The Monte Carlo method was used to calculate the failure probability. Computer simulation of the truss was performed in the RFEM program with 1,000,000 iterations to determine the number of failures of each element.
10. In the process of finding the optimal cross-sections of the truss elements, three board sizes of 45x180, 45x150 and 45x80 mm and samples of 100 boards of each size with different strength characteristics were used. The 5th percentile of tensile strength is 14.5 N/mm², the 50th percentile is 21.5 N/mm², and the 95th percentile of tensile strength is 32.6 N/mm².
11. The probability of failure is more affected by the size of the elements than by the type of wood, since the stresses in the element change in proportion to the change in the size of its cross-section.
12. It has been found that when selecting truss elements from a batch of boards according to their strength, the probability of failure for such a truss is significantly reduced compared to uncontrolled random selection of elements.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пінчевська О.О., Спірочкін А.К. Технологія сушіння і захисту деревини. Частина 1. Навчальний посібник. Київ: вид-во, 2021. Ч.1. 171 с.
2. Harte, A. (2009). Introduction to timber as an engineering material. In M. Forde, ICE Manual of Construction materials. Galway: ICE.
3. ДСТУ 8816:2009 "Брусся дерев'яні для стрілкових переводів залізниць широкої колії"
4. Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings.
5. Swedish Wood. (2015). Design of timber structures (Vol. 1). Stockholm: Swedish wood.
6. TräGuiden. (2017). Інтернет-джерело. URL:
<https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/projektering-avlimtrakonstruktioner/bruksgranstillstand/statiska-deformationer/deformationer/>
7. Пічугін С.Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій: монографія. Полтава: ТОВ «АСМІ», 2016. 520 с.
8. ДБН В.2.6-161:2017 Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 111 с.
9. Hansson, M., & Thelandersson, S. (2003). Capacity of timber roof trusses considering statistical system effects. Holz Als Roh- Und Werkstoff, 61(3), 161– 166. <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0373-x>
10. ДСТУ EN 408:2007 Лісоматеріали конструкційні. Конструкційна та клеєна шарувата деревина. Визначення деяких фізичних та механічних властивостей (EN 408:2003, IDT)
11. EN 384:2010 - Structural timber - Determination of characteristic values of mechanical properties and density
12. ДСТУ EN 338:2004 Лісоматеріали конструкційні. Класи міцності (EN 338:2003, IDT)

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

13. Swedish Wood. (2016). Grading of sawn timber in Europe according to EN 1611-1.
14. В.І. Подкоритов. Посібник із вимірювання та оцінки якості деревини в круглому вигляді. Київ, 2015. 87 с.
15. Fortuna, B., Plos, M., Šuligoj, T., & Turk, G. (2018). Strength grading of structural timber. <https://doi.org/10.31534/CO/ZT.2018.09>
16. ДСТУ EN ISO 18081:2019 Неруйнівний контроль. Акустико-емісійний контроль (АТ). Виявлення витоку за допомогою акустичної емісії (EN ISO 18081:2016, IDT; ISO 18081:2016, IDT)
17. ДСТУ EN 14081-1:2019 Конструкції дерев'яні. Будівельні лісоматеріали з прямокутним перетином, сортовані за міцністю. Частина 1. Загальні вимоги (EN 14081-1:2016 + A1:2019, IDT)
18. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2007. – 60 с.
19. Інтернет-ресурс. URL: <https://pogoda.meta.ua/ua/Kirovohradska/Kirovohradskyi/Kirovohrad/>
20. Інтернет-ресурс. URL: <https://eurogrupsa.com.ua/v-kvitni-2022-vyrobnytstvo-kompanii-raitwood/>
21. Метод Монте-Карло. Інформація з Вікіпедії. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B5-%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%BE
22. ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. – Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2012.
23. Охорона праці. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://um.co.ua/8/8-2/8-218071.html>

Додаток А

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ МОНТАЖІ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

А.1 Загальні заходи з охорони праці та вимоги до персоналу

Поняття охорони праці включає систему організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, правових, соціально-економічних і профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Викладені нижче заходи розроблені згідно з [22, 23].

Технічні заходи – створення належних умов праці, усунення причин, що можуть привести до нещасних випадків, своєчасний огляд, ремонт і правильне використання машин, механізмів, верстатів, інструментів, огороження обертових частин механізмів, захист стінок траншей та котлованів.

Організаційні заходи - навчання правил техніки безпеки та інструктаж з цих правил з безаварійної організації праці на кожному робочому місці.

Санітарно-гігієнічні заходи належать до виробничої санітарії. За допомогою цих заходів запобігають загальним і професійним захворюванням працівників. Санітарно-гігієнічні заходи передбачають дослідження впливу виробничих факторів на людину, встановлення допустимих та фактичних значень параметрів виробничих факторів на робочих місцях, визначення відповідності умов на робочих місцях вимогам нормативних документів.

Основні положення з охорони праці визначаються законами України, а також спеціальні акти, які приймаються чи затверджуються Кабінетом Міністрів України, Державним комітетом України по нагляду за охороною праці, Міністерством енергетики України та іншими відомствами.

Законами України, що визначають основні положення з охорони праці, є Конституція України, Кодекс законів про працю України та Закон України «Про охорону праці». Спеціальними законодавчими актами є міжгалузеві та галузеві акти про охорону праці. Це Державні стандарти Системи стандартів безпеки праці, Будівельні норми та правила, Санітарні норми, Правила улаштування електроустановок та інші нормативні документи.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Відповідно до КЗпП, розв'язання найважливіших завдань з охорони праці покладено на власника або уповноважений ним орган. Вони зобов'язані вживати заходів щодо усунення шкідливих умов праці, запобігання нещасним випадкам і додержання на робочих місцях належного санітарно-гігієнічного порядку. Ці обов'язки власника з охорони праці зазначено в Типових правилах внутрішнього розпорядку, які є на кожному підприємстві, в установі чи організації. За цими правилами, адміністрація зобов'язана виконувати закони і правила з охорони праці, дотримуватися встановленого розпорядку робочого дня, забезпечувати робітників і службовців питною водою, створювати для них необхідні санітарно-гігієнічні умови, навчити робітників і службовців безпечних прийомів праці та правил санітарно-технічного забезпечення.

Власник або уповноважений орган підприємства, установ, організацій не мають права примушувати робітників виконувати роботи, що загрожують їхньому життю і не відповідають вимогам законодавства про охорону праці.

Усі працівники, що беруть участь у виробничих процесах при монтажі будівельних конструкцій, повинні у встановленому порядку пройти навчання і перевірку знань з охорони праці, а також медичний огляд і мати визначену професію (професії).

Навчання і перевірку знань з охорони праці працівники повинні пройти відповідно до "Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці", затверджених наказом № 30 від 04.04.1994 року. Держнаглядохоронпраці, а також інших діючих державних і відомчих нормативних актів і документів.

Медичний огляд працівники повинні проходити згідно з "Положенням про медичний огляд працівників визначених категорій", затвердженим наказом № 45 від 31.03.1994 р. Міністерством охорони здоров'я України. Медичній перевірці на психофізіологічні показники для професійного добору підлягають працівники, зв'язані з роботами, викладеними в "Переліку робіт, де є потреба в професійному доборі", затверджені наказом №263/121 від 23.09.1994 р. Міністерством охорони здоров'я України.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Заборонено допускати до робіт з монтажу будівельних конструкцій осіб:

- професія і кваліфікація яких не відповідає характеру роботи;
- які знаходяться в нетверезому стані;
- які не визнані придатними після медичного огляду до вищевказаних робіт.

До самостійних верхолазних робіт допускаються монтажники не молодше 19 років, які пройшли відповідний медичний огляд і визнані придатними, мають стаж верхолазних робіт не менше 1 року і розряд не нижче 3-го. Монтажники, які допускаються вперше до верхолазних робіт, протягом одного року зобов'язані працювати під безпосереднім наглядом досвідчених працівників, призначених наказом керівника організації.

Працівники, які мають кілька професій, повинні бути навчені і атестовані безпечним методам з охорони праці і мати посвідчення на основну професію і професії, що суміщають. Інженерно-технічні працівники, робота яких зв'язана з виконанням верхолазних робіт у процесі перевірки якості і т.п., повинні пройти медичний огляд і бути придатними до виконання верхолазних робіт.

Загальне керівництво і організація навчання безпечним прийомам праці на підприємствах, в управліннях покладені на керівника установи, а в підрозділах - на їхнього керівника. За характером і часом проведення інструктажі для працівників поділяють на вступний, первинний на робочому місці, повторний, позаплановий та цільовий.

Вступний і первинний інструктажі на робочому місці проходять усі робітники, які влаштовуються працювати на будівництво, а також учні, направлені на будівництво для проходження виробничої практики, перед допуском їх до роботи. Представники професій, які мають пройти медичний огляд (монтажники-верхолази, покрівельники та ін.), подають адміністрації медичний висновок, після цього їх можна оформити на роботу.

Вступний інструктаж проводить інженер з техніки безпеки або інший працівник служби техніки безпеки, на якого покладені обов'язки інженера з техніки безпеки. Працівників ознайомлюють з особливостями роботи на будівельному майданчику та робочому місці, обслуговуванням будівельних

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

машин і механізмів, правилами користування електрообладнанням і електрифікованими інструментами, індивідуальними захисними засобами та правилами користування ними, діючими сигналами і прийомами безпечного виконання дорученої роботи, правилами утримання робочого місця та особистої гігієни, засобами подання першої медичної допомоги. Про проведення вступного інструктажу роблять відповідний запис у журналі реєстрації і заповнюють особисту картку. Виписка з журналу про інструктаж зберігається в особовій справі робітника.

Осіб, призначених на роботу з підвищеною небезпекою, ознайомлюють з додатковими правилами безпеки, враховуючи специфіку цієї роботи. Інструктаж закінчують практичним показом безпечних прийомів роботи.

Первинний інструктаж на робочому місці проводить керівник робіт. Він ознайомлює робітника з його обов'язками на даному робочому місці, з технікою безпеки за професією, прийомами безпечної експлуатації механізмів, правилами користування індивідуальними засобами захисту, сигналізації та особистої гігієни. Після перевірки знань протягом кількох змін робітники працюють під наглядом майстра чи бригадира, після чого їх можна допускати до самостійної роботи. Під час проведення інструктажу робітника забезпечують спецодягом та засобами особистого захисту.

Повторний інструктаж також періодично проводять на робочому місці для всіх працівників не рідше одного разу на квартал на роботах з підвищеною небезпекою та один раз на півріччя на інших роботах.

Позаплановий інструктаж проводять, якщо змінюються правила з охорони праці, умови та характер робіт, технологічні процеси у зв'язку з модернізацією обладнання, а також після нещасних випадків і у разі порушення робітниками вимог безпеки праці.

Цільовий інструктаж проводять з працівниками перед початком виконання робіт, на які оформляють наряди-допуски (наприклад, робота в шурфах, колодязях, охоронній зоні повітряних ліній електромереж). Проведення цільового інструктажу фіксують у нарядах-допусках.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Про проведення всіх видів інструктажу роблять записи в спеціальних журналах з обов'язковими підписами інструктуючих та інструктованих. Якщо робітник виявив незадовільні знання, то його до роботи не допускають і знову направляють на проходження інструктажу.

A.2 Вимоги до будівельно-монтажних площадок і складських робіт

Організація будівельного майданчика (розташування складських площадок, санітарно-побутових містечок і зон, огорожень, мереж тимчасового електропостачання, водопостачання і пожежегасіння, тимчасових і постійних доріг і шляхів руху, стоянок для роботи вантажопідіймальних машин і механізмів і т.д.) повинна відповідати будгеплану підготовчого періоду.

Будівельно-монтажні площадки на території діючих підприємств, а також у зонах житлової забудови необхідно обгороджувати. Огородження, що примикають до місць масового проходу людей, необхідно обладнати суцільним захисним козирком.

У підготовчий період будівельно-монтажну площадку звільняють від усіх заважаючих зведенню об'єкта будинків, споруд, дерев, виконують тимчасове планування території для стоку поверхневих вод, переносять існуючі підземні й наземні інженерні мережі, влаштовують тимчасове освітлення, мережі енергопостачання, водопостачання й пожежегасіння, будують автодороги, шляхи руху і стоянки вантажопідіймальних машин і механізмів, зводять необхідні тимчасові будинки і споруди, використовуючи існуючі будинки чи збірно-розбірні та пересувні побутові приміщення, виконують геодезичну розбивку тощо. Готовність площадки до початку монтажу конструкцій має бути підтверджена актом інженерної підготовки площадки.

Зони постійно діючих небезпечних виробничих факторів (неізольовані струмоведучі частини електроустановок, ЛЕП, необгороджені перепади по висоті на 1,3 м і більше, місця, де рівні шуму, вібрації або забруднення повітря перевищують допустимі гігієнічні норми) повинні бути обгороджені захисними

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

огородженнями, що задовольняють вимогам ГОСТ 23407-78 "Огородження інвентарні будівельних майданчиків і ділянок будівельно-монтажних робіт. Технічні умови" і ГОСТ 12.4.059-89 "Будівництво. Огородження запобіжні інвентарні. Загальні технічні умови."

У небезпечних зонах не допускається перебування сторонніх осіб, виконання робіт, не пов'язаних з монтажем будівельних конструкцій, розміщення підсобних і тимчасових будинків і споруд, машинних приміщень і т.п. Виконання будівельно-монтажних робіт у зазначених зонах можна здійснювати за наявності організаційно-технічних рішень і заходів, що забезпечують захист і безпеку працюючих.

Будинки, приміщення і пристрої санітарно-побутового призначення повинні розташовуватися на відстані не менше 50 м з навітряного боку стосовно об'єктів, що виділяють пил, шкідливі пари і газу (бункерних естакадах, бетонорозчинних вузлах, сортувальних пристроях і т.п.).

Майданчики для вантажно-розвантажувальних робіт треба очистити і розташовувати так, щоб їхній ухил не перевищував 5°. Майданчики, розраховані на рік і більше, повинні мати покриття. Взимку їх очищають від снігу й льоду та посипають піском, золою чи шлаком. У відповідних місцях вивішують написи: «Вїзд», «В'їзд», «Розворот» та знаки безпеки. Заборонено проводити роботи на не підготовлених майданчиках.

На майданчиках для укладання вантажів визначають межі штабелів, проходів і проїздів між ними. Місця проведення вантажно-розвантажувальних робіт повинні бути добре освітлені. Для робітників, зайнятих на цих роботах, влаштовують санітарно-побутові приміщення і забезпечують доброякісною питною водою. Ці робітники проходять попередній і періодичний медичний огляди. Вони повинні користуватися під час роботи спецодягом, спецвзуттям індивідуальними засобами захисту. Вантажно-розвантажувальні роботи зазвичай проводять механізованим методом згідно з Правилами влаштування безпечної експлуатації вантажно-підіймальних кранів. Перед підніманням і переміщенням вантажів перевіряють правильність їх стропування.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Сходи, призначені для підйому на висоту понад 2 м, обгороджують поручнями з бортовими дошками. Допускається ухил сходів не більше як 1:3. Якщо по сходах переносять важкий вантаж, то під середину їх ставлять підпори, щоб запобігти прогинанню. Інвентарні металеві сходи роблять з рифленої сталі завтовшки не менш як 5 мм.

Вантажно-розвантажувальні майданчики забезпечують також телями, блоками, лебідками, домкратами, лопатами, тросами, стропами, гаками, носилками, ланцюгами, канатами, мотузками та іншим інвентарем й обладнанням, які щоразу перед початком робіт перевіряють на справність і випробують відповідного чинних норм. Для безпечності роботи вночі вантажно-розвантажувальні майданчики освітлюють.

Стропують вантажі інвентарними стропами чи вантажозахватними пристроями, виготовленими відповідно до затверджених креслень. Методи стропування повинні виключати можливість падіння чи сповзання застропованого вантажу. Вантаж, який транспортують і розвантажують, повинен бути в стійкому положенні. Під час вантажно-розвантажувальних робіт не можна стропувати вантаж у нестійкому положенні, а також зміщувати стропувальний пристрій на трохи піднятому вантажі. Способи стропування елементів конструкцій та обладнання повинні забезпечувати їх подачу до місця встановлення у положенні, близькому до проектного.

Забороняється залишати підняті елементи конструкцій у підвішеному стані. Розстропування встановлених елементів і конструкцій дозволяється після надійного їх закріплення. Подану конструкцію необхідно опустити над місцем її встановлення не більше ніж на 30 см вище проектного положення і після цього монтажник наводить її на місце встановлення, опускає і закріплює.

Лінійні елементи конструкцій треба складати у штабелі заввишки до 1,5...3 м з прокладками та кінцевими упорами, які не дають штабелю розповзатися при випадкових механічних впливах. Готові ферми чи балки зберігають у проектному положенні в спеціальних кондукторах.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

А.3 Заходи безпеки при монтажі несучих конструкцій

Під час монтажу будівельних конструкцій, крім погодженого і затвердженого у встановленому порядку ПВР, необхідно виконувати вимоги чинного ДБН [22], ДНАОП 0.00-1.03-93 "Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів", а також інших державних і відомчих нормативних актів і документів.

Під час монтажу будівельних конструкцій основними шкідливими виробничими факторами слід вважати:

- ☞ машини і механізми, що рухаються, включаючи вантажопідіймальні;
- ☞ переміщення при підйомі і установці в проектне положення елементів будівельних конструкцій, а також укрупнених блоків будинків і споруд;
- ☞ розташування робочого місця на висоті від поверхні землі, підлоги, міжповерхових перекриттів і робочих чи монтажних площадок;
- ☞ недостатню освітленість робочої зони;
- ☞ дію вітру на вантажопідіймальні крани, а також на окремо змонтовані будівельні конструкції чи частини будинків і споруд;
- ☞ фізичні перевантаження при перенесенні вантажів вручну;
- ☞ підвищену чи знижену температуру повітря робочої зони;
- ☞ небезпечну і шкідливу дію на людей електричного струму, електричної дуги, електромагнітного випромінювання і статичної електрики;
- ☞ токсичний і дратівний вплив лакофарбових матеріалів, а також пари від них на дихальні шляхи людини при виконанні антикорозійних робіт;
- ☞ використання порохового монтажного інструмента.

При монтажі основних несучих елементів встановлюють постійні або тимчасові в'язі, щоб одержати більш надійні просторові системи. Колони до підняття облаштовують монтажними драбинами, а при висоті цих драбин понад 5 м вони повинні мати захисні дуги.

Для тимчасових кріплень конструкцій застосовують такі засоби: для колон - анкерні болти, кондуктори чи розчалки; для кроквяних ферм - розчалки; для підкранових балок та підкроквяних ферм - болти. При монтажі ферм

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		56

встановлюють перехідні містки, обгороджені перилами, а переміщуватись по нижніх поясах ферм можна лише тоді, коли є натягнутий трос для кріплення запобіжних поясів. Це особливо стосується покрівельників, для яких роблять проходи завширшки не менш як 0,8 м, обгороджені з обох боків поручнями заввишки 1 м. На ці проходи вони повинні підніматися по спеціальних драбинах. Для переходу з ферми на ферму застосовують пересувні чи переносні трапи з поручнями. На вузлах каркасів монтажники працюють з підвісних кошиків.

А.4 Засоби захисту працюючих і організація робочих місць

При необхідності виконання робіт у межах небезпечної зони треба виключити дію небезпечних і шкідливих виробничих факторів на час виконання робіт, або забезпечити працюючих відповідними засобами захисту. Застосовувані засоби підмоцнування повинні відповідати вимогам чинних норм. Місця закріплення карабіна запобіжного пояса повинні бути визначені з урахуванням довжини стропа, застосовуваного запобіжного пояса, способів кріплення страхувальних канатів і розмірів перетинів конструктивних елементів будинків і споруд, що знаходяться поблизу робочого місця.

При виконанні робіт на висоті без засобів підмоцнування чи огороження робочих місць, тобто безпосередньо з конструкцій, працюючі повинні користуватися запобіжним поясом, страхувальними канатами чи іншими пристосуваннями. При цьому повинне бути забезпечене надійне і зручне закріплення карабіна запобіжного пояса в процесі переходу по конструкціях, а також у процесі закріплення конструктивних елементів у проектне положення.

Довжину страхувального каната між точками його закріплення (величину прольоту) слід призначати в залежності від розмірів конструктивних несучих елементів будинків і споруд, на які його встановлюють і закріплюють на зусилля 2200 кгс. При довжині каната більше 12 м повинні встановлюватися проміжні опори, відстань між якими повинна бути не більше 12 м, а опори і вузли їх кріплення повинні бути розраховані на статичні навантаження рівні: вертикальне - 500 кгс, горизонтальне – 100 кгс, прикладене до верха опори.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Перехід по верхніх поясах ферм і балок не допускається. В окремих випадках, коли це необхідно, допускається таке пересування в положенні "сидячи поповзом", прикріпившись запобіжним поясом за верхній пояс ферми чи спеціально встановлений страхувальний канат.

При проведенні інструктажу слід вказувати конкретні шляхи підходу до конструкцій, місця підйому і спуску, а також переходи по конструкціях.

А.5 Заходи пожежної безпеки

Вимоги пожежної безпеки до різних приміщень і споруд регламентовані відповідними ДБН і типовими правилами пожежної безпеки. Відповідно до цих правил, обмежується загальна площа будівель і споруд залежно від ступеня вогнестійкості конструкцій. Усі приміщення та зони будівельного майданчика утримують у чистоті. В порожніх приміщеннях і в тамбурах забороняється зберігати будь-який горючий матеріал. Двері й ворота в таких приміщеннях повинні відкриватися лише назовні, без порогів та сходів. Усі проходи і майданчики перед воротами постійно очищають від сміття, а зимою від снігу.

Особам, котрі працюють у приміщеннях, під час роботи забороняється: застосовувати відкриті джерела вогню; залишати установки з відкритим вогнем без нагляду; застосовувати для розпалювання опалювальних установок бензин, гас та інші легкозаймисті рідини; залишати під напругою електричні мережі; користуватися для освітлення несправними ліхтарями.

Перебуваючи на будівельному майданчику, необхідно дотримуватись таких правил протипожежної безпеки:

- ❧ не палити на робочому місці;
- ❧ робоче місце прибирати, а сміття виносити у відведене для цього місце, не залишати на робочому місці відходів легкоспалимих матеріалів;
- ❧ не розпалювати багаття на робочому місці іля легкозаймистих матеріалів;
- ❧ кількість легкозаймистих матеріалів на робочому місці повинна відповідати їх витраті за зміну; після закінчення роботи залишки матеріалів слід винести до спеціально виділеного для них приміщення;

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

- ☞ випадково розлиті на підлозі легкозаймисті матеріали відразу витерти ганчіркою, яку винести в спеціально відведене для сміття місце;
- ☞ приступати до роботи з електроінструментом або машинами, що працюють від електродвигунів, після перевірки ізоляції проводів чи кабелів;
- ☞ поблизу електродвигунів, що працюють, не розміщувати речовин, які можуть спалахнути від іскри;
- ☞ якщо двигун перегрівається внаслідок несправності, слід негайно вимкнути його і повідомити майстра або виконроба;
- ☞ робітники повинні добре знати будову різних видів вогнегасників і вміти користуватися ними;
- ☞ якщо виникне пожежа, особи, які її помітили, повинні негайно: подати сигнал пожежної тривоги ударами у металевий предмет (кусок рейки, відро, лист сталі тощо); викликати пожежну команду за телефоном 101; почати гасити пожежу всіма засобами, які є в їхньому розпорядженні;
- ☞ легкозаймисті речовини (гас, оліфу, бензин тощо) треба гасити піском, пінним або вуглекислотним вогнегасником. Якщо полум'я невелике, то на нього слід накинути лист сталі, халат або інший предмет, щоб припинити доступ повітря до вогню. Інші спалимі матеріали (дошки, стружки, папір тощо) можна гасити водою, вогнегасниками, а також піском.

					КМР 2319217 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		