

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
Кафедра будівельної механіки



КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з курсу **«Конструкції з дерева та пластмас»**
для студентів спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
денної і заочної форми навчання

Тернопіль
2024

УДК 624.011.1

К65

Укладач:

Чорномаз Н. Ю., канд. техн. наук, старший викладач

Рецензент:

Гудь М. І., канд. техн. наук, доцент

Розглянуто й затверджено на засіданні кафедри будівельної механіки.

Протокол № 2 від 05 жовтня 2023 р

Розглянуто й затверджено на засіданні науково-методичної комісії
факультету інженерії машин, споруд та технологій.

Протокол № 4 від 23 листопада 2023 р.

К65 Конспект лекцій з курсу «Конструкції з дерева та пластмас» для
студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
денної і заочної форми навчання/ укладачі: Чорномаз Н.Ю.–
Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2024.–120 с.

Складено з урахуванням матеріалів літературних джерел, наведених у
переліку.

© Чорномаз Н. Ю. 2024
© Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя 2024

ЗМІСТ

Вступ	6
Тема 1. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВИНИ В БУДІВНИЦТВІ	7
1.1. Короткий історичний огляд розвитку дерев'яних конструкцій	7
1.2. Перспективи розвитку сучасних дерев'яних конструкцій-армовані дерев'яні конструкції	8
1.3. Деревина як констукційний матеріал	12
Тема 2. КОНСТРУКЦІЙНА ДЕРЕВИНА	17
2.1. Сортамент, будова деревини, дефекти і якість деревини	17
2.2. Головні фізичні та механічні властивості деревини	21
2.3. Захист деревини від гниття та загорання	26
Тема 3. КОНСТРУКЦІЙНІ ПЛАСТМАСИ	30
3.1. Історія розвитку конструкцій із застосуванням пластмас, переваги та недоліки пластмасових конструкцій	30
3.2. Основні компоненти пластмас, що використовуються в будівництві	31
3.3. Основні види конструкційних пластмас	35
3.4. Фанера	40
3.5. Основні напрямки ефективного використання конструкцій з пластмас в будівлях та спорудах	42
Тема 4. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ РОЗРАХУНКУ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЇ ЗА ГРАНИЧНИМИ СТАНАМИ	43
4.1. Основні положення при проектуванні дерев'яних конструкцій ...	43
4.2. Принцип розрахунку за граничними станами	44
4.3. Нормативні та розрахункові навантаження	47

4.4. Основні розрахункові характеристики матеріалів	49
Тема 5. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ	50
5.1. Розрахунок дерев'яних елементів	50
5.2. Розрахунок центрально-розтягнутих елементів	51
5.3. Розрахунок центрально-стиснутих елементів	54
5.4. Розрахунок елементів, які працюють на згин	58
Тема 6. З'ЄДНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ БЕЗ МЕХАНІЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ	59
6.1. Класифікація з'єднань	59
6.2. З'єднання без спеціальних зв'язків – контактні з'єднання	62
6.3. Клеєві з'єднання	67
Тема 7. З'ЄДНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА МЕХАНІЧНИХ ЗВ'ЯЗКАХ	68
7.1. Класифікація нагельних з'єднань	68
7.2. Напружено-деформований стан нагельного з'єднання	71
7.3. Розташування циліндричних нагелів у з'єднаннях	72
7.4. Розрахунок нагельних з'єднань	74
7.5. Нагельні з'єднання зі сталевими накладками	75
7.6. З'єднання на цвяхах	76
Тема 8. ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ З ДЕРЕВА І ПЛАСТМАС	77
8.1. Загальні відомості та класифікація огороджувальних конструкцій	77
8.2. Розрахунок і конструювання прогонів	78
8.3. Розрахунок і конструювання дощатих настилів	82

8.4. Плити з дерев'яним каркасом. Конструювання і розрахунок	86
Тема 9. ДЕРЕВ'ЯНІ БАЛКИ І СТІЙКИ	91
9.1. Суцільні, клеєдерев'яні, клеєфанерні і складені балки. Класифікація балок	91
9.2. Розрахунок балок	96
9.3. Дерев'яні стійки, класифікація	97
9.4. Розрахунок стійок	101
Тема 10. ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ	106
10.1. Технологічний процес виготовлення дерев'яних конструкцій .	106
10.2. Підготовка матеріалів та сушіння	106
10.3. Сортування пиломатеріалів, механічна обробка	109
10.4. Готування і нанесення клеїв	111
10.5. Запресовування і склеювання	112
10.6. Контроль якості дерев'яних клеєних конструкцій.	113
Перелік питань підсумкового контролю	115
Список використаних джерел	117

ВСТУП

Мета вивчення дисципліни – на базі знань і вмінь бакалавра будівництва отримати систему теоретичних знань та практичних навичок з методики розрахунку, конструювання основних елементів будівель та споруд, що виготовляються з деревини та пластмас.

Дана дисципліна базується на знаннях дисциплін, що вивчались згідно робочої програми для ступеня бакалавр, а також окремих тем дисциплін «Опір матеріалів», «Будівельна механіка», «Будівельні матеріали», «Архітектура будівель і споруд», «Будівельні конструкції, будівлі і споруди». Задачі вивчення дисципліни – оволодіти студентами теоретичними знаннями та практичними вміннями з основ розрахунку елементів дерев'яних конструкцій і конструювання з'єднань елементів з деревини і пластмас. Внаслідок вивчення дисципліни студент повинен продемонструвати такі результати навчання:

знати – основні фізико-механічні властивості деревини та пластмас як конструкційних матеріалів; методи розрахунку основних елементів дерев'яних конструкцій та основи проектування з даного конструкційного матеріалу; види з'єднань дерев'яних конструкцій та методику їх розрахунку; основи виготовлення і експлуатації конструкцій з дерева та пластмас.

вміти – визначати на підставі довідкових даних фізико-механічні властивості деревини та належним чином обґрунтувати вибір конструкційної деревини для елементів будівель і споруд; виконувати розрахунки дерев'яних конструктивних елементів і частин будівель за різних напружених станів; виконувати розрахунки з'єднань дерев'яних конструкцій.

Тема 1.

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВИНИ В БУДІВНИЦТВІ

1.1. Короткий історичний огляд розвитку дерев'яних конструкцій.

Деревина є водночас самим стародавнім і сучасним і перспективним будівельним матеріалом. Це єдиний матеріал, який відтворюється в природі.

Важливими перевагами дерев'яних конструкцій є мінімальні витрати енергії при їх виготовленні, екологічно чиста утилізація відходів переробки деревини і дерева, що залишилися після повної експлуатації конструкцій і споруд без обтяження навколишнього середовища.

Вивчення історії дерев'яних конструкцій проводилася дуже обмежено. Причину цього, можливо, слід шукати в тому, що інженерних дерев'яні конструкції ранньої споруди збереглося не так багато.

Відомо, що найдавнішим дерев'яною спорудою, що зберігся до наших днів, є японський храм, побудований більше трьох тисяч років тому з місцевого червоного дерева. Широке застосування знайшли дерев'яні конструкції при будівництві будинків, покриттів храмів і мостів у Стародавньому Римі.

Цікаво, що при будівництві кам'яних споруд для їх посилення часто використовувалися дерев'яні елементи. Так, при будівництві сторожових кам'яних веж на півдні Італії для стяжки протилежних стін використовувалися дерев'яні бруси.

Подальший розвиток дерев'яних конструкцій пов'язано з удосконаленням механічної обробки дерева. Можливість поздовжнього розпилювання дерева призвела до появи брущатих і дощатих конструкцій.

У 18 столітті з'являються полегшені гратчасті конструкції із застосуванням брусів і дощок. Однією з найстаріших в Європі конструкцій дахів є побудований архітектором Іваном Коробовим в 1736–1738 рр. і збережений архітектором Андреем Дмитровичем Захаровим при перебудові вежі в період

1806–1823 рр. шпиль Адміралтійства висотою 72 м в С. Петербурзі. Слід зазначити дерев'яні ферми покриття Манежу, побудовані в 1817 р. архітектором Бетанкур, яку мали до пожежі в 2004 р. найбільший проліт (близько 49 м) з збережених дерев'яних конструкцій такого роду.

Розглядаючи історію розвитку будівельних конструкцій взагалі і дерев'яних, зокрема, необхідно виділити такі імена видатних вітчизняних інженерів, як Іван Петрович Кулібін (1735–1818 рр.), Дмитро Іванович Журавській (1821–1891 рр.) і Володимир Григорович Шухов (1853–1939 рр.).

З появою нових методів обробки дерева і деревних матеріалів, а також засобів з'єднання дерев'яних елементів змінювалися і види дерев'яних конструкцій. У 1932–1936 рр. інженером В. С. Дерев'ягініним запропоновані брущаті конструкції на пластинчастих нагелях у вигляді балок прольотом 6 м. і ферм прольотом до 24 м.

Період індустріалізації будівництва супроводжувався процесом переходу до індустріальних дерев'яних конструкціям. Техніко-економічною передумовою індустріалізації були типізація і стандартизація дерев'яних конструкцій.

Широке застосування знайшли несучі конструкції покриття у вигляді клеєних (у тому числі і клеєфанерних) балок і арок покриття та рам.

Подальший розвиток дерев'яних конструкцій призвів до великопрольотних просторових конструкцій. При цьому прототипами багатьох з них були просторові конструкції: склепіння, куполи і оболонки будівельного виготовлення 30-х, 40-х років 19 століття.

1.2. Перспективи розвитку сучасних дерев'яних конструкцій, армовані дерев'яні конструкції.

Високі темпи і рівень сучасного будівництва пред'являють якісно нові вимоги до будівельних матеріалів і конструкцій. При цьому велика увага приділяється виробництву клеєних дерев'яних конструкцій.

Такі конструкції по ряду техніко-економічних показників перевершують металеві та залізобетонні: мають малу монтажну масу,

відносно високу міцність і жорсткість при достатній надійності і довговічності. У той же час негативні властивості деревини (залежність її властивостей від будови, вад, необхідність застосування і значні витрати якісного пиломатеріалу, зайва масивність перетинів, повзучість матеріалу при тривалому навантаженні і ін.) Обмежують сферу застосування і погіршують показники клеєних дерев'яних конструкцій.

Один із шляхів усунення зазначених недоліків та підвищення техніко-економічної ефективності – армування перетинів клеєних дерев'яних конструкцій і елементів сталевий або склсклопластиковою арматурою. Це дозволяє істотно скоротити витрату деревини, зменшити монтажну масу, підвищити якість і надійність дерев'яних конструкцій, що працюють в основному на вигин і стиск з вигином.

Висока міцність і жорсткість у поєднанні з малою монтажною масою роблять ці конструкції незамінними в розосередженому сільськогосподарському будівництві, в важкодоступних і віддалених від магістральних шляхів районах, при проектуванні великих прольотів і при великих навантаженнях.

Легкі несучі клеєні армовані конструкції знаходять застосування в самих різних областях будівництва: при зведенні видовищно-спортивних, сільськогосподарських і складських будівель, пролітних будов мостів і естакад, будівель хімічних виробництв і ін., Що пред'являє до них дуже високі вимоги. Оскільки в процесі експлуатації можливі впливи перепадів температури, а також вологість, агресивне середовище, повторні короткочасні і тривалі навантаження і ін.

Розробка і дослідження клеєних армованих дерев'яних конструкцій для будівництва – частина важливих народногосподарських завдань по створенню нових видів ефективних несучих конструкцій на основі деревини.

Пропонована увазі робота розглядає основні проблеми клеєних армованих сталевими стрижнями дерев'яних конструкцій в будівництві.

У центрі уваги конструкторів і дослідників з кінця XIX століття постійно знаходиться проблема підвищення надійності дерев'яним конструкцій і елементів, що працюють на розтяг і поперечний вигин. Найбільш ефективним способом підвищення міцності і надійності таких конструкцій виявився спосіб підкріплення дерев'яних елементів сталевими.

Надалі на цій основі були розроблені металодерев'яні конструкції, в яких розрахункові дерев'яні розтягнуті елементи замінялися сталевими.

Перші відомості про армовані дерев'яні конструкції з'явилися у пресі в 1907 р Німецький інженер Voles запатентував дерев'яну балку складеного перерізу, спільна робота дощок в перерізі досягала за рахунок сплачування сталевими смугами (хомутами) З'єднання смуг з деревиною здійснювалася цвяхами або стяжними болтами.

Ідея використання в конструкціях спільної роботи деревини та металу знайшла подальший розвиток в армованих дерев'яних конструкціях і елементах. У 1921 р А. Клайт (США) запропонував використовувати в конструкціях літаків і дирижаблів несучий дерев'яний елемент коробчатого перетину з запресованої в полки сталевим дротом

Цей елемент можна вважати прообразом сучасних армованих дерев'яних конструкцій. Однак труднощі, пов'язані з виготовленням таким конструкцій, і відсутність надійних засобів з'єднання сталевих дроту з деревиною не дозволили довгий час реалізувати цю пропозицію.

Армувати сталевими прутами дерев'яні брущаті балки і колони в несучих будівельних конструкціях вперше запропонував А. Фішер (Німеччина) в 1926 р Сталеві прутки повинні були укладатися в пази квадратного перетину і заливатися спеціальною мастикою, склад якої автор не наводить.

Перші проекти армованих дерев'яних конструкцій не були здійснені через відсутність надійних засобів з'єднання арматури з деревиною. Пошуки простого і ефективного способу з'єднання арматури з деревиною привели до використання різних механічних засобів.

У 1954 р були проведені експериментально-теоретичні дослідження армованих дерев'яних конструкцій професором Чальмерського університету Швеції Н. Гранхольмом. З'єднання арматури з деревиною балок здійснювалося за допомогою синтетичних клеїв: фенолоформальдегідних і епоксидних.

Клейове з'єднання сталь-деревина має достатню міцність, навіть при впливі негативної температури і підвищеної вологості.

Асортимент випробуваних армованих дерев'яних балок був великий. Всі дослідження проводилися тільки в припущенні пружної стадії роботи матеріалу. Він перший запровадив армовані дерев'яні конструкції в будівлі і є автором монографії присвяченої армованим дерев'яним конструкціям.

Дослідження, проведені Н. Гранхольмом, показали, що міцність, жорсткість і надійність балок (прямокутного, двотаврового і коробчатого перерізів), трикутних арок і плит покриття, армованих гладкими сталевими стрижнями і смугами, значно вище, ніж у неармованих.

У 1961 р Слікер (Sliker) провів дослідження клеєних балок армованих пластинами з алюмінієвих сплавів.

З 1964 р розробкою і дослідженнями армованих дерев'яних конструкцій в Англії займається Асоціація наукових досліджень деревини та сприяння розширення її застосування:

- Ефект армування дерев'яних конструкцій тим вище, чим надійніше зв'язок з'єднання сталь – деревина;

- В конструкціях з вклеєною арматурою періодичного профілю при відповідному коефіцієнті армування ефективність дерев'яних балок армованих без попереднього напруження збільшується в середньому 1.5? 3 рази;

- Конструкції з вклеєною гладкою арматурою без попереднього напруження збільшують міцність незначно до 3.0%, а вертикальні деформації армованих менше в 1.46 рази в порівнянні з контрольними – дерев'яними балками.

1.3. Деревина як констукційний матеріал.

Деревина є найдавнішим будівельним матеріалом. Цей матеріал має малу об'ємну масу при великій тривкості на вигин і стиск. Відношення припустимого навантаження при стиску до власної маси дорівнює: для деревини сосни – 800; для сплавів типу дюралюмінію – 300; для сталі і попередньо напруженого залізобетону – 100; для залізобетонних виробів – 60.

Відношення маси рівнозначних несучих конструкцій для матеріалів: дерево – сталь – бетон у ряді випадків приймають рівним: 1:2:10.

Деревина легко піддається обробці ріжучими інструментами, має гарну текстуру, а також гарну звукоізоляційну і теплоізоляційну властивості (теплоізоляційні властивості в 16 разів вище, ніж у бетону). У порівнянні зі штучними полімерними матеріалами, схильними порівняно швидкому старінню зі зміною фізико-механічних властивостей і форми, деревина, що подає собою природний полімер, практично не старіє. Відмінні акустичні властивості роблять її незамінною при оформленні театральних помешкань, залів засідань і т.д.

Бурхливий розвиток хімічної промисловості і полімерних матеріалів дозволив застосовувати нові методи облагороджування деревини, послабити цим, а в ряді випадків цілком усунувши, вплив анізотропної її будівлі (шляхом склеювання шаруватих конструкцій і пропитки деревини різноманітними матеріалами).

Деревина має високу стійкість в умовах агресивного повітряного середовища. Там, де термін служби металевих і залізобетонних конструкцій обчислюється декількома роками, дерев'яні конструкції експлуатуються десятиліттями без ознак руйнування. Масивні дерев'яні конструкції більш вогнетривкі, ніж металеві і залізобетонні.

Деревину в капітальному будівництві використовують за трьома основними напрямками:

- для виготовлення конструктивних елементів будинків (столярні роботи) – стіни, перегородки, опори перекриттів, ферми, балки, прогони, стропила горищних прорізів, обгратування кривель і т.п.;

- для виготовлення столярних і погонажних виробів – віконних і дверних блоків, воріт, умонтованої меблів, статей, фасонного погонажу; для внутрішньої оздоби помешкань, акустичного екранування помешкань;

- на допоміжні будівельні роботи – земляні, кам'яні, бетонні і залізобетонні, устрої лісів і підмостей, монтаж конструктивних елементів будинків і устаткування і т.п.

У залежності від характеру будівництва витрата деревини на окремі роботи коливається в значних межах. У середньому біля 36% загального обсягу споживання припадає на конструктивні елементи будинків, біля 30% – на столярні і т.п. вироби і біля 34% – на допоміжні будівельні роботи.

Біля 20% лісоматеріалів, що поставляються будівельникам, застосовується в круглому виді, інші – у виді різноманітних сортаментів пиломатеріалів, що переробляються на конструкції і вироби, а також у виді плитних матеріалів (деревиноволокнистих і деревиностружечних плит, фанери), що заміняють суцільну деревину.

Дерев'яні будівельні конструкції поділяють: по призначенню – на несучі і огорожуючі; по характеру зусиль, що сприймають – на плоскі і просторові; по виду застосовуваних матеріалів – на цільнодерев'яні, що виготовляються з круглого лісу, брусів або дощок, шаруваті (склеєні з окремих дощок у конструкційні елементи), безметальні, що не мають сталевих елементів і з'єднань, які потрібно враховувати розрахунками та металодерев'яні, у яких із деревини роблять тільки стиснуті і стиснуто-зігнуті елементи, а всі елементи, що працюють на розтяг, виготовляють із сталі.

По характеру силових впливів на опори розрізняють конструкції безрозпірні (балки, балкові системи й арки з затягуваннями) і розпірні (арки, рами, склепіння).

За способом виготовлення конструкції поділяються на конструкції повного заводського виконання, конструкції, що збираються на будівельних майданчиках з елементів заводського виготовлення, і конструкції, виготовлені на будмайданчиках.

Окремі елементи дерев'яних конструкцій з'єднують на врубках, шпонках (працюючих на стиск); нагелях (працюючих на вигин), болтах, хомутах і скобах (працюючих на розтяг), колекторах (металевих цвяхових пластинах) і клеях (працюючих на розтяг).

В сучасному будівництві застосовують матеріали не тільки з деревини, але й з кори. Наприклад, з кори пробкового дуба виготовляють широкий асортимент тепло- та звукоізоляційних матеріалів, покриттів для стін та підлоги. Сучасні покриття для підлог із пробки – це багат шарові конструкції, основою яких є агломерована (пресована) пробка, лицьова поверхня якої покрита декоративним шпоном із пробки або цінних порід деревини та кількома шарами захисного лаку або полімерними (вініловими, акриловими, поліуретановими) композиціями.

За технологією укладки пробкові покриття для підлоги (у вигляді плиток різних розмірів) можна поділити на дві групи: «здатні до приклеювання» та «плаваючі», різниця між якими полягає в способі інсталяції покриттів. Так, покриття можуть приклеюватися безпосередньо до основи або кріпитися між собою спеціальними «замками» і вільно лежати на основі. Такі покриття для підлоги відрізняються міцністю, пружністю та не деформуються при тривалому впливі навантаження.

Пробкові покриття для стін – це плитки (300х600х3 мм) або рулони (1000х100х2 мм) з агломерованої пробки з покриттям із декоративного пробкового шпону. Внаслідок унікальної будови такі покриття не старіють,

не вимагають спеціального догляду, оскільки вони є антистатиками і відштовхують пил, практично не вбирають запахи і стійкі до дії хімічних речовин. Покриття із пробки мають добрі акустичні, тепло- й звукоізолюючі та радіаційнозахисні властивості.

Фанера – це листовий матеріал, склеєний з трьох і більше шарів луценого шпону. Зовнішні шари шпону називають сорочками, внутрішні – серединками. Розрізняють лицьову та зворотну сорочки. Лицьова сорочка містить менше вад деревини й дефектів обробки, ніж зворотна сорочка та серединки.

Для обробки приміщень застосовують такі види фанери: облицьована струганим шпоном, декоративна фанера, бакелізована фанера, і фанерні плити.

Листи шпону розміщують так, щоб напрями волокон у суміжних листах були взаємно перпендикулярними. Число шарів шпону у фанері – непарне: 3, 5, 7, 9 і т.д. Така будова фанери зумовлює майже однакову міцність в усіх напрямках, незначне короблення, гнучкість. Товщина фанери може бути 1,5... 18 мм, розміри листа – до 1525x2400 мм.

Клеєну фанеру виготовляють із деревини листяних та хвойних порід: берези, сосни, бука, вільхи тощо. Залежно від застосованого клею та його водостійкості розрізняють фанеру підвищеної, середньої та обмеженої водостійкості. Фанеру підвищеної водостійкості використовують для обшивання зовнішніх стін та виготовлення опалубки, середньої й обмеженої водостійкості – для влаштування внутрішніх перегородок, обшивки стін і стель приміщень.

Бакелізована фанера матеріал, що виготовляють з березового луценого шпону, просоченого фенолформальдегідними смолами. Для цього виду фанери характерні підвищені густина й міцність, гладкі поверхні, що покриті тонким шаром отверділої смоли.

Фанерні плити – багат шарові вироби, виготовлені із семи та більше шарів шпону, склеєних синтетичними клеями на основі фенолформальдегідних і карбамідоформальдегідних смол.

Біокомпозити та композиційні матеріали на основі відходів переробки деревини. Сучасні будівельні деревні матеріали, відомі як біокомпозити виготовляють з використанням біотехнологій, заснованих на досягненнях біохімії, мікробіології та інженерних наук. Зв'язуючим матеріалом у біокомпозитах є природні клеючі речовини, що видаляються мікроорганізмами з деревини або іншої рослинної сировини. Основними компонентами деревини є природні полімери: целюлоза, геміцелюлоза та лігнін. Лігнін у деревині, яку умовно можна розглядати як природний композиційний матеріал, виконує функцію клею (матриці), а целюлоза – армуючої речовини. При виготовленні біокомпозитів подрібнена деревина під дією тиску та температури здатна до утворення монолітного матеріалу. Для прискорення цього процесу використовують дереворуйнівні гриби – ксилотрофи, які беруть участь у процесах ферментації і сприяють мікробіологічному процесу руйнування лігніну. Технологічний процес виготовлення біокомпозитів передбачає: підготовку деревини (подрібнення), ферментацію її ксилотрофами, сушіння та дозування отриманої маси, її формування у пакети, холодне та гаряче пресування, заключну обробку готових плит. Плити можуть бути одно- та тришарові, товщиною 8...20 мм. Найбільшою міцністю та водостійкістю відрізняються матеріали із середньою густиною понад 1000 кг/м³.

Дерешаруваті пластики (ДШП) – листи або плити, виготовлені з тонкого лушеного шпону, просоченого та склеєного полімерами резольного типу. Деревні пластики відрізняються від фанери тим, що мають більшу густину та вищі фізико-механічні властивості. ДШП виготовляють з березового лушеного шпону вологістю 9... 12%, товщиною 0,3; 0,5; 0,8 та 1,15 мм. В окремих марках ДШП допускається застосовувати шпон до 2,5 мм завтовшки. Шпон просочують у ваннах із полімерним розчином протягом 1 год при температурі 15...25°C. Глибоке просочування виконують в автоклавах при

тиску 0,4...0,5 МПа. Просочений шпон сушать у камерах або в конвеєрних сушарках при 80...90°C. Вміст полімеру в просоченому шпоні – 16...24%.

Клеєні дерев'яні конструкції виготовляють на спеціальних заводах склеюванням невеликих дерев'яних заготовок у великорозмірні елементи, використовуючи високоміцні та водостійкі полімерні клеї. Міцність, водостійкість, біо- та вогнестійкість таких конструкцій вищі, ніж в аналогічних суцільних дерев'яних конструкцій. Вони практично не піддаються процесам усихання та короблення.

Тема 2.

КОНСТРУКЦІЙНА ДЕРЕВИНА

2.1. Сортамент, будова деревини, дефекти і якість деревини.

Деревина – цінний конструкційний будівельний матеріал, запаси якого можуть поновлюватися після його раціональних заготівель. Заготовлений ліс у виді відрізків стовбурів стандартної довжини доставляється на деревообробні підприємства. Там з нього виготовляють пиломатеріали, фанеру, деревні плити, дерев'яні конструкції і будівельні деталі. Найбільш економічно доцільно постачати будівництво пиломатеріалами, готовими виробами і конструкціями, а не круглим лісом.

Хвойну деревину (сосна, ялина, модрина) використовують для виготовлення основних елементів дерев'яних конструкцій і будівельних деталей. Прямі високі стовбури хвойних дерев з невеликою кількістю сучків невеликої величини дозволяють одержувати прямошаруваті пиломатеріали з обмеженою кількістю вад. Також хвойна деревина містить смоли, завдяки чому вона більш стійка зволоженню і загниванню, ніж листяна.

Деревина твердих листяних порід (дуб, бук, граб, акація) має підвищену міцність і стійкість проти загнивання. Однак через більшу

дефіцитність і вартість її використовують у будівельних конструкціях тільки для дрібнорозмірних елементів з'єднань (нагелі, шпонки і так далі). Березова деревина відноситься теж до твердих листяних порід. Її використовують головним чином для виготовлення будівельної фанери. Деревина м'яких листяних порід (осика, тополя, вільха, липа) має знижену міцність і стійкість проти загнивання і використовується для виготовлення малонавантажених елементів тимчасових будівель і споруд. Отже, лісоматеріали, що використовуються у будівництві, ділять на круглі і пилені.

Лісоматеріали, що використовуються у будівництві, ділять на круглі і пилені.

Круглі лісоматеріали-колоди – це частини стовбурів дерев з обпиляними кінцями – торцями, очищені від сучків та кори. Вони мають стандартні довжини 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 і 6,5 м. Колоди мають природну усічено-конічну форму. Зменшення їхнього діаметру по довжині називається збігом і в середньому він рівний 0,8 см на 1 м довжини колоди. Сортамент колод визначається діаметром їх тонкого торця d . Малі колоди $d < 13$ см називають також підтоварником і застосовують їх для тимчасових споруд. Середні колоди мають d від 14 до 24 см, а великі $d \Rightarrow 26$ см з градацією розмірів через 2 см. Круглі лісоматеріали використовують в основному при будівельному виготовленні дерев'яних конструкцій.

Пиломатеріали отримують в результаті поздовжнього розпилювання колод на лісопильних рамах або круглопилкових верстатах. Вони мають прямокутний або квадратний перетин. Пиломатеріали мають стандартну довжину 1–6,5 м з градацією через кожні 0,25 м. Ширина пиломатеріалів коливається від 75 до 275 мм, товщина – від 16 до 250 мм. За формою і розмірами поперечного перерізу пиломатеріали поділяють на бруси, бруски, дошки, обаполи і шпали.

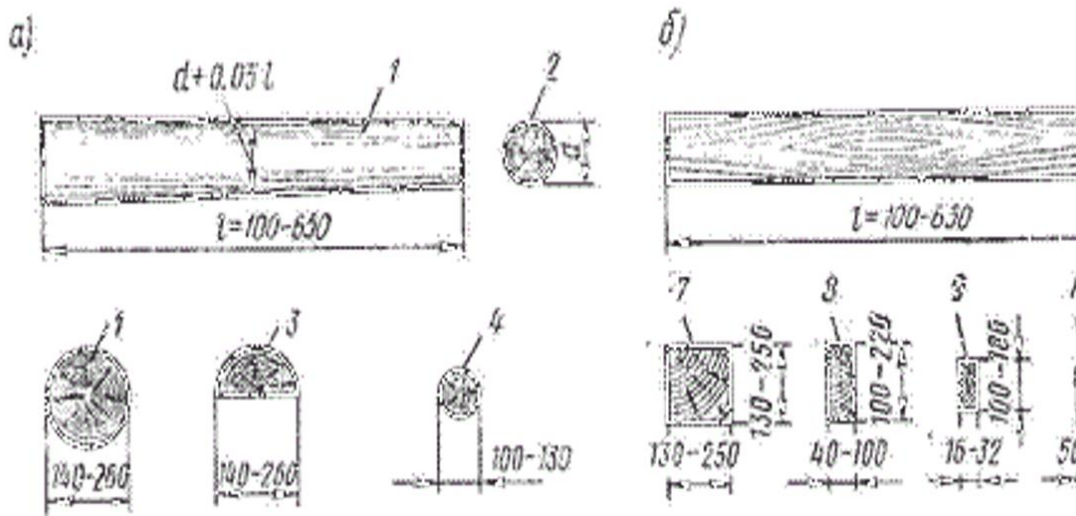


Рисунок 2.1 Лісоматеріали: а – пилені; б – круглі

1 – пласть, 2, 3 – торець, 4 – брус, 5 – дошка товста, 6 – дошка тонка,
7 – брусок, 8 – колода

Пригадаємо будову деревини. Деревина має трубчасту шарувато-волокнуисту будову. Основу деревини складають деревні волокна, розташовані уздовж стовбура. Вони складаються з подовжених пустотілих оболонок відмерлих клітин – трахеїд – майже прямокутної форми, середньою шириною 50 мкм і довжиною 3 мкм з органічних речовин (целюлози і лігніна). Деревні волокна розташовуються концентричними шарами навколо осі стовбура, які називаються річними шарами. Кожен річний шар складається з двох частин: м'якої ранньої (весняно-літньої) деревини з більш тонкими стінками і широкими порожнинами кліток та більш твердої пізньої (осінньої) деревини, клітки якої мають більш товсті стінки і вузькі порожнини. Щільність і міцність деревини залежать від відносного вмісту в ній пізньої деревини, що у сосни, наприклад, змінюється від 5 до 35 % (рис. 2.2).

Середня частина стовбурів сосни, кедра і модрини має більш темний колір, містить більше смоли і називається ядром. Навколо ядра розташована менш смолиста деревина-заболонь. Крім цих основних частин у деревині є

горизонтальні серцевинні промені, м'яка серцевина, смоляні ходи, сучки і зовні вона покрита корою.

Якість лісоматеріалів визначається, в основному, ступенем однорідності будови деревини, від якої залежить її міцність. Ступінь однорідності деревини визначається розмірами та кількістю ділянок, де однорідність її будови порушена і міцність знижена. Такі ділянки називають дефектними.

Основними неприпустимими дефектами деревини є: гниль, тріщини в зонах сколювання у з'єднаннях. Найбільш поширеними і неминучими вадами деревини є сучки – зарослі залишки колишніх гілок дерева. Сучки є допустимими з обмеженням.

Нахил волокон, щодо осі елемента так само є допустимим з обмеженням дефектом. Він утворюється в результаті природного гвинтоподібного розташування волокон у стовбурі.

Тріщини, що виникають при висиханні деревини, теж відносяться до числа обмежено допустимих дефектів.

До дефектів відносяться також м'яка серцевина, випадаяючі сучки і інші, менш поширені порушення однорідності будови деревини.

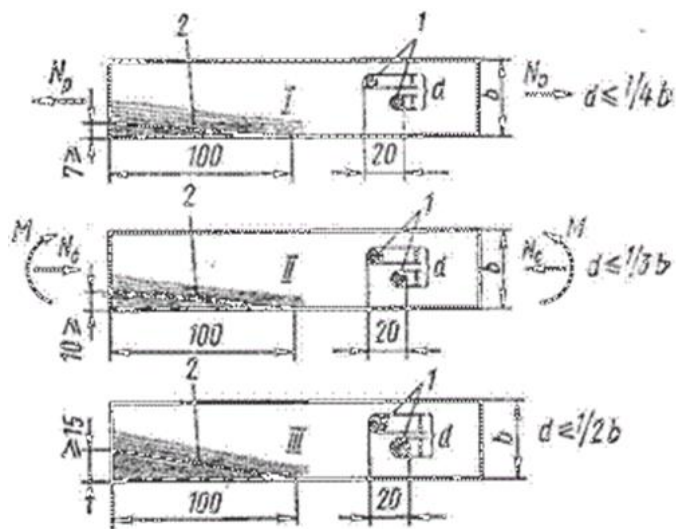


Рисунок 2.2 Категорії елементів за якістю деревини I–III категорії;

1 – сучки; 2 – нахил волокон

Якість лісоматеріалів визначається сортом (добірний, I, II, III, IV), що встановлюються залежно від виду, величини, розташування і кількості дефектів. Деревина для несучих елементів дерев'яних конструкцій повинна задовольняти вимогам I, II і III сортів.

Деревина I сорту використовується в найбільш відповідальних напружених розтягнутих елементах. Це окремі розтягнуті стержні і дошки розтягнутих зон клеєних балок висотою перерізу більше 50 см. Нахил волокон $\leq 7\%$. Сумарний діаметр сучків на довжині 15 см $d \leq 1/4b$.

Деревина II сорту використовується в стиснутих і згинальних елементах. Це окремі стислі стержні, дошки крайніх зон клеєних балок висотою менше 50 см. Нахил волокон $\leq 10\%$. Сумарний діаметр сучків на довжині 15 см $d \leq 1/3b$.

Деревина III сорту використовується в менш напружених середніх клеєних стиснених, згинальних та стиснуто-згинаних елементах, а також в маловідповідальних елементах настилів і риштувань. Нахил волокон $\leq 12\%$. Сумарний діаметр сучків на довжині 15 см $d \leq 1/2b$.

У країнах Євросоюзу колоду вимірюють за серединним діаметром і сортують за чотирма класами якості – А, В, С, D для хвойних та твердолистяних порід дуба, бука, клена, ясена; і за трьома класами якості – А, В, С для м'яколистяних порід (тополі). Національні стандарти ДСТУ, розроблені на основі європейських, можна поділити на такі категорії:

- методи вимірювання і визначення обсягу круглих лісоматеріалів;
- методи вимірювання ознак деревини і біологічних пошкоджень;
- розмірна класифікація листяних і хвойних пиломатеріалів;
- правила сортування круглих лісоматеріалів за породами.

2.2. Головні фізичні та механічні властивості деревини.

Фізичні властивості

Вологість. Вода, що заповнює внутрішні порожнини деревини, називається вільною або капілярною. Вода, що просочує стінки кліток

деревини, називається зв'язаною або гігроскопічною. При підвищенні температури зовнішнього середовища вода з деревини поступово випаровується. Спочатку випаровується вільна вода, а потім зв'язана. Стан деревини, коли в ній залишається тільки зв'язана вода, відповідає точці насичення волокон.

Кількість зв'язаної води в деревині складає в середньому 30%. Цей стан має велике значення тому, що з цього моменту при висиханні деревини змінюються її властивості і розміри, тобто відбувається усушка деревини. Усушка нерівномірна в радіальному і тангенціальному напрямках, а це викликає в річних шарах внутрішні напруження розтягу, в результаті чого з'являються тріщини, що поширюються від середини до зовнішньої поверхні. Чим більші густина і об'ємна вага деревини, тим більшими є розміри усушки. При усушці деревина жолобиться. Жолобіння буває поперечним і поздовжнім. Поперечне жолобіння виражається в зміні форми перерізу сортаменту, поздовжнє – у формі вигину по довжині або прийняття гвинтоподібної форми.

Вологість деревини, що зберігається в приміщенні при температурі й вологості повітря, можна визначити за діаграмою Н. Н. Чулицького. Стандартна вологість прийнята для деревини 12%, тобто всі її властивості, які змінюються зі зміною вологості перераховують на стандартну й після цього роблять обґрунтування вибору виду деревини для тих чи інших цілей. Перерахування ведуть за формулою:

$$r_{o12} = r_{ow} [1 + 0,01(1 - K_y)(12 - W)], \quad (2.1)$$

де K_y – коефіцієнт об'ємної усушки;

W – вологість деревини в даний момент часу, визначена за діаграмою Н. Н. Чулицького, %.

$$R_{12} = R_w [1 + a(W - 12)], \quad (2.2)$$

де a – коефіцієнт зниження міцності при зволоженні на 1 %, становить: при стиску й вигині 0,04, а при розтягу 0,01;

R_{12} , R_w – межі міцності деревини, відповідно при 12% вологості й при вологості в момент випробування, МПа;

W – вологість деревини в момент випробування, %.

Деревина піддається також розбуханню – явищу, зворотному усушці, тобто при поглинанні деревиною води її лінійні розміри й об'єм збільшуються.

Усушка і розбухання деревини в конструкціях приводять до руйнування їхніх вузлів і збільшення деформацій. Щоб уникнути таких шкідливих явищ, деревину треба піддавати штучному сушінню при правильному температурно-вологісному режимі.

Об'ємна вага. Деревина відноситься до класу легких конструкційних матеріалів, її об'ємна вага змінюється в широких межах залежно від породи деревини, кількості пустот, товщини стінок волокон і вологості. Об'ємна вага щойно зрубленої деревини, наприклад, хвойних порід може досягати $8,5 \text{ кН/м}^3$ (850 кг / м^3). Розрахункова щільність деревини хвойних порід у складі конструкцій в приміщеннях зі стандартною вологістю повітря 12% приймають рівною 500 кг/м^3 . В приміщенні з вологістю повітря більше 75% і на відкритому повітрі – 600 кг / м^3 . Слід мати на увазі, що чим більше відсоток пізньої деревини, тим більшою стає об'ємна вага, а деревина з більшою об'ємною вагою має більшу міцність.

Температурне розширення. Лінійне розширення в деревині різне уздовж волокон чи під кутом до волокон. Коефіцієнт лінійного розширення деревини невеликий, він приблизно в два рази менший, ніж у металів, тому для споруд з дерева немає необхідності у влаштуванні температурних швів. Коефіцієнт лінійного розширення α уздовж волокон складає $(3 \div 5) \cdot 10^{-6}$, Поперек волокон деревини цей коефіцієнт менший у 7–10 разів.

Теплопровідність. Унаслідок пористої будови деревина погано проводить тепло, має дуже малий коефіцієнт теплопровідності, особливо поперек волокон, що дає змогу використовувати її не тільки як конструкційний, але як і теплоізоляційний матеріал. Варто пам'ятати, що щільна і волога деревина більш теплопровідна, ніж менш щільна і суха. Коефіцієнт теплопровідності сухої деревини поперек волокон $\lambda \approx 0,14 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$. Брус товщиною 15 см еквівалентний по теплопровідності цегляній стіні товщиною в 2,5 цегли (51 см).

Ще однією цінною властивістю деревини є її стійкість до багатьох хімічних і біологічних агресивних впливів. Вона є хімічно більш стійким матеріалом, ніж метал і залізобетон. Більшість органічних кислот при звичайній температурі не послаблюють деревину, тому вона часто використовується для конструкцій в умовах хімічно агресивних середовищ (різного роду складські приміщення).

Механічні властивості.

Властивості деревини чинити опір дії зовнішнім силам називають механічними. Через анізотропну будову деревини механічні властивості залежать:

- від кута між напрямом діючого зусилля і напрямом волокон деревини;
- від породи, будови деревини і її об'ємної ваги;
- від швидкості прикладання навантаження;
- від тривалості дії навантаження.

Міцність. Деревина відноситься до матеріалів середньої міцності.

Деревина є анізотропним матеріалом, тому її міцність залежить від напрямку дії зусиль по відношенню до волокон. При дії зусиль вздовж волокон, оболонки клітин працюють в самих сприятливих умовах і деревина показує найбільшу міцність.

Середня межа міцності сосни без вад, вздовж волокон становить: при розтягу – 100 МПа, при згині – 80 МПа, при стиску – 44 МПа. При розтягу,

стиску і сколюванні поперек волокон ця величина не перевищує 6,5 МПа. Наявність вад значно (~ на 30%) знижує міцність деревини при стиску і згині, а особливо (~ на 70%) при розтягу.

Вплив вологості на міцність. Зміна вологості в межах від 0% до 30% призводить до зниження міцності деревини на 30% від максимальної. Подальша зміна вологості не призводить до зниження міцності деревини.

Вплив температури. При підвищенні температури межа міцності та модуль пружності знижуються, а крихкість деревини підвищується. Межу міцності деревини G_t при температурі t в межах від 10 до 30°C можна визначати виходячи з її початкової міцності – G_{20} при температурі 20°C з урахуванням поправочного коефіцієнта β .

Жорсткість деревини – її ступінь деформативності під дією навантаження суттєво залежить від напрямку дії навантажень по відношенню до волокон, їх тривалості та вологост деревини. Жорсткість визначається модулем пружності E .

Для хвойних порід вздовж волокон: $E = 15000$ МПа.

При підвищеній вологості, температурі, а також при спільній дії постійних і тимчасових навантажень значення модуля пружності деревини приймають рівним: $E_0=10000$ МПа (вздовж волокон) та $E_{90}=400$ МПа (поперек волокон).

Механічні властивості деревини також залежать від температурно-вологісних умов експлуатації. При збільшенні вологості деревини від 0 до 30% (точка насичення волокон) межа міцності її різко зменшується, а деформації збільшуються. При подальшому збільшенні вологості міцнісні показники деревини не змінюються. При збільшенні температури від 20°C до 50°C міцність деревини зменшується залежно від виду напруженого стану на 15–35%.

Вологість вважається стандартною, якщо $w = 12\%$, а температура – якщо $T = 20^\circ\text{C}$.

Робота деревини на розтяг, стиск, поперечний згин та зминання.

Зі збільшенням висоти перерізу межа міцності знижується.

Розрізняють зминання вздовж волокон, поперек волокон і під кутом до них. Міцність деревини на зминання вздовж волокон, мало відрізняється від міцності на стиск вздовж волокон, тому норми не роблять різниці між ними. Зім'ята поперек волокон деревина опирається слабо. Зминання під кутом займає проміжне становище.

Зминання поперек волокон характеризується відповідно до трубчастої форми волокон значними деформаціями елемента. Після сплюснення і руйнування стінок клітин відбувається ущільнення деревини, зменшення деформацій і зростання опору зразка.

2.3. Захист деревини від гниття та загорання.

Для забезпечення довговічності дерев'яних конструкцій за будь-яких умов експлуатації, їх необхідно захистити від загнивання та горіння.

Гниття – це біохімічний процес руйнування деревини, викликаний грибами. Як результат життєдіяльності рослинних організмів, гниття можливе тільки за певних сприятливих умов, насамперед, це – вологе середовище ($w=20..70\%$), помірна температура ($t=15...30^{\circ}\text{C}$), доступ кисню.

У сухій деревині життя грибів припиняється. За від'ємних температур воно завмирає, проте з відлигою знов відновлюється. Висока температура (понад 80°C) вбиває грибицю, а за нагрівання більше 120°C гинуть спори. Наявність повітря також необхідне для росту грибів. Деревина, що повністю насичена водою або перебуває у воді без доступу повітря, практично не уражується грибами. Неможлива життєдіяльність грибів також в отруєному середовищі.

Боротьба проти гниття деревини полягає у припиненні життєдіяльності грибів з використанням конструктивних і хімічних заходів.

Конструктивні заходи направлені на створення такого температурно-вологісного режиму, за якого забезпечується повітряно-сухий стан деревини на весь час експлуатації. Для цього:

- захищають дерев'яні конструкції від дощової вологи (якісний гідроізоляційний килим покрівель);

- захищають дерев'яні конструкції від капілярної вологи (відокремленням її від бетонних та кам'яних конструкцій бітумною гідроізоляцією, найчастіше шаром толю чи руберойду);

- дерев'яні конструкції повинні спиратися на фундамент вище рівня ґрунту чи підлоги;

- в приміщеннях з вологим режимом ($w=75\%$) поверхню конструкцій ізолюють нанесенням лаку чи фарби;

- в огорожуючих конструкціях деревину захищають від конденсаційної вологи гідро- та пароізоляційними плівками;

- несучі конструкції повинні бути відкритими для провітрювання та періодичного огляду;

- конструкція повинна розміщуватись повністю або в теплом або в холодному середовищі, щоб не допустити утворення конденсату.

До **хімічних заходів** вдаються, коли неможливо уникнути зволоження конструкції в процесі експлуатації. В таких випадках основним захистом від гниття є антисептування, тобто насичення конструкції отруйними для грибів хімічними речовинами.

Як правило, антисептування деревини проводять після її механічної обробки (розпилювання). Вологість дерева не повинна перевищувати 25%, заболонь просочують на 20 мм, ядро – на 5 мм.

Для обробки деревини всередині приміщень використовують переважно водорозчинні антисептики (фтористий та кремнефтористий натрій). Ці антисептики не мають ні кольору, ні запаху й безпечні для людини. Для захисту конструкцій, що експлуатуються на відкритому повітрі,

застосовують маслянисті речовини – кам'яновугільне, сланцеве, антраценове масло інші. Вони не розчиняються і не вимиваються водою, мають різкий запах і особливо отруйні для грибів. При цьому вони досить шкідливі для оточуючих. Тому у місцях з масовим перебуванням людей їх використання обмежується.

Антисептування деревини виконують під тиском в циліндрах, насиченням у ваннах, поверхневим нанесенням.

Деревина може уражуватись також комахами. За великої кількості ходів та отворів несуча здатність конструкції різко знижується. Для захисту від жуків використовують температурний спосіб (нагрівання понад 80°C) або хімічний (обробка токсичними речовинами).

Горіння і захист дерев'яних конструкцій від загорання.

Захист дерев'яних конструкцій від загорання, горіння й пожеж має важливе загальнодержавне значення.

Деревина відноситься до легкозаймистих матеріалів. При температурі 290°C проходить загорання, а при температурі вище 350°C – самозаймання.

Горіння деревини відбувається в результаті її нагрівання до температури, за якої починається термічне розкладання з утворенням горючих газів, що містять вуглець. Таким чином, деревина як органічний матеріал спалима. Однак, завдяки малій теплопровідності, горіння масивних елементів сповільнюється і тим самим зростає *межа вогнестійкості* – дуже важливий показник для успішного гасіння пожежі. Він визначається часом, за якого навантажений елемент зберігає несучу здатність в умовах пожежі. Із збільшенням розмірів перерізу елемента зростає межа його вогнестійкості. Так, брущата балка перерізом $17*17$ см, завантажена до напруг 10 МПа, має межу вогнестійкості 40 хв., протягом цього часу мають бути вжиті заходи з евакуації людей, цінностей та гасіння вогню.

Метою захисту від загорання є підвищення межі вогнестійкості дерев'яних конструкцій, для того щоб вони довше опиралися загорянню й у

процесі горіння не створювали й не поширювали відкритого полум'я. Це досягається заходами конструктивного й хімічного захисту.

Конструктивний захист деревини від загоряння полягає в ліквідації умов, сприятливих для виникнення й поширення пожежі. У конструкціях виробничих будівель згарячими процесами використання деревини є неприпустимим. Дерев'яні конструкції слід віддаляти від печей та інших нагрівальних приладів на належну відстань або встановлювати вогнестійкі бар'єри. Для запобігання поширенню вогню, дерев'яні будинки розділяють на блоки протипожежними перешкодами (брандмауерами) та зонами з вогнестійких конструкцій. Елементи дерев'яних конструкцій повинні бути масивними брусчати́ми або клеєними. Звичайна штукатурка значно підвищує опір дерев'яних стін і стель займанню.

До хімічних заходів захисту вдаються у тих випадках, коли до конструкцій ставляться підвищені вимоги щодо вогнестійкості, наприклад у приміщеннях, де зберігаються легкозаймисті матеріали. Вони полягають в обробці деревини водними розчинами вогнезахисних сполук – *антипіренів*. Ці речовини за високих температур плавляться або розкладаються, покриваючи конструкцію вогнезахисними плівками або газовими оболонками, котрі перешкоджають доступу кисню до деревини тим самим припиняючи процес горіння. До основних антипіренів належать амонійні солі фосфорної та сірчаної кислот.

При обробці поверхонь дерев'яних конструкцій намагаються суміщати нанесення розчинів, що запобігають горінню, з антисептиками.

Слід пам'ятати, що глибоке просочення у циліндрах знижує міцність деревини на 10...20% і це треба враховувати при розрахунку конструкцій.

Межа вогнестійкості деревини характеризується: для бруса 17 x 17 см, навантаженого до напруження 10 Мпа, близько 40 хв.

1. Конструктивний захист дерев'яних конструкцій полягає у ліквідації умов, сприятливих для загорянь, а саме:

- у виробничих будівлях з гарячими процесами застосування деревини заборонено;
- дерев'яні конструкції повинні бути відокремлені від печей і нагрівальних приладів достатніми відстанями або вогнестійкими матеріалами;
- для запобігання поширенню вогню дерев'яні будівлі повинні бути розділені на частини протипожежними перепонами та зонами з вогнестійких конструкцій;
- дерев'яні огорожувальні конструкції не повинні мати порожнин, в яких може поширюватися полум'я, недоступне для гасіння;
- застосування штукатурки.

Тема 3.

КОНСТРУКЦІЙНІ ПЛАСТМАСИ

3.1. Історія розвитку конструкцій із застосуванням пластмас, переваги та недоліки пластмасових конструкцій.

На відміну від дерева – природного матеріалу, який століттями використовується в будівельних конструкціях, – пластмаси та інші синтетичні матеріали почали застосовуватися в будівництві всього кілька десятиліть тому.

Пластмасові конструкції починають свою історію з 1872 р., коли був отриманий перший целулоїд – жорсткий прозорий матеріал.

Вперше пластмаси для будівельних конструкцій почали використовувати за кордоном у 1956–1957 рр., коли у Франції були створені експериментальні суцільні пластмасові житлові будинки (з пінопласту, вініпласту, склопластику). Перша будівля з застосуванням в покритті світлопрозорого поліефірного склопластику було побудовано під Москвою над басейном санаторію Пушкіно в 1963 р.

Пластмаси як конструктивний будівельний матеріал мають істотні переваги і недоліки.

Переваги:

- матеріал легкий (густина до 1500 кг/м^3);
- висока міцність при відносно малій вазі;
- стійкість до агресивного середовища;
- стійкість до гниття.

Недоліки:

- горючий матеріал, мала межа вогнестійкості;
- невелика жорсткість, підвищена деформативність;
- мала поверхнева твердість;
- схильні до старіння;
- дорогі і дефіцитні.

3.2. Основні компоненти пластмас, що використовуються в будівництві.

Основа пластмас-полімери – це високомолекулярні сполуки, молекули яких складаються з багатьох ланок однакової структури.

Отримують полімери від вихідних органічних речовин (мономерів), окремі молекули яких завдяки подвійним або потрійним зв'язкам здатні з'єднуватися з утворенням речовин з багаторазово повторюваною структурою.

В основі технології одержання полімерів лежать два основні методи:

1. полімеризація – з'єднання великого числа молекул мономерів однієї речовини в одну молекулу. Цей процес відбувається без виділення будь-яких низькомолекулярних речовин (хімічний склад полімеру відповідає хімічному складу вихідного мономера);

2. поліконденсація – хімічний процес отримання полімерів з мономерів різних вихідних речовин, що супроводжується виділенням побічних продуктів (води, спирту, та інших).

До складу конструкційних пластмас входить ряд компонентів:

Синтетичні смоли утворюють основну масу матеріалів, служать зв'язуючим аналогічно цементного розчину в бетоні і діляться на два основні класи:

Термопластичні смоли (полівінілхлорид, полістирол, поліетилен тощо); при нагріванні розм'якшуються і стають пластичними, а при охолодженні знову твердіють. Застосовуються для виготовлення листових матеріалів органічне скло (оргскло), вініпласт), клеїв для склеювання, пінопластів, плівок.

Термореактивні (фенолформальдегідні, поліефірні, епоксидні) смоли; переходять з в'язкотекучого в твердий стан тільки один раз – у процесі затвердіння. Цей процес відбувається під дією затверджувача або при нагріванні. Застосовуються для виготовлення склопластиків, пінопластів, клеїв, пластиків.

Нашою промисловістю виробляються різноманітні види смол, але в будівництві застосовують тільки деякі з них:

– поліефірні смоли;

Властивості	Застосування
<ul style="list-style-type: none">- невелика в'язкість,- здатність тверднути при підвищеній і кімнатній температурах без виділення летючих продуктів,- хороші механічні показники в твердому стані,- висока стійкість до дії води, кислот, бензину, масел та інших речовин	<ul style="list-style-type: none">- зв'язуюче при виготовленні склопластиків,- основа для клеїв, лаків, шпаклівок

– *фенолформальдегідні смоли* – продукт конденсації фенолу і формальдегіду в присутності каталізаторів;

Властивості	Застосування
<ul style="list-style-type: none"> - термостійкість, - висока механічна міцність, - хороша адгезія до скляного волокна, целюлозомісткі матеріалами (деревині, папері) 	<ul style="list-style-type: none"> - при виробництві дерев'янистих і паперових пластиків, - фанери, - клеєної деревини

– *епоксидні смоли* – продукт, що отримують при взаємодії багатоатомних фенолів з речовинами, що містять епоксидну групу;

Властивості	Застосування
<ul style="list-style-type: none"> - вироби, виготовлені з них, бензо-, масло- і водостійкі, - мають високу адгезію до великого числа матеріалів 	<ul style="list-style-type: none"> - як зв'язуюче при виготовленні склопластику, - в якості клеїв, герметиків, корозійних та водостійких покриттів

– *сечовино-формальдегідні смоли* – продукт конденсації сечовини з формальдегідом. Твердіння цих смол відбувається при дії органічних кислот, кислих солей;

Властивості	Застосування
<ul style="list-style-type: none"> - розчиняються у воді, але не розчиняються в звичайних органічних розчинниках, - після затвердіння, практично ні в чому не розчиняються 	<ul style="list-style-type: none"> - зв'язуюче в преспорошках, що застосовуються для виготовлення будівельних деталей, - клеї для з'єднання і просочування деталей

– *кремнійорганічні смоли*: у їх складі поряд з органічною частиною присутній і неорганічна речовина – кремній.

Властивості	Застосування
- володіють підвищеною атмосферо- і світлостійкістю	- в якості лаків, емалей, фарб, - для набуття гідрофобних (водо-відштовхувальних) властивостей поверхонь пористих матеріалів (мармуру, тканинам, папері)

Наповнювачі – зменшують витрату зв'язуючого, що знижує вартість готового виробу, і застосовують для поліпшення механічних і технічних властивостей. Можуть бути неорганічного й органічного походження. Їх вводять у вигляді порошків, волокон, листів (древянисте борошно, скляні і азбестові волокна, папір, бавовняні і скляні тканини).

Пластифікатори – речовини, що зменшують крихкість готового матеріалу, збільшують його гнучкість і еластичність, покращують умови переробки пластмас.

Стабілізатори – речовини, що допомагають зберегти механічні властивості пластмас у часі і знижують швидкість руйнування під впливом атмосферних умов, підвищеної температури, світла і т.д.

Прискорювачі – речовини, що прискорюють затвердіння.

Каталізатори – речовини, які не беруть участь в твердінні, але присутність яких необхідна для протікання процесу затвердіння.

Антистатики – речовини, що запобігають накопиченню на матеріалі статичного електричного заряду.

Інгібітори – речовини, що уповільнюють процес затвердіння.

Барвники вводять в масу матеріалу для додання кольору.

Пороутворювачі – добавки для отримання газонаповнених матеріалів (пінопластів).

3.3. Основні види конструкційних пластмас.

Конструкційні пластмаси в будівництві застосовують у складі елементів несучих та огорожуючих конструкцій порівняно недавно. До них відносяться:

- склопластики;
- пінопласти;
- оргскло;
- вініпласт;
- повітро- і водонепроникні тканини і плівки;
- дерев'яністи пластики.

Склопластики – це листовий матеріал з скляних волокон або тканин, зв'язаних синтетичною смолою.

Скляні волокна (наповнювач) служать армуючими елементами: вони сприймають основні навантаження при роботі матеріалів конструкцій. Смола не тільки пов'язує скляні волокна, а й розподіляє зусилля між ними, захищає матеріал від зовнішніх впливів.

Залежно від виду і розташування наповнювача склопластики розрізняють:

– *Склопластики на основі орієнтованих волокон.* Волокна, у вигляді окремих волокон, склониток, скложгутів безперервної довжини розташовані шарами по товщині матеріалу. Скловолокна розташовуються в одному або двох взаємно перпендикулярних напрямках у кількості до 70% від маси. Застосовують для виготовлення невеликих болтів, фасонок, профільних та інших деталей конструкцій, що експлуатуються в хімічно агресивному середовищі. З них можуть виготовлятися і несучі конструкції.

– *Склопластики на основі рубаних волокон.* Випускаються у вигляді світлопрозорих хвилястих або плоских листів. Кількість рубаного скловолокна – близько 25% за масою. Товщина листів – від 1,5 до 2,5 мм, ширина – до 1,5 м, довжина – до 6 м. Хвилі мають крок 60–200 мм, висоту –

від 14 до 54 мм, можуть розташовуватися вздовж і впоперек аркуша. Застосовують в основному для покрівлі, також у світлопрозорих панелях як огорожень сходів, балконів і бар'єрів, для прозорих навісів і перегородок, при влаштуванні верхнього світла, в заповненнях віконних плетінь і дверних прорізів.

– *Склопластики на основі тканини (склотекстоліти)* – 26–45% у таких склопластиках становить зв'язуюче: феноло-формальдегідні, поліефірні смоли. Наповнювачем служать склотканини, сітки. Застосовують для виготовлення тришарових панелей, оболонок та інших конструкцій. Міцні, тонкі повітро- і водонепроникні тканини використовують в пневматичних і тентових покриттях. З полімерних плівок здійснюють тимчасові покриття закритого ґрунту.

– *Склопластики на основі скломатів і скловоолоку.* Зв'язуюче- феноло-крезоло-формальдегідні полімери з додаванням гіпсу. Такі склопластики дешеві. Застосовують для обшивки тришарових стінових панелей і для виготовлення мало напружених конструкцій деталей, оскільки вони володіють невеликою міцністю на розтяг.

Пінопласти – це комірчасті газонаповнені конструкційні пластмаси. Вони являють собою нетверду піну, що складається з маси замкнутих осередків, заповнених повітрям або нешкідливим газом. Наповнювачами є гази, що виділяються в процесі піноутворення.

Марки пінопластів	ПС-1, ПС-4, ПСБ, ППХ-1	Пінополіуритан, ППУ-101, пінополіфенолформальдегід ФРП
Зв'язуючі	термопластичні смоли: полістирол, полівінілхлорид	термореактивні смоли: фенолформальдегідні, уретанові

Пінопласти утворюються шляхом гарячого вспінювання термопластичних смол або введенням затверджувачів і піноутворювачів до складу термореактивних смол в процесі їх твердіння.

Властивості:

- найбільш легкий конструкційний матеріал (30–100 кг/м³);
- міцність їх мала: 0,2–0,5 МПа (стиск), 0,1–0,7 МПа (зсув);
- дуже ефективний теплоізоляційний матеріал;
- бувають горючими (ПС-1, ПС-4); важкозаймистими і самозатухаючими (ПСБ).

Застосовують для шаруватих плит, панелей покриттів і стін.

Органічне скло (оргскло) – матеріал, що повністю складається з термопластичної смоли поліметилметакрилату без будь-яких наповнювачів і виготовляється у вигляді листів або плит.

Властивості:

- достатня міцність при згині (до 10 МПа);
- обмежена жорсткість і твердість;
- поверхня легко пошкоджується;
- горючість;
- високий ступінь прозорості (до 95%).

Застосовують для створення світлопрозорих ділянок в покриттях і стінах. Мала теплостійкість оргскла дозволяє формувати з нагрітих аркушів гнучкі поверхні ліхтарів.

Вініпласт, як і оргскло, повністю складається з термопластичної смоли без наповнювачів. Виготовляється у вигляді плоских або хвилястих аркушів товщиною до 2 мм і шириною до 120 см.

Властивості вініпласту близькі до властивостей оргскла. Основні переваги:

- самозагасаємість;

- висока стійкість в хімічно агресивних середовищах;
- відносно низька вартість.

Застосовують в конструкціях, що працюють в хімічно агресивних середовищах.

Повітряно- і водонепроникні тканини і плівки – матеріал, що складається:

– з технічного текстилю-міцнісна основа тканин. Технічний текстиль виготовляється з високоміцних синтетичних волокон:

- полімерних волокон типу капрон;
- поліефірних волокон типу лавсан;

– з еластичних покриттів (забезпечують повітронепроникність тканин, служать для зв'язку ниток і текстилю шарів між собою, уповільнюють процес старіння). Як покриття застосовують гуму на основі синтетичних каучуків, еластичний пластифікований полівінілхлорид.

Текстиль має полотняне переплетення. Більш міцні нитки розташовуються уздовж рулону, а менш міцні – поперек нього.

Промисловість випускає наступні повітронепроникні тканини:

- одношарові У-93;
- двошарові У-92, 109 Ф;
- тришарові 110 Ф.

Застосовують для виготовлення пневматичних конструкцій:

- повітряноопорних пневмооболонок;
- пневмовантових конструкцій;
- пневмокаркасних конструкцій.

Повітряноопорні пневмооболонки – складаються з тканинної оболонки, опорного контуру, вхідного шлюзу, повітродувної установки. Повітряноопорні оболонки можуть утворювати покриття прольотом до 60 м. Вони мають невелику масу (1 кг/м), можуть перевозитися будь-яким

видом транспорту в складеному вигляді і встановлюватися на опорний контур в лічені дні.

Пневмовантові конструкції – представляють собою таку ж повітряноопорну оболонку, до складу якої включені сталеві троси – ванти, які сприймають основну частину зусиль, що діють в оболонці, і тому прольоти пневмовантових конструкцій можуть бути значно більше і досягати 100 м.

Пневмокаркасні конструкції – складаються з пневмоелементів: пневмостійок, пневмобалок, пневмоарок, які представляють собою герметично замкнуті балони з особливо міцної повітронепроникної тканини. Вони можуть служити стійками, балками, арками невеликих (до 12 м) прольотів.

Дерев'яністі пластики – матеріали, отримані з'єднанням продуктів переробки натуральної деревини синтетичними смолами. До них відносяться:

- -деревинношаруваті пластики;
- -група ДСП.

Деревинно-шаруваті пластики – листи або плити, виготовлені з тонкого лушеного шпону, просоченого і склеєного формальдегідними полімерами термореактивного типу при високій температурі і під великим тиском.

Деревинно-шаруваті пластики маркуються:

ДСП – А	у всіх листах шпону волокна деревини розташовані паралельно або через 4 шари з паралельними волокнами укладають один шар під кутом 20–25
ДСП – Б	через 8–12 шарів укладають один шар перпендикулярно;
ДСП – В	всі шари шпону перпендикулярні;
ДСП – Г	в суміжних шарах волокна деревини шпону розташовані під кутом в 45°.

До групи ДСП відносяться:

Балиніт – пластик, отриманий з шпону, вилужений в розчині їдкого натрію і просочений фенолформальдегідною смолою.

Арктіліт – армований пластик, отриманий з шпону, шари якого чергуються з шарами тканини та металевої сітки.

Деревостружкові плити (марки ПС і ПТ) отримують гарячим пресуванням під тиском деревних стружок, просочених термореактивними смолами: фенолформальдегідними, мочевиноформальдегідними та ін. Кількість смоли становить 10%, деревної стружки – 90%. Застосовують у будівництві у якості перегородок та для декоративного оздоблення стін і стель.

Деревоволокнисті плити (ДВП) отримують шляхом гарячого пресування волокнистої маси, що складається з органічних, переважно целюлозних волокон, води, наповнювачів, синтетичних полімерів і деяких спеціальних добавок. Сировиною служать відходи деревообробної промисловості, які розмелюють до волокнистого стану. Застосовують у будівництві у якості перегородок та для декоративного оздоблення стін і стель.

3.4. Фанера.

Фанера – це листовий матеріал, що складається з непарної кількості шарів тонкого шпону ($\delta \approx 1$ мм) берези або модрини, які одержують луценням прямолінійних відрізків стовбура дерева. Волокна сусіднього шару шпону розташовуються у взаємно перпендикулярному напрямку.

Класифікація фанери.

1. Клеєна фанера:

- марки ФСФ – фанера на смоляному фенолформальдегідному клеї;
- марки ФК – фанера на карбамідному клеї;
- марки ФБА – на альбумін-казеїновому клеї;

2. Бакелізована фанера:

- марки ФБС – фанера бакелізована з просоченням зовнішніх шарів і намазуванням внутрішніх шарів спірторозчинними смолами;
- марки ФБ (С) В – з просоченням зовнішніх шарів спірторозчинними смолами і намазуванням внутрішніх шарів водорозчинними смолами.

Бакелізовану фанеру виготовляють з листів березового лушеного шпону, що склеюють між собою синтетичними смолами і бакелітовим лаком. Це найбільш міцний та водостійкий тип фанери. Бакелізовану фанеру склеюють при відносно високому тиску, що підвищує її стійкість і густину та надає таким конструкціям особливу формостійкість. Застосовується в конструкціях, які працюють в особливо несприятливих умовах з високою вологою.

3. Облицювальна фанера – облицьована з однієї або з двох сторін струганим шпоном з деревини цінних порід з красивою текстурою, тому використовується для обробки приміщень. Марки облицювальної фанери:

- ФОК – фанера облицювальна, склеєна карбамідним клеєм;
- ФОФ – фанера облицювальна, склеєна фенолформальдегідним клеєм.

- Декоративна – звичайна фанера, облицьована плівковими покриттями, іноді в поєднанні з декоративним папером. На відміну від облицювальної фанери поверхню листів можна мити холодною і теплою водою;

- Армована – фанера, в якій між шарами шпону розташована металева сітка, або поверхня якої облицьована з однієї або двох сторін тонким шаром (0,4–0,6 мм) металу: сталі, цинку, алюмінію. Застосовують в конструкціях особливо важливих споруд, теплопровідних і світловідбивних частинах будинків.

- Гофрована – фанера, якій в процесі пресування надається хвиляста форма. Така форма забезпечує підвищену жорсткість листа. Застосовують в якості покрівельного матеріалу без додаткових елементів жорсткості;

- Покрівельна – фанера, яку одержують зі звичайних листів фанери, що покриваються одним або двома шарами толю. Застосовують в якості покрівельного матеріалу.

3.5. Основні напрямки ефективного використання конструкцій з пластмас в будівлях та спорудах.

Полімерні матеріали та пластмаси, що використовуються в різних галузях господарства, дозволяють економити метал, дерево, скло, цемент та інші традиційні матеріали. Основні напрямки ефективного використання конструкцій з пластмас в будівлях та спорудах – зниження їх маси, покращення транспортування легких огорожуючих конструкцій та підвищення стійкості до агресивних зовнішніх середовищ. Внаслідок низького модуля пружності полімерних матеріалів вони ефективні тільки в конструкціях, де максимально використовується їх високоміцні властивості та невеликий вплив їх деформативності. Ефективними є будівельні конструкції з використанням пластмас, багатошарових прямолінійних чи криволінійних огорожуючих панелей, просторових форм одинарної та подвійної кривини (куполи, оболонки та інші), а також прозорих огорожуючих панелей. Конструкції із склопластиків та підсилених поліетиленових труб і профілів широко використовуються в агресивних середовищах. Пневматичні та тентові конструкції, основою яких є полімерна оболонка з тканини та плівки, що підтримуються надмірним тиском повітря чи системою вантів, використовуються для зведення складів, зерносховищ, павільйонів різного призначення, спортивних залів тощо.

Конструкції із пластмас повинні задовольняти вимогам розрахунку за несучою здатністю і деформаціями. Розрахунок елементів із пластмас проводять за формулами, що використовуються для розрахунку елементів дерев'яних конструкцій. Розрахункові опори пластмас та розрахункові фізичні характеристики склопластиків наведені в нормативній базі (ДБН В.2.6-161:2017). Для розрахунку конструкцій, які експлуатуються в умовах безпосередньої дії зовнішнього атмосферного середовища, до розрахункових опорів та модулів пружності застосовують коефіцієнти умов роботи. Розрахунок конструкцій із пластмас за дії короточасних навантажень

(вітрове навантаження, монтажне навантаження) проводять за короткочасними розрахунковими опорами R_k та короткочасними модулями пружності E_k . Розрахунок пластмасових конструкцій за дії тривалих навантажень (постійне навантаження, навантаження від стаціонарного обладнання, снігове навантаження), а також за сумісної дії тривалих та короткочасних навантажень виконують з використанням тривалих розрахункових опорів R та тривалих модулів пружності E .

Тема 4.

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ РОЗРАХУНКУ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ГРАНИЧНИМИ СТАНАМИ

4.1. Передумови для проектування дерев'яних конструкцій.

Дерев'яні конструкції доцільно використовувати в будівлях і спорудах промислового, цивільного та сільськогосподарського будівництва. У промисловому будівництві дерев'яні конструкції можуть бути застосовані в одноповерхових будівлях 4 та 5 класів вогнестійкості, а також у будівлях 2-го та 3-го класу вогнестійкості зі змішаним каркасом. В цивільному будівництві доцільно використовувати дерев'яні конструкції для спорудження житлових будинків та покриття виставочних павільйонів, басейнів, спортивних та громадських будівель, споруд тощо. Дерев'яні конструкції у сільськогосподарському будівництві можуть бути використані в одноповерхових будівлях виробничих та складських приміщень. У покриттях по кроквяних конструкціях допускається влаштування підйимально-транспортного обладнання вантажопід'ємністю, до 32 кН. Дерев'яні конструкції проектуються на основі відповідних розділів ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції. Основні положення» [1] та інших нормативних документів, рекомендацій, інструкцій. Несучі дерев'яні конструкції рекомендується виконувати з масивної суцільної чи клеєної деревини, переважно прямокутного перерізу як більш вогнестійкого та

технологічного. Для дощатоклеєних прямолінійних елементів необхідно використовувати пиломатеріали товщиною не більше 50 мм, а для гнуктоклеєних товщиною не більше $1/150$ радіусу згину та не більше 40 мм. Проектувати дерев'яні конструкції необхідно з урахуванням умов їх експлуатації, виготовлення, транспортування та монтажу, передбачаючи необхідні заходи по забезпеченню їх довговічності. При виборі конструктивної схеми та виконанні загальної компоновки будівлі необхідно віддавати перевагу покриттям без ліхтарів з боковим освітленням і організацією зовнішнього водовідводу з покриття.

4.2. Принцип розрахунку за граничними станами.

Дерев'яні конструкції розраховують за єдиним для всіх будівельних конструкцій методом граничних станів.

Граничний стан – це такий стан конструкцій, при якому їхня подальша експлуатація стає неможливою. Розрахунок дерев'яних конструкцій виконується за двома граничними станами.

1. Граничний стан першої групи – за несучою здатністю (міцністю або стійкістю);

2. Граничний стан другої групи – за деформаціями.

Основна вимога при розрахунках дерев'яних конструкцій полягає в тому, щоб величина зусиль (напружень) або деформацій від зовнішніх сил не перевищувала граничних значень, установлених будівельними нормами і правилами. Якщо ця вимога не виконана, то виникає небезпека зниження експлуатаційної надійності споруди.

Навантаження, що можуть діяти на конструкцію при її нормальній експлуатації називають – розрахункові експлуатаційні навантаження і визначають шляхом множення характеристичних значень навантажень g на коефіцієнт надійності за навантаженням γ_{fe} , які встановлюють за ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» та позначають g_e . Розрахункові граничні навантаження g_t отримують шляхом множення характеристичних значень

навантажень g на коефіцієнт надійності за навантаженням γ_{fe} . Розрахункові зусилля в елементах і вузлах конструкцій визначаються методами будівельної механіки

Розрахунок конструкцій за першим граничним станом виконують за розрахунковим, за другим граничним станом – за нормативним навантаженням, що є вихідними величинами й основними характеристиками навантажень. Коефіцієнти, що враховують можливе збільшення нормативних навантажень унаслідок їхньої мінливості, називаються коефіцієнтами безпеки за навантаженням (γ_s). Іншими словами, розрахункові навантаження одержують шляхом множення нормативних навантажень на коефіцієнти безпеки за навантаженням. Навантаження при розрахунках конструкцій приймають у сполученнях, що враховують можливу одночасну дію тих чи інших навантажень:

- в основних сполученнях, що складаються з навантажень, які постійно діють на споруди, і навантажень тимчасових, які регулярно діють при експлуатації споруд;

- у додаткових сполученнях, що складаються з комбінацій навантажень, які входять в основні сполучення, з навантаженнями, що нерегулярно виникають при експлуатації споруд;

- в особливих сполученнях, що складаються з комбінацій навантажень, які входять в основні й додаткові сполучення, з навантаженнями, що мають аварійний характер і виникають винятково в поодиноких випадках.

При проектуванні дерев'яних конструкцій необхідно передбачити заходи по захисту деревини від гниття та горіння. Сталеві елементи дерев'яних конструкцій необхідно виготовляти із сталей у відповідності зі ДБН В.2.6-163:2010 «Конструкції будинків і споруд. Сталеві конструкції», а арматурні елементи – зі ДБН В.2.6-98:2010 «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції».

Граничними називають такі стани конструкцій, з настанням яких вони перестають задовольняти вимогам, що пред'являються до них в процесі експлуатації, а також при транспортуванні і монтажі.

До *I групи граничних станів* відносяться граничні стани, при яких конструкція втрачає здатність чинити опір зовнішнім навантаженням та стає непридатною для експлуатації. До I групи належать наступні граничні стани:

- втрата сталості положення;
- крихке, в'язке, втомлене або інший тип руйнування;
- руйнування внаслідок спільної дії силових факторів та несприятливого впливу навколишнього середовища (вплив агресивного середовища та ін.)

Граничний стан першої групи включає в себе наступні розрахунки:

- по міцності, щоб запобігти крихкому, в'язкому, втомному та іншому характеру руйнування;
- по втраті стійкості форми конструкцій (розрахунок на загальну і місцеву стійкість);
- по втраті стійкості положення конструкцій (розрахунок на перекидання і ковзання).

До *II групи відносяться граничні стани*, які утруднюють нормальну експлуатацію конструкцій або знижують їх довговічність. Сюди належить виникнення недопустимих переміщень (прогини, осідання, кути повертання), недопустимих тріщин, коливань і т.п.

Задача розрахунку дерев'яних конструкцій – не допустити настання будь-якого граничного стану на протязі всього строку експлуатації будівель та споруд, в тому числі і при їх монтажі. Виконання цієї умови досягається тим, що при розрахунках конструкцій враховуються:

1. найбільш несприятливі навантаження;
2. несприятливі механічні характеристики матеріалів;

3. умови експлуатації конструкцій. Можливі відхилення від передбачених умов роботи конструкцій враховуються пониженням (а іноді і підвищенням) розрахункових опорів шляхом їх множення на коефіцієнти умов роботи;

4. ступінь відповідальності та капітальності будівель і споруд, а також значимість наслідків досягнення будь-якого граничного стану.

Таким чином, у розрахунках за граничними станами використовують цілу систему коефіцієнтів надійності, які диференційовано враховують численні фактори, що впливають на роботу конструкцій, на відміну від методу розрахунку за допустимими напруженнями, де використовують єдиний коефіцієнт запасу, яким неможливо врахувати всі фактори.

4.3. Нормативні та розрахункові навантаження.

При проектуванні потрібно враховувати навантаження, що виникають під час зведення та експлуатації споруд, а також при виготовленні, зберіганні та транспортуванні будівельних конструкцій згідно з ДБН В.1.2-2:2006 [3].

Прийнята класифікація навантажень забезпечує можливість розрахунку будівельних конструкцій з урахуванням необхідних розрахункових ситуацій і граничних станів, а саме:

а) перевірку міцності, стійкості та інших критеріїв несучої здатності при одноразовому навантаженні в екстремальних умовах експлуатації;

б) перевірку жорсткості та тріщиностійкості в режимі нормальної експлуатації, що відповідає перевірці граничних станів;

в) перевірку витривалості при повторних навантаженнях (стабільна розрахункова ситуація);

г) урахування повзучості матеріалів та інших реологічних процесів при дії постійних і тривалих навантажень (стабільна розрахункова ситуація). Залежно від причин виникнення, навантаження і впливи поділяють на *основні* (які з'являються як результат природних явищ або людської діяльності) та *епізодичні* (які реалізуються надзвичайно рідко, один або декілька разів

протягом терміну служби споруди, і тривалість дії яких обмежується у часі коротким терміном. Як правило, епізодичними є аварійні навантаження і впливи).

Залежно від змінюваності у часі впливи поділяють на *постійні* (які діють, практично не змінюючись протягом терміну служби споруди) та *змінні* (для яких не можна нехтувати зміною його значення у часі щодо середнього).

Залежно від тривалості неперервної дії змінні навантаження і впливи поділяють на *тривалі, короткочасні та епізодичні*.

Навантаження, що виникають при виготовленні, зберіганні та перевезенні конструкцій, а також при зведенні споруд, слід враховувати при розрахунках як короткочасні.

Основою для призначення навантажень є їхні *характеристичні* значення. Для перевірки граничних станів першої групи використовують *граничні розрахункові* значення навантажень.

Сполучення навантажень формуються як набір їхніх розрахункових значень або відповідних їм зусиль і/або переміщень, що використовується для перевірки конструкції або основи у певному граничному стані та в певній розрахунковій ситуації. Припускають, що всі навантаження в обраному сполученні одночасно впливають на об'єкт розрахунку.

До сполучення повинні входити навантаження, які найбільш несприятливо впливають на конструкції (основи) з точки зору граничного стану, що розглядається. Впливи, які взаємно виключають один одного, не можуть входити до одного сполучення.

У розрахунках конструкцій можуть бути використані сполучення двох типів – основні та аварійні.

Для перевірки граничних станів першої групи використовують основні сполучення, які містять постійні навантаження із граничними розрахунковими значеннями, граничні розрахункові, циклічні або квазіпостійні значення змінних навантажень.

Для перевірки граничних станів другої групи використовують основні сполучення, які містять постійні навантаження із експлуатаційними розрахунковими значеннями, а також експлуатаційні розрахункові, циклічні або квазіпостійні значення змінних навантажень.

До аварійного сполучення, крім постійних і змінних навантажень, може входити тільки один епізодичний вплив.

4.4. Основні розрахункові характеристики матеріалів.

Крім навантажень при розрахунку будівельних конструкцій необхідно знати основні розрахункові характеристики матеріалів: розрахункові опори, модулі пружності, модулі зсуву матеріалів, а також їхні показники поперечної деформації (коефіцієнти Пуассона). Розрахунковий опір R – це граничне напруження в матеріалі реальних елементів конструкцій, що відрізняються від стандартних зразків розмірами і наявністю вад і дефектів у дозволених нормах меж. Крім того, розрахунковий опір враховує також вплив тривалості дії навантажень і умов експлуатації.

Дерев'яні конструкції повинні задовільняти вимогам розрахунку за несучою здатністю та за деформаціями. Розрахункова величина опору визначається за ДБН В.2.6-161:2017 [1].

Дерев'яні конструкції поділяють на 3 експлуатаційні класи.

1. Експлуатаційний клас характеризується вологістю матеріалів, що відповідає температурі 20С і відносній вологості навколишнього повітря, що перевищує 65%, тільки декілька тижнів протягом року. (Вологість деревини не перевищує 12%).

2. Експлуатаційний клас характеризується вологістю матеріалів, що відповідає температурі 20С і відносній вологості навколишнього повітря, що перевищує 85%, тільки декілька тижнів протягом року. (Вологість деревини не перевищує 20%).

3. Експлуатаційний клас характеризуються кліматичними умовами, що приводять до вищої вологості ніж для класу 2.

При сполученні навантажень, які складаються з дій, що належать до різних класів тривалості навантаження, приймають значення, яке відноситься до дії з найкоротшою тривалістю. Розрахунковий опір для листяних порід деревини встановлюється за значеннями, які зазначені в ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції. Основні положення» [1]. До розрахункових значень також вводять додаткові коефіцієнти умов роботи, які враховують умови експлуатації, вид деформацій, особливості експлуатації та виготовлення конструкцій, тощо. Вони також наведені в ДБН В.2.6-161:2017. Для суцільної деревини з прямокутним перерізом та за густини $\rho_k \leq 700 \text{ кг/м}^3$ базова висота перерізу за згину або ширина за розтягу прийнята 150 мм. При висоті перерізу із суцільної деревини за згину чи ширині за розтягу менше 150 мм експлуатаційні значення $f_m, k, f_{t,0}, k$, можуть бути збільшені на коефіцієнт k_h . Модуль пружності деревини уздовж волокон незалежно від породи приймається $E=10000 \text{ МПа}$. Це значення отримано шляхом зниження в 1,5 рази модуля пружності ($E = 15000 \text{ МПа}$), отриманого з короточасних випробувань зразків деревини; поперек волокон $E_{0,90}=400 \text{ МПа}$.

Тема 5.

РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

5.1. Розрахунок дерев'яних елементів.

Елементами дерев'яних конструкцій є дошки, бруси, бруски, колоди суцільних перерізів з розмірами, зазначеними в сортаментах лісоматеріалів. Вони можуть бути окремими конструкціями, наприклад балками чи стійками, а також бути елементами більш складних конструкцій. У результаті розрахунку розв'язуються наступні практичні задачі проектування дерев'яних конструкцій:

- перевірка міцності і прогину елемента;
- підбір перерізів при проектуванні нових дерев'яних конструкцій;
- визначення несучої здатності елемента.

Перевірка міцності і прогину елемента полягає у визначенні напружень у перерізах, які не повинні перевищувати розрахункових опорів деревини, а також його прогинів, які не повинні перевершувати граничних, що допускаються нормами.

Підбір перерізів при проектуванні нових дерев'яних конструкцій полягає у визначенні таких розмірів елемента, при яких його міцність і стійкість будуть достатні для сприймання діючих зусиль, а прогини будуть не більше граничних.

Визначення несучої здатності елемента в процесі обстеження конструкцій під час їхньої експлуатації. Для цього визначають найбільші навантаження і зусилля які може витримувати елемент відомих розмірів, щоб при цьому розрахункові опори деревини і граничні прогини не були перевищені.

Дерев'яні елементи розраховують на розтяг, стиск, згин, розтяг чи стиск із згином, зминання і сколювання відповідно до ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції. Основні положення» [1].

5.2. Розрахунок центрально-розтягнутих елементів.

Розтягнуті елементи – це нижні пояси ферм, затяжок арок і деякі стержні інших наскрізних конструкцій. Робота дерев'яних елементів на розтяг є найбільш відповідальною, оскільки вони руйнуються майже миттєво, без помітних попередніх деформацій.

Залежність деревини при розтягуванні $\sigma(\varepsilon)$ близька до лінійної (рис. 5.1).

Руйнування розтягнутих елементів відбувається крихко, у вигляді майже миттєвого розриву найменш міцних волокон по пилкоподібній поверхні без помітних попередніх деформацій. Тому робота дерев'яних елементів при розтягуванні є найбільш відповідальною і розтягнуті

елементи треба виготовляти, як правило, з найбільш міцної деревини 1 сорту. Але за відсутності такого матеріалу допускається в мало напружених елементах застосовувати деревину 2 сорту.

Міцність розтягнутих елементів у тих місцях, де вони ослаблені отворами або врізками, знижується в результаті додаткової концентрації напружень у їх країв. Це враховується коефіцієнтом $m_o=0,8$ до розрахункового опору деревини.

При наявності послаблень в межах довжини дорівнює 20 см в різних перетинах поверхню розриву завжди проходить через них. Тому при визначенні ослабленої площі перерізу всі послаблення на цій довжині підсумовуються, як би поєднуються в одному перетині (рис. 5.1, г).

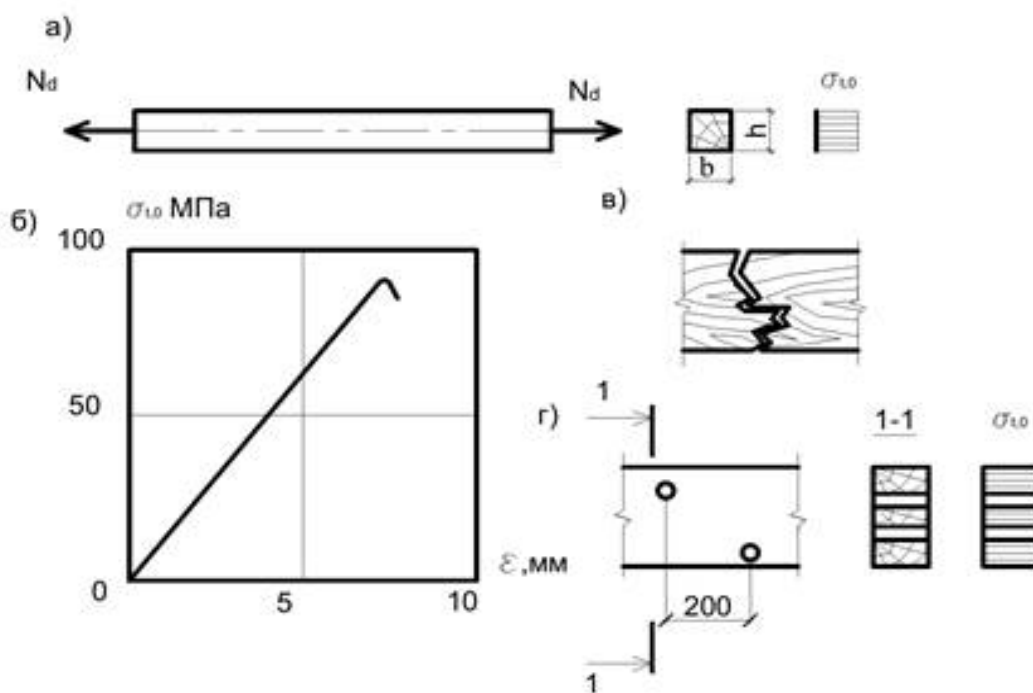


Рисунок 5.1 Розтягнутий елемент:

- а – схема роботи; б – діаграма деформування чистої без вад деревини при короткочасному розтягуванні; в – схема руйнування;
- г – епюри напружень при наявності послаблень

Розрахунок центрально-розтягнутих елементів виконують за формулою:

$$\sigma_{t.o.d} \leq f_{t.o.d} \quad (5.1)$$

$\sigma_{t.o.d}$ – розрахункові напруження розтягу деревини вздовж волокон,

$f_{t.o.d}$ – розрахунковий опір розтягу вздовж волокон.

$$\sigma_{t.o.d} = \frac{N_d}{A_{net}} \quad (5.2)$$

N_d – граничне розрахункове поздовжнє зусилля від зовнішнього навантаження;

A_{net} – площа поперечного перерізу елемента нетто.

При визначенні A_{net} , послаблення, відстань між якими не перевищує 15 см, розглядають сполученими в одному перерізі, але при цьому послаблення не повинно перевищувати 50% площі поперечного перерізу A .

Міцність розтягнутих елементів у тих місцях, де вони ослаблені отворами чи врізками, знижується додатково в результаті концентрації напружень у їхніх країв.

При наявності послаблень у межах ділянки довжиною 15 см у різних перерізах поверхня розриву завжди проходить через них. Тому, при визначенні послабленої площі перерізу A_{net} , всі послаблення на цій довжині підсумовуються, як би суміщають в одному перерізі.

Розрахунок на міцність розтягнутих елементів проводиться на розтягуючу силу N від розрахункових навантажень.

По 2-й групі граничних станів (за деформаціями) розтягнуті елементи не перевіряються.

5.3. Розрахунок центрально-стиснутих елементів.

На стиск в дерев'яних конструкціях працюють стійки, підкоси, верхні пояси і окремі стрижні ферм та інших наскрізних конструкцій.

Деревина працює на стиск більш надійно, ніж на розтяг, але не цілком пружно. Приблизно до половини межі міцності деревина працює пружно, а зростання деформацій відбувається за законом, близьким до лінійного. При подальшому збільшенні напруження деформації ростуть швидше, ніж напруження, вказуючи на пружно-пластичну роботу деревини. Руйнування зразків відбувається пластично в результаті втрати місцевої стійкості, про що свідчить характерна складка на зразку. При втраті стійкості стиснутий елемент вигинається в бік (рис. 5.3, б). При подальшому збільшенні напруження відбувається вигин на ввігнутій стороні складки, що свідчить про руйнування деревини від стиску, а на опуклій стороні деревина руйнується від розтягу. Тому стислі елементи працюють більш надійно, ніж розтягнуті, і руйнуються лише після помітних деформацій.

Вади реальної деревини менше знижують міцність стиснутих елементів, тому що самі сприймають частину стискаючих напруг. Тому, стислі елементи рекомендується виготовляти з деревини II сорту.

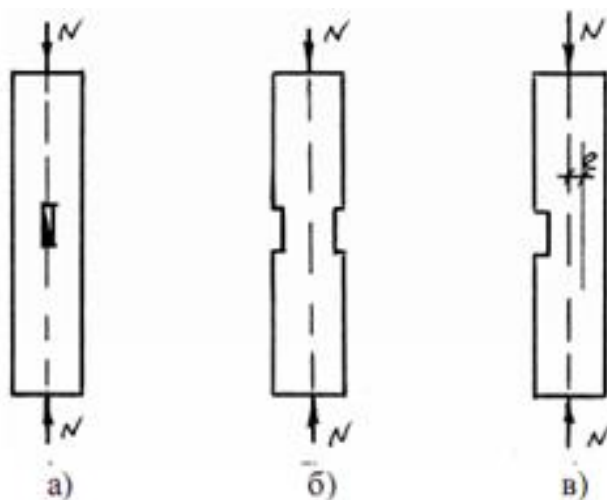


Рисунок 5.2 Послаблення стиснутих елементів: а – не виходять на ребро;

б – виходять на ребро; в – несиметрично послаблених

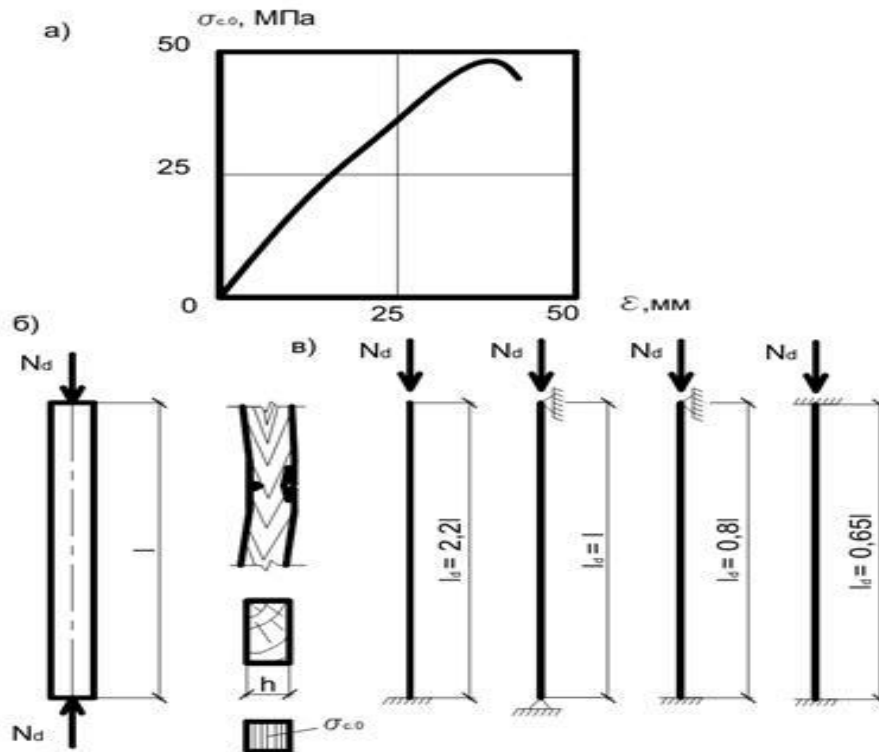


Рисунок 5.3 Стиснутий елемент: а – діаграма деформування чистою від вад деревини; б – схема роботи, руйнування і епюра напружень; в – типи закріплення кінців і розрахункові довжини

Розрахунок центрально-стиснутих елементів проводиться:

- за міцністю:

$$\sigma_{t.o.d} \leq f_{c.o.d} \quad (5.3)$$

$\sigma_{t.o.d}$ – розрахункове напруження стиску вздовж волокон,

$f_{c.o.d}$ – розрахунковий опір стиску вздовж волокон.

- на стійкість:

$$k_{c.y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel.y}^2}} \quad (5.4)$$

$$k_{c.z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel.z}^2}} \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} k_y &= 0,5(1 + \beta_c(-0.3) + \lambda_{rel.y}^2) \\ k_z &= 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2) \end{aligned} \quad (5.6)$$

β_c – коефіцієнт для елементів у межах прямолінійності приймається рівним: для суцільної деревини – 0,2; для клеєної деревини – 0,1; $\lambda_{rel.y}$, $\lambda_{rel.z}$ – відносна гнучкість елемента відносно осей Y та Z:

Відносні гнучкості:

$$\lambda_{rel.y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c.o.k}}{E_{0.05}}} \quad (5.7)$$

$$\lambda_{rel.z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c.o.k}}{E_{0.05}}} \quad (5.8)$$

де $E_{0,05}$ – п'ятивідсоткова величина модуля пружності.

Гнучкість $\lambda = \frac{l_d}{i}$ залежить від розрахункової довжини елемента і радіусу інерції перерізу елемента в напрямку відповідної осі:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Розрахункову довжину слід визначати множенням його вільної довжини l на коефіцієнт, що враховує закріплення елемента і навантаження, що діє на елемент (рис. 5.2, в).

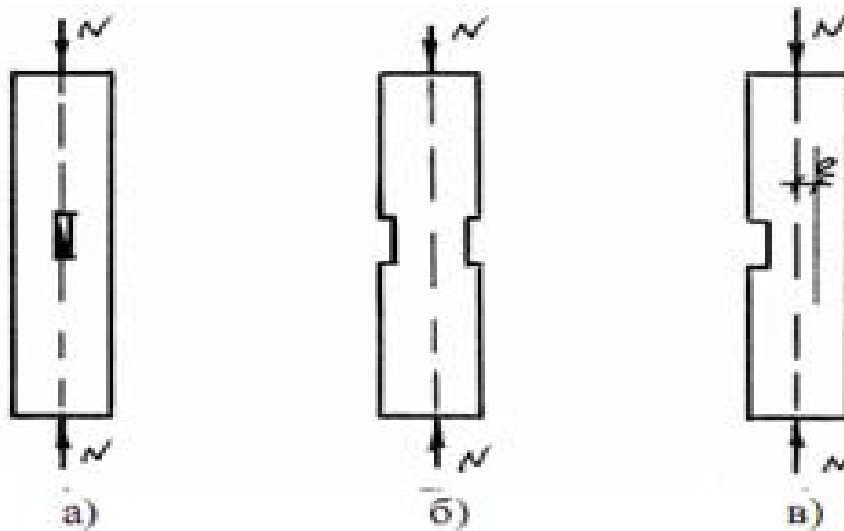


Рисунок 5.4 Послаблення стиснутих елементів: а – не виходять на ребро; б – виходять на ребро; в – несиметрично послаблених

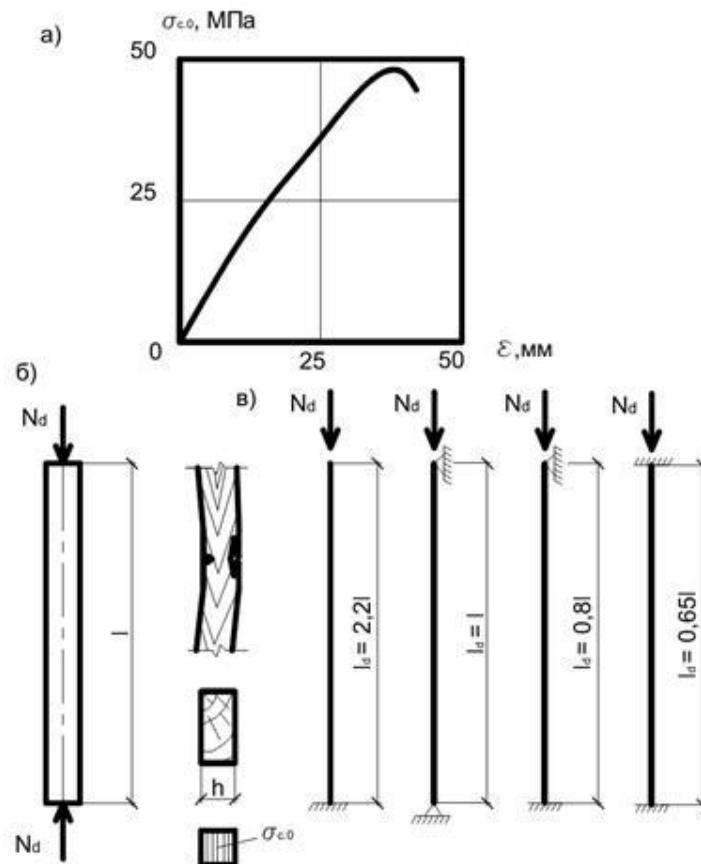


Рисунок 5.5 Стиснутий елемент: а – діаграма деформування чистою від вад деревини; б – схема роботи, руйнування і епюра напружень; в – типи закріплення кінців і розрахункові довжини

Слід мати на увазі, що гнучкість стиснутих елементів не повинна бути більше таких граничних значень:

- для основних елементів конструкцій (пояса, опорні розкоси і стояки ферм, колони, арки і т.д.) – 120;
- для другорядних елементів (проміжні стояки і розкоси ферм і т.д.) – 150;
- для елементів зв'язків – 200.

5.4. Розрахунок елементів, які працюють на згин.

Дерев'яні елементи, які працюють на згин – це балки перекриття, прогони, кроквяні ноги, настили, лати, обшивки – дуже поширені частини будівель та споруд. У згинальних елементах від навантажень виникають згинальні моменти M і поперечні сили Q . Від дії згинального моменту в перерізах елемента виникають напруження згину (рис. 5.4), які складаються з стиснення у верхній половині перетину і розтягування в нижній. Нормальні напруження в перерізах розподіляються по висоті нерівномірно. Вади деревини, тривала дія навантажень зменшують міцність згинальних елементів реальної деревини. Згинальні елементи працюють ще більш надійно, ніж стислі, і попереджають про небезпеку руйнування заздалегідь великими прогинами. Звідси випливає, що згинальні елементи, як і стислі, рекомендується виготовляти з деревини 2 сорту, в маловідповідальних елементах можна використовувати деревину 3 сорту.

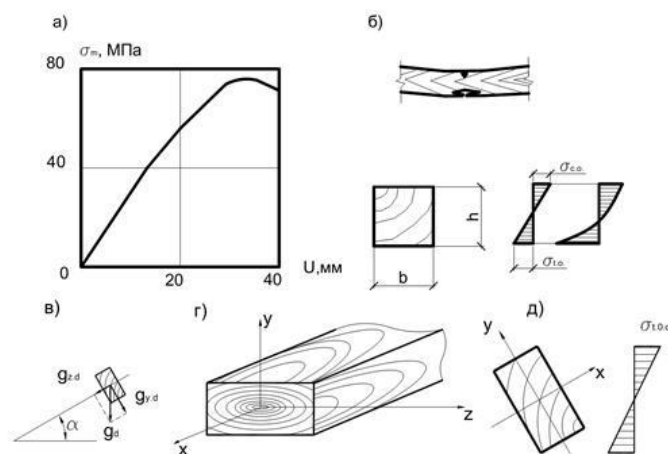


Рисунок 5.6 Згинальний елемент: а – графік прогинів; б – схема руйнування і епюра нормальних напружень; в – схема роботи при косому згині; г – осі елемента; д – епюра напружень

Розрахунок згинальних елементів, стійкість яких забезпечена, на міцність по нормальних перерізах виконують за формулою:

$$\frac{\sigma_{m.d}}{f_{m.d}} \leq 1 \quad (5.9)$$

$\sigma_{m.d}$ – розрахункове напруження згину;

$f_{m.d}$ – розрахунковий опір згину.

Для елементів, що згинаються, не мають постійного закріплення стислої грані з площини згину, слід також провести перевірку на стійкість плоскої форми деформування за формулою:

$$\sigma_{m.d} \leq k_{crit} f_{m.d} \quad (5.10)$$

де k_{crit} – коефіцієнт, що враховує зниження опору згину внаслідок випинання із площини.

Розрахунок згинального елемента по прогину полягає у визначенні його найбільшого відносного прогину від експлуатаційних значень навантажень і перевірці умови, щоб він не перевищував гранично допустимих нормами значень, що визначається умовою:

$$\frac{W_{fn}}{l} \leq \frac{W_{lim}}{l} \quad (5.11)$$

W_{fn} – повний прогин.

Тема 6.

З'ЄДНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ БЕЗ МЕХАНІЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

6.1. Класифікація з'єднань.

Розміри лісоматеріалів (довжина і перетин) обмежені, тому окремо вони можуть бути задіяні тільки у вигляді стійок і балок невисокої несучої

здатності. Для створення більшості будівельних конструкцій дерев'яні елементи повинні бути міцно і надійно з'єднані між собою. За допомогою з'єднань ряд елементів з'єднується по довжині – зрощується, по ширині – згуртовується, зв'язується під кутом вузлами і прикріплюється до опор за допомогою анкерів.

З'єднання є найбільш відповідальними деталями дерев'яних конструкцій. При виготовленні багатьох з'єднань в елементах конструкцій роблять отвори і врізки, що ослаблюють їх переріз і підвищують їх деформативність. Руйнування дерев'яних конструкцій починається в більшості випадків у з'єднаннях. Деформативністю з'єднань пояснюється підвищені прогини дерев'яних конструкцій. Таким чином, від правильного рішення, розрахунку і виготовлення з'єднань залежать міцність і деформативність конструкції в цілому.

Анізотропія будови, мала міцність деревини при сколюванні, розтягуванні поперек волокон і зминанні є причиною великої складності і різноманіття з'єднань конструкцій з дерева.

По характеру роботи всі основні з'єднання дерев'яних конструкцій можуть бути розділені на наступні групи:

а) без спеціальних зв'язків, що не вимагають розрахунку – контактні з'єднання;

б) з металевими зв'язками, що працюють на згин або розтяг – болтами, стержнями, цвяхами, гвинтами, хомутами і пластинками;

в) зі зв'язками, що працюють на сколювання – клейовими швами;

г) з дерев'яними зв'язками, що працюють на стиск – шпонками і колодками.

Найбільш просто і надійно вирішуються конструкції з'єднань стиснутих дерев'яних елементів, в яких зусилля передаються безпосередньо від елемента, до елемента і не потрібно спеціальних робочих зв'язків. Більш складно вирішуються з'єднання згинальних елементів, в яких для передачі

зусиль потрібні робочі зв'язки. Найбільш складно вирішуються з'єднання розтягнутих елементів. У них є небезпека крихкого руйнування деревини по ослаблених перетинах, а також в результаті сколювання і розтягування поперек волокон. Застосування в з'єднаннях розтягнутих елементів піддатливо працюючих зв'язків зменшує небезпеку їх крихкого руйнування. Складність з'єднання розтягнутих дерев'яних елементів приводить їх в ряді конструкцій до заміни металевими.

Клейові з'єднання, найбільш прогресивні і технологічні, є основними з'єднаннями елементів при заводському виготовленні дерев'яних конструкцій. З'єднання, які не потребують спеціальних зв'язків (упори і врубки), застосовуються головним чином при будівельному виготовленні дерев'яних конструкцій. Металеві з'єднання є універсальними і широко використовуються при обох основних методах виготовлення дерев'яних конструкцій. З'єднання з дерев'яними зв'язками є застарілими типами з'єднань, що вимагають значних витрат ручної праці. Вони застосовуються рідко і тільки при виготовленні дерев'яних конструкцій на будівельному майданчику.

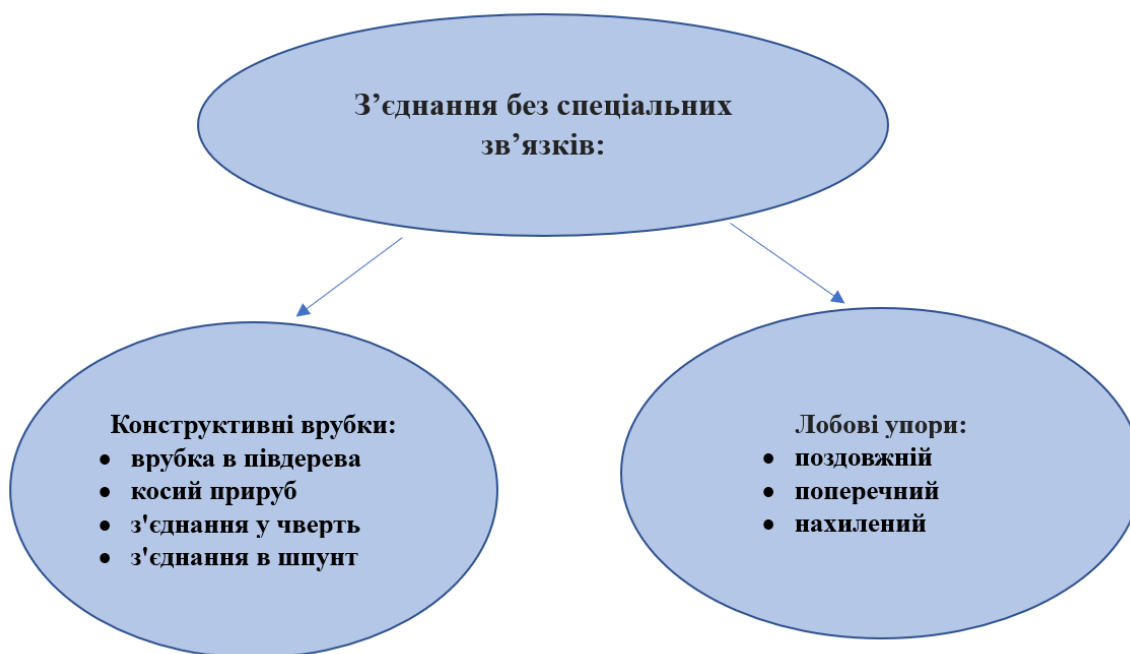
По характеру роботи з'єднання дерев'яних конструкцій поділяються також на піддатливі і жорсткі. Піддатливі з'єднання виготовляються без застосування клеїв. Деформації в них виникають у результаті нещільності, що утворюється при виготовленні, від усушки і змінання деревини, особливо поперек волокон і від згину зв'язків. Величина цих деформацій при тривалій дії навантажень у з'єднаннях, де деревина працює поперек волокон, приймається рівною 3 мм, в інших випадках – 1,5...2 мм. Вони враховуються при визначенні прогинів конструкцій. Жорсткі клейові з'єднання такої піддатливості не мають.

В більшості з'єднань дерев'яних конструкцій, крім клейових, в результаті дії стискаючих сил, наприклад при постановці болтів, між елементами виникають сили тертя, що збільшують зусилля в зв'язках.

Однак ці сили в результаті знакозмінності зусиль, усушки деревини й послаблення початкових натягів болтів можуть знизитися до нуля і тому розрахунком не враховуються. Вони враховуються тільки при короткочасній дії сил з коефіцієнтами тертя: площини по площині – 0,2; торця по площині – 0,3; а також коли вони викликають додаткові напруги з коефіцієнтом тертя – 0,6.

Для здійснення з'єднань використовують різні засоби (зв'язки). Це різні деталі, що дозволяють не тільки забезпечити задану форму конструкції, але й передавати значні зусилля від одного елемента до іншого. Найпоширенішим видом з'єднань дерев'яних елементів є нагелі – гнучкі стрижні або пластинки зі сталі, пластмас або деревини твердих порід (дуба або антисептованої берези).

6.2. З'єднання без спеціальних зв'язків – контактні з'єднання.



Конструктивні врубки (рис. 6.1) є з'єднаннями, в яких виникають зусилля, набагато менші їхньої несучої здатності, тому вони не потребують розрахунку. У дерев'яних конструкціях найбільше застосування знаходять конструктивні з'єднання в чверть, в шпунт, в півдерева і косий прируб.

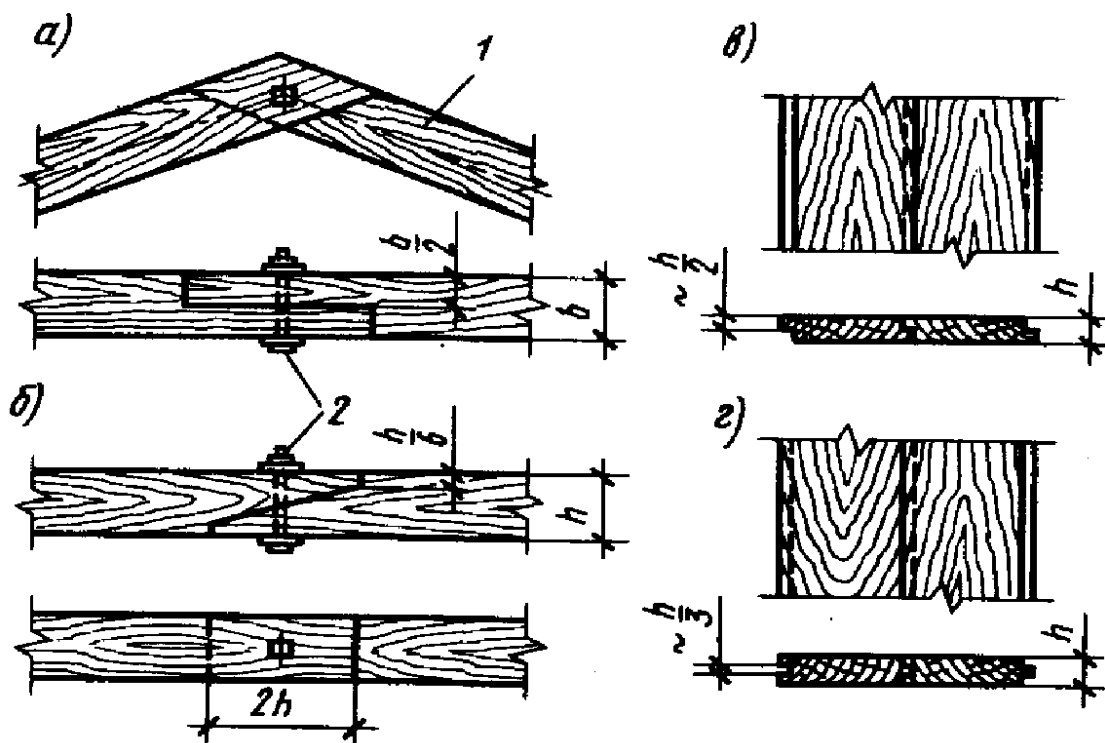


Рисунок 6.1 Конструктивні врубки:

а – врубка в півдерева; б – косий прируб; в – з'єднання у чверть;

г – з'єднання в шпунт

Врубка в півдерева – з'єднання кінців брусів, колод з вирізками до половини їх товщини, стягнуте болтом.

Косий прируб – поздовжнє зрощування болтами брусів, в кінцях яких зроблені односторонні вирізи. Застосування: для з'єднання прогонів і балок по довжині.

З'єднання в чверть – з'єднання дошок кромками по ширині. Механічно утворюють пази, в які входять виступи сусідніх дошок. Застосування: обшивки зовнішніх стін.

З'єднання в шпунт – з'єднання дошок або брусів кромками, в одній з яких вирізаний виступ, а в іншій – шпунт, рівний $1/3$ товщини дошки, в який входить виступ сусідньої дошки. Застосування: настили з дошок.

Лобові упори (рис. 6.2) є найбільш простими і надійними з'єднаннями, що застосовуються в більшості видів дерев'яних конструкцій для кріплення

стиснутих стержнів. Вони працюють і розраховуються на зминання, що виникає в них від дії стискаючих зусиль. На розтяг вони працювати не можуть.

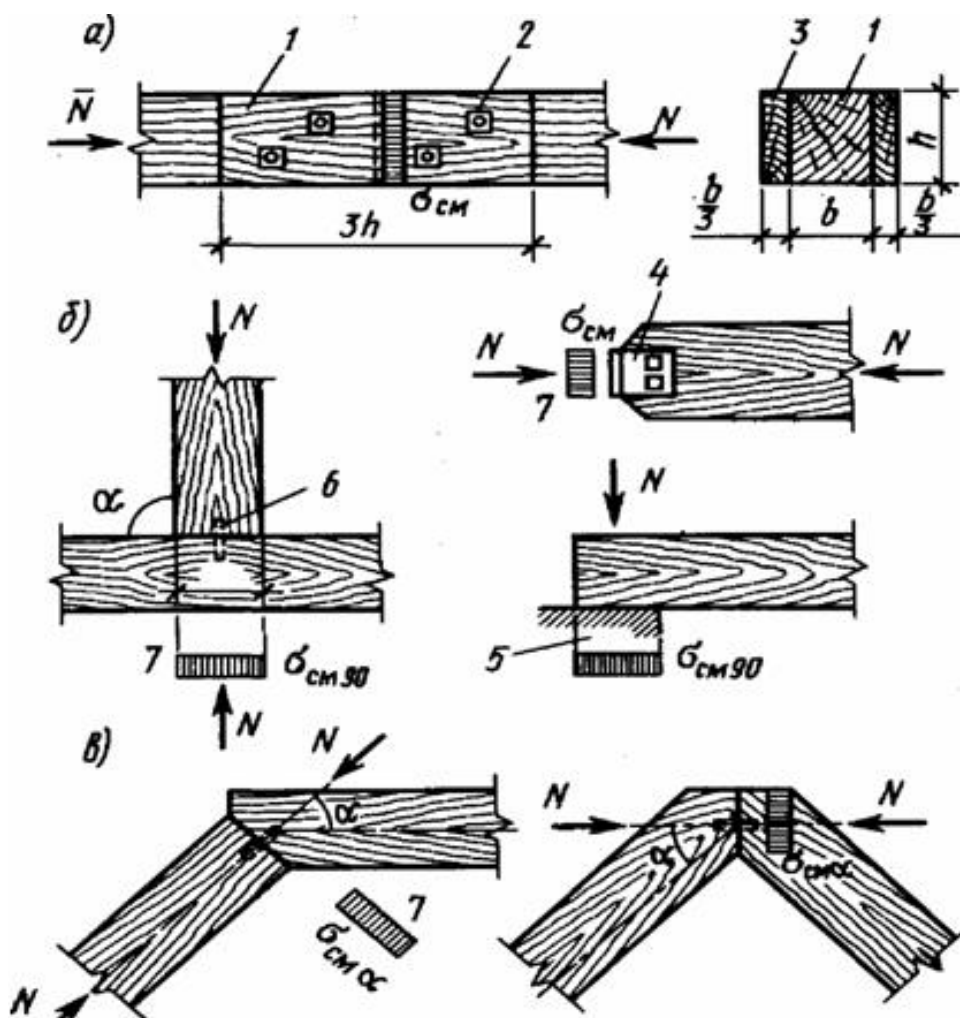


Рисунок 6.2 Лобові упори:

- а) поздовжній – вздовж волокон деревини; б) поперечний – поперек волокон; в) нахилений – під кутом до волокон;
 1 – елементи; 2 – стяжні болти. 3 – накладки; 4 – металеві кріплення;
 5 – опора; 6 – штир; 7 – епюри напруг зминання; α – кут зминання

Поздовжній лобовий упор – це з'єднання обрізаного під прямим кутом стиснутого стержня з опорою чи з діафрагмою опорного башмака або з подібним стержнем у стику. Лобовий упор у стику скріплюється двосторонніми конструктивними дерев'яними накладками товщиною не

менше третини товщини стержнів і довжиною не менше трьох висот перерізу та стягується конструктивними болтами. У поздовжньому лобовому упорі деревина працює на зминання вздовж волокон і має найбільш високий розрахунковий опір зминанню, рівний розрахунковому опору стиску R_c . У більшості випадків напруги зминання в повздовжніх лобових упорах досягають значної величини і вимагають перевірки міцності у тих випадках, коли на зминання працює тільки частина площі торця елемента.

Поперечний лобовий упор – це з'єднання двох стержнів під прямим кутом, коли торець стиснутого елемента впирається в площину іншого і закріплюється непрацюючими зв'язками. Так, наприклад, з'єднуються стійки з верхніми і нижніми горизонтальними елементами каркаса. В такому з'єднанні деревина торця стійки працює на зминання вздовж волокон, а деревина площини горизонтального елемента – поперек волокон. Це з'єднання розраховується тільки по меншій міцності деревини поперек волокон.

Похилий лобовий упор – являє собою з'єднання кінців двох стиснутих елементів, осі яких розташовані під кутом α один до одного. При цьому торець одного елемента може бути перпендикулярним його осі чи торці обох елементів нахилені до їх осей (рис. 3.2, в). Так, наприклад, з'єднуються стержні крокв і підкісних рам. У цих з'єднаннях необхідно перевіряти міцність деревини при зминанні торців тільки розташованих під кутом до осей елементів.

Лобова врубка з одним зубом є простим у виготовленні з'єднанням двох стержнів під кутом. Вона застосовується головним чином для з'єднання стержнів при будівельному виготовленні, причому один стержень (що врубують), повинен бути обов'язково стиснутий. Прикладом застосування з'єднання лобова врубка є опорний вузол трикутної брущатої малопролітної ферми (рис. 6.3).

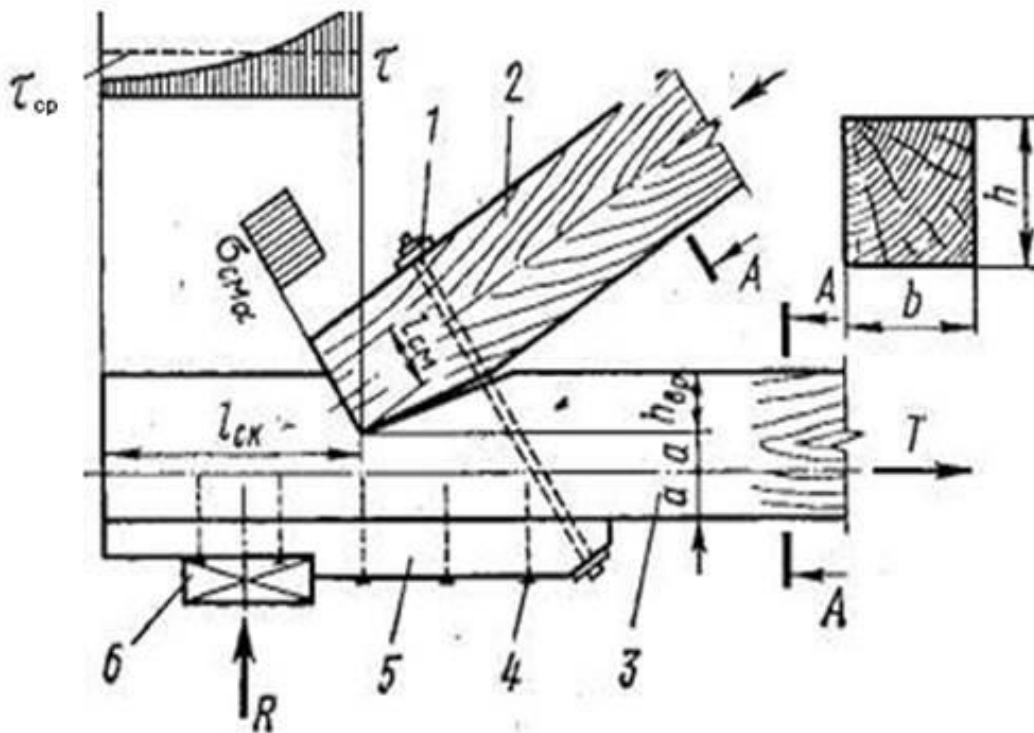


Рисунок 6.3 Лобова врубка:

- 1 – аварійний болт, 2 – елемент що врубують;
 3 – опорний елемент, 4 – цвяхи, 5 – підбалка; 6 – опорна підкладка

Глибина врубки $h_{вр}$ повинна бути не більше $\frac{1}{3}$ висоти, а відстань від її вершини до кінця нижнього пояса $l_{ск}$ – не менше 1,5 висоти його перетину h . Врубка повинна бути центрована по осях опори, верхнього пояса і ослабленого врубками перетину нижнього пояса, для того щоб в цьому перетині не виникло крім розтягування ще й вигину від ексцентриситету розтягуючого зусилля. Врубка стягується додатково похилим болтом. Він перешкоджає зміщенню стержнів в процесі монтажу ферми в разі виникнення у верхньому поясі розтягування.

Лобова врубка працює і розраховується на зминання від дії стискаючого зусилля у стержні, що врубують N і сколювання від дії горизонтальної проекції цього зусилля T , рівного розтягуючому зусиллю в нижньому поясі ферми.

Від дії стискаючого зусилля N по площі упору торця стисненого стержня в робочу поверхню врізки виникають рівномірні напруги зминання. Площу

змінання F визначають залежно від глибини врубки $h_{вр}$, кута нахилу стисненого стержня α й ширини врубки b , яка в брусах дорівнює ширині перерізу.

6.3. Клеєві з'єднання.

Клеєві з'єднання по їх розташуванню і особливостям можуть бути класифіковані:

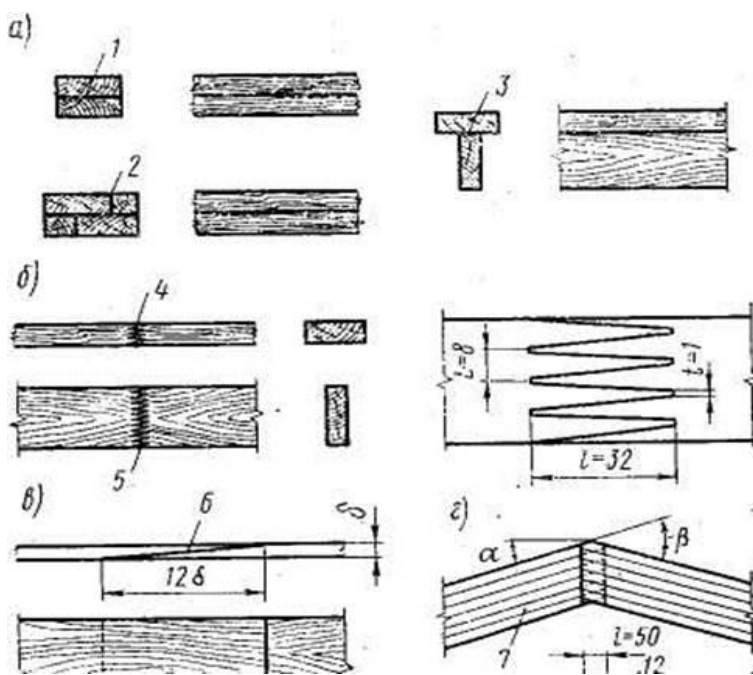


Рисунок 6.4 Клейові стики:

а – поперечні; б – поздовжні; в – фанери; г – під кутом;

1 – по пластям, 2 – по кромкам, 3 – по пласті і кромці; 4 і 5 – зубчатий з виходом зубів на кромки і пласті; 6 – вусів з'єднання фанери; 7 – клеєний елемент

Клейові з'єднання застосовують для склеювання дошок з хвойної деревини товщиною не більше 50 мм і вологістю не вище 12%. При порушенні цих обмежень клейові з'єднання можуть зруйнуватися від зусиль, що виникають в результаті викривлення дошок при висиханні. Дошки до склеювання повинні бути струганими по площинах склеювання на товщину до 3 мм для забезпечення їх щільного контакту і отримання міцного клейового шва. Клеєні елементи після склеювання необхідно знову стругати по кромкам для отримання гладкої поверхні.

Для клейових з'єднань застосовують конструктивні синтетичні клеї на основі термореактивних смол. Клейові шви повинні мати мінімальну товщину, вимірювану частками міліметрів, і високу міцність, що перевершує міцність деревини на стиск і сколювання вздовж волокон. Міцність швів на розтяг невелика і відповідає приблизно міцності деревини на розтяг.

Тема 7.

З'ЄДНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА МЕХАНІЧНИХ ЗВ'ЯЗКАХ

7.1. Класифікація нагельних з'єднань.

З'єднання на механічних зв'язках – це з'єднання дерев'яних елементів, в яких діючі в них зусилля передаються за допомогою нагелів, болтів, стержнів, цвяхів, гвинтів, хомутів, зубчастих пластинок і інших виробів. З'єднувальні елементи, які найбільш широко застосовують: нагельні, на вклеєних сталевих стержнях, на металевих зубчастих пластинах.

У нагельних з'єднаннях найчастіше використовуються болти, сталеві циліндричні нагелі, цвяхи, шурупи та пластинчасті нагелі.

Нагелі – це циліндричні стержні або пластинки, що перешкоджають взаємному зсуву елементів, що з'єднуються, і які працюють в основному на вигин. Нагельні з'єднання можуть бути симетричними і несиметричними.



Нагелі застосовуються:

- при з'єднанні – складових стержнів або балок;
- при нарощуванні дерев'яних елементів – в стиках;
- при вузлових з'єднаннях (у вузлах ферм).

Усі нагелі, крім цвяхів діаметром менше 6 мм, шурупів і глухарів, вставляються в заздалегідь просвердлені для них отвори.

Залежно від способу прикладання зовнішніх сил і числа швів, які перетинає один нагель, розрізняють два види з'єднань:

- 1) симетричні – двозрізні і багатозрізні;
- 2) несиметричні – одно-, дво- і багатозрізні (рис. 7.1).

При роботі нагельного з'єднання, крім вигину нагеля, деревина в нагельному гнізді працює на зминання. У зв'язку з великою гнучкістю нагелів і великими деформаціями зминання гнізда, зовнішнє зусилля в нагельному з'єднанні рівномірно розподіляється між нагельми. Разом з тим нагелі не чутливі до місцевих дефектів або вад деревини, тому надійні в роботі. Нагелі встановлюються з використанням механічних інструментів та спеціального обладнання (пістолетами для забивання цвяхів, свердлильним і довбальним

інструментом, пресовим обладнанням). Виробництво конструкцій з нагельними з'єднаннями механізовано. В результаті механізації забезпечується висока продуктивність праці і необхідна якість робіт.

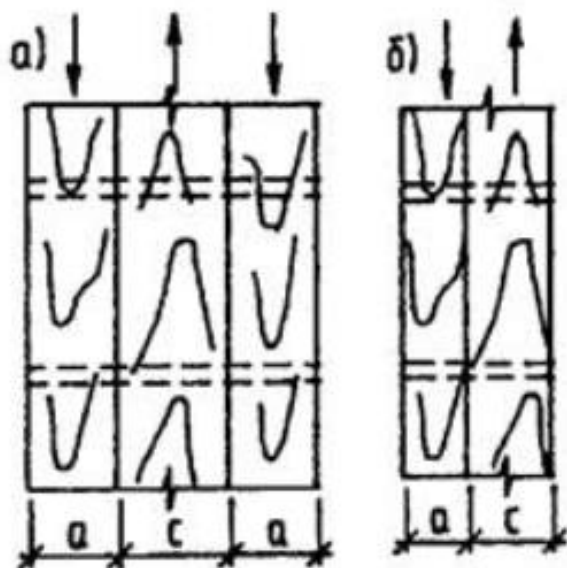


Рисунок 7.1 Нагельні з'єднання деревини з деревиною:
а – симетричне з'єднання; б – несиметричне з'єднання

Цвяхи – це кріпильні елементи для з'єднання деталей із деревини та деревинних матеріалів, виготовляються із сталевого дроту і мають різноманітні характеристики.

Цвяхові з'єднання повинні відповідати наступним вимогам:

- діаметр цвяхів слід приймати не більше 0,25 товщини з'єднуваних елементів;
- при визначенні розрахункової довжини защемлення кінця цвяха не слід враховувати загострену частину цвяха довжиною $1,5 d$ (d – діаметр цвяха); крім того, з довжини цвяха слід віднімати по 2 мм на кожен шов між з'єднуваними елементами; якщо розрахункова довжина защемлення цвяха менше $4 d$, його роботу у шві, що примикає до нього, враховувати не слід;

- при вільному виході цвяха з пакету розрахункову довжину останнього елемента слід зменшувати на $1,5 d$;
- в з'єднанні повинно бути не менше двох цвяхів;
- під цвяхи діаметром 6 мм і більше слід попередньо свердлити отвори діаметром $0,8 d$.

Болти для деревини – це стандартні вироби зі сталі марки С38/23, які служать для з'єднань дерев'яних елементів.

Болтові з'єднання повинні відповідати наступним вимогам:

- діаметр отвору під болт не повинен перевищувати діаметр болта більш ніж на 1 мм;
- під головкою болта і гайкою повинні бути використані шайби з боковим розміром або діаметром не менше $3,5 d$ і товщиною не менше $0,25 d$ (d – діаметр болта). Шайби повинні щільно прилягати до деревини.

Сполучення несучих дерев'яних конструкцій з фундаментом виконується за допомогою фундаментних анкерних болтів.

З'єднання на шурупах повинні відповідати наступним вимогам:

- защемлення шурупа (тобто довжина його в елементі) повинно бути як мінімум $4d$ (d – діаметр шурупа);
- шурупи загвинчуються в попередньо просвердлені отвори;
- довжина гладкої частини шурупа більше товщини елемента під його головкою;
- довжина гладкої частини шурупа в елементі, що приймає вістря, становить не менш $2d$.

7.2. Напружено-деформований стан нагельного з'єднання.

Роботу нагельного з'єднання розглянемо на прикладі з'єднання двох елементів, які взаємно зміщуються (рис. 7.2). Під дією прикладеного навантаження елементи починають зміщуватися і прагнуть перекинути нагель, який після деякого повороту, упирається в деревину і починає зминати деревину, спочатку по кромці гнізда. Зі збільшенням навантаження

поверхня контакту нагеля з деревиною збільшується: в деревині з'являються нерівномірні напруження зминання по всій довжині нагеля, а сам нагель згинається.

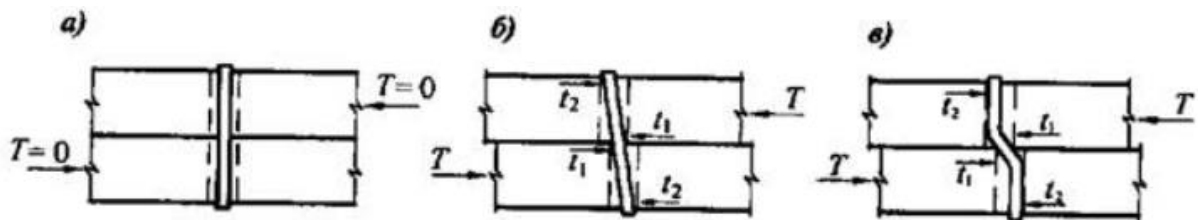


Рисунок 7.2 Схема роботи нагельного з'єднання:

а – початкове положення; б – поворот нагеля; в – деформований нагель
(T – зсувне зусилля; t_1, t_2 – рівнодіюча напруження зминання)

Напружено-деформований стан нагельного з'єднання характеризується:

- вигином самого нагеля;
- зминанням деревини нагельного гнізда;
- сколюванням деревини між нагелями;
- розколюванням деревини поперек волокон.

На практиці небезпека сколювання і розколювання деревини усувається правильною розстановкою нагелів. Мінімальні відстані між нагелями призначаються таким чином, щоб несуча здатність нагеля по сколюванню і розколюванню деревини завідомо перевищувала несучу здатність нагеля по міцності на вигин самого нагеля і міцності деревини нагельного гнізда на зминання.

7.3. Розташування циліндричних нагелів у з'єднаннях.

Мінімально допустимі відстані між осями нагелів (табл. 7.1) залежать від матеріалу нагелів, виражаються в діаметрах нагеля, позначаються (див. рис. 7.3): S_1 – відстань уздовж волокон деревини; S_2 – відстань поперек волокон деревини; S_3 – відстань поперек волокон від кромки елемента до осі нагеля.

По ширині елемента нагелі рекомендується розташовувати в парну кількість поздовжніх рядів (два або чотири). Не можна розміщувати нагелі по осі елемента, щоб вони не попали в зону утворення тріщин від усихання. В конструкціях з круглих лісоматеріалів допускається шахове розташування нагелів в два ряди з відстанями між осями нагелів вздовж волокон S_1 , поперек волокон $S_2 \geq 2,5d$ (d – діаметр нагеля).

Таблиця 7.1 Мінімальні допустимі відстані між осями циліндричних нагелів

Розташування нагелів	Позначення	Вид нагеля				
		Сталевий	Пласт-масовий	Дубовий	Цвях	
					$c > 104$	$c - 44$
Вздовж волокон	S_1	$\geq 7d$	$\geq 6d$	$\geq 5d$	$\geq 15d$	$25d$
Поперек волокон: - між осями нагелів - від кромки елемента до осі нагеля	S_2	$\geq 3,5d$	$\geq 3,5d$	$\geq 3d$	$\geq 4d$	$\geq 4d$
	S_3	$\geq 3d$	$\geq 3d$	$\geq 2,5d$	$\geq 4d$	$\geq 4d$

Примітки: при товщині пакета $\geq 10d$; d – діаметр нагеля, цвяха, см; c – товщина елемента, що пробивають.

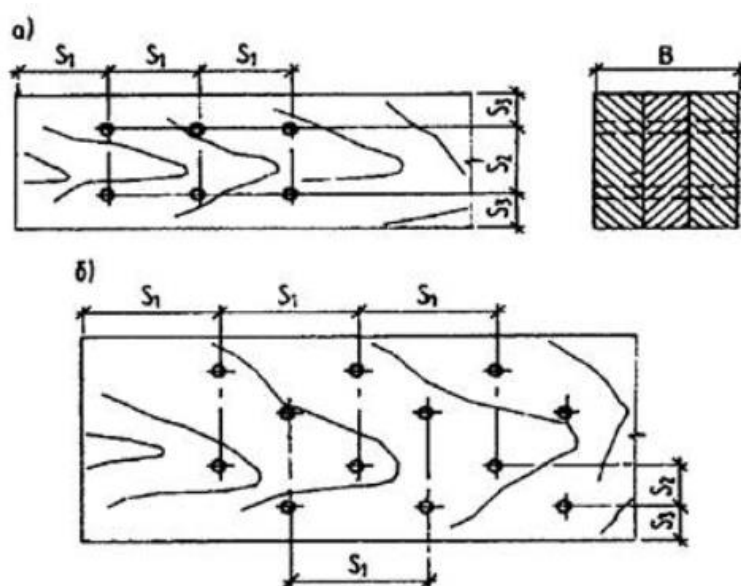


Рисунок 7.3 Правила розміщення нагелів: а – пряме; б – в шаховому порядку

7.4. Розрахунок нагельних з'єднань.

Точний розрахунок несучої здатності нагеля з урахуванням всього складного комплексу взаємопов'язаних напружень зминання і згину доволі складний і громіздкий, і в результаті маємо формули, незручні для практичного використання. Проведені дослідження дозволяють спростити розрахунок при введенні таких припущень: гранична деформація нагельного з'єднання – 2 мм; нагель розглядається як балка малої згинальної жорсткості на пружно-пластичній основі, якою є деревина; сили тертя не враховуються через можливість появи зазору між елементами, що з'єднуються, при усиханні їх поперек волокон.

З урахуванням цих припущень несуча здатність нагеля [T_n] на один зріз визначається за формулами табл. 7.2 виходячи з трьох умов: вигину самого нагеля, зминання деревини в крайніх елементах, зминання деревини в середніх елементах.

Таблиця 7.2 Розрахункова несуча здатність T_n циліндричного нагеля на один умовний зріз при з'єднанні елементів з сосни і ялини

Напружений стан нагельного з'єднання	Розрахункова несуча здатність нагелю (T_n), кН		
	стального	цвяхового	дубового
Зминання середніх елементів в симетричних з'єднаннях	0,5cd	0,5cd	0,3cd
1	2	3	4
Зминання крайніх елементів в симетричних з'єднаннях або більш тонких елементів в несиметричних з'єднаннях	0,8ad	0,8ad	0,5cd
Зминання більш тонких або рівних по товщині елементів в несиметричних з'єднаннях	0,35cd	0,35cd	0,2cd

1	2	3	4
Змінання більш товстих середніх елементів в двозрізних несиметричних з'єднаннях	0,25cd	0,25cd	0,14cd
Згин нагеля в симетричних і не симетричних з'єднаннях	1,8d ² +0,02a ² но не більше 2,5d ²	2,5d ² +0,01a ² но не більше 4d ²	0,45d ² +0,02a ² но не більше 0,65d ²

У тих випадках, коли зусилля спрямовано під кутом α до волокон з'єднувальних елементів, T_n множиться на коефіцієнт $K\alpha$ при розрахунку з умови змінання деревини і на $\sqrt{K\alpha}$ при розрахунку на згин самого нагеля.

При визначенні несучої здатності нагеля враховуються також порода деревини і всі необхідні коефіцієнти умов праці: T_n множиться на ці коефіцієнти при розрахунку з умови змінання деревини нагельного гнізда і множиться на корінь квадратний з добутку цих коефіцієнтів при розрахунку з умови вигину самого нагеля.

Необхідна кількість нагелів n в з'єднаннях визначається за формулою:

$$n = \frac{N}{[T_n]_{min} n_{ш}} \quad (7.1)$$

N – розрахункове зусилля в з'єднанні; $n_{ш}$ – число умовних зрізів одного нагеля; $[T_n]_{min}$ – мінімальна розрахункова несуча здатність нагеля.

7.5. Нагельні з'єднання зі сталевими накладками.

Нагельні з'єднання зі сталевими накладками і прокладками на болтах або глухарях (рис. 7.4) застосовуються, коли забезпечена необхідна щільність постановки нагелів. Глухі сталеві нагелі повинні мати заглиблення в деревину не менше $5d$.

Нагельне з'єднання зі сталевими накладками і прокладками розраховуються за загальними правилами, наведеними вище, тільки при визначенні несучої здатності нагеля з умови вигину приймається максимальне значення його несучої здатності. Сталеві накладки і прокладки слід перевіряти на розтяг по послабленому перерізу і на зминання під нагелем.

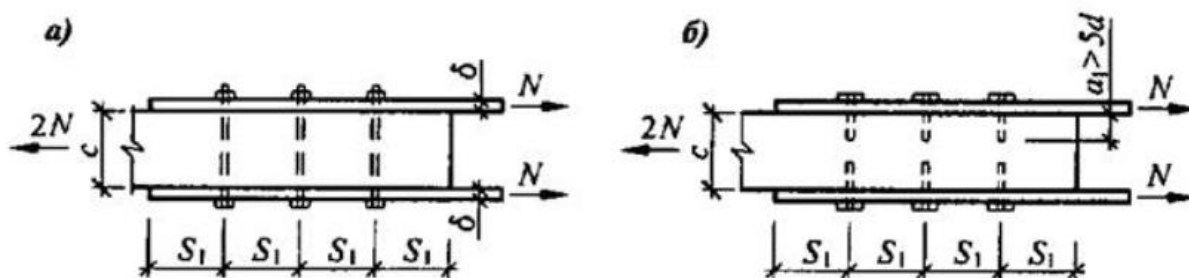


Рисунок 7.4 З'єднання зі сталевими накладками і прокладками:

а – зі сталевими накладками на болтах;

б – із сталевими накладками на глухарях

7.6. З'єднання на цвяхах.

Для виготовлення конструкцій застосовуються цвяхи діаметром 3,5...6 мм, довжиною 75....250 мм.

Цвяхи в з'єднаннях зсуваних дерев'яних елементів працюють як нагелі, але мають свої особливості, тому що забиваються в деревину без попереднього свердління отворів. Загострений кінець цвяха при забиванні перерізає і розсовує волокна деревини в сторони і ущільнює деревину навколо цвяха. Виникає небезпека розколювання дерев'яних елементів, тому відстані між рядами цвяхів призначаються більшими, ніж для циліндричних нагелів (див. табл. 7.1).

Цвяхові з'єднання мають властивість повзучості при довготривалих навантаженнях.

Несуча здатність цвяха не залежить від кута α між напрямком зусилля і напрямком волокон і визначається за формулами табл. 7.2 з урахуванням всіх необхідних коефіцієнтів умов роботи.

Рекомендується розстановка цвяхів невеликого діаметра ($d < 0,25$ товщини елемента, що пробивається) в парну кількість рядів, допускається коса і шахова розстановка цвяхів.

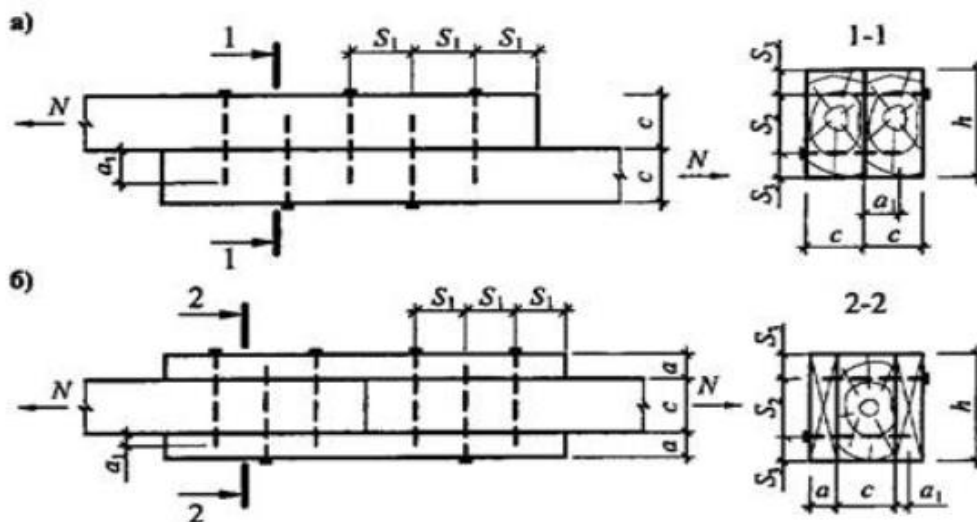


Рисунок 7.5 З'єднання на цвяхах:

а – однорізне; б – дворізне

Тема 8.

ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ З ДЕРЕВА І ПЛАСТМАС

8.1. Загальні відомості та класифікація огорожувальних конструкцій покриття.

Залежно від призначення будівлі огорожувальні конструкції роблять неутепленими або утепленими. Перші, призначені для захисту будівель від атмосферних опадів та сонячних променів; другі мають забезпечити належну термоізоляцію приміщень. Теплопровідність і теплостійкість огорожувальних конструкцій визначають їхнім теплотехнічним розрахунком.

Дерев'яні настили та прогони є несучими елементами огорожувальних конструкцій покриттів. На їх виготовлення витрачається більша частина деревини, яка використовується при спорудженні дерев'яних покриттів. Економне проектування несучих елементів покриття багато в чому визначає економічну ефективність покриття в цілому.

Настили служать основою водо- і теплоізоляційних шарів покриття. Вони беруть участь у забезпеченні стійкості основних несучих конструкцій і сприйнятті вертикальних і горизонтальних навантажень.

Класифікація несучих огорожувальних конструкцій покриття.



8.2. Розрахунок і конструювання прогонів.

Прогони, на які укладається настил, бувають трьох типів:

- розрізні (однопрогонові);
- консольно-балкові;
- спарені нерозрізні.

Більш економічні по витраті матеріалів є консольно-балкові і спарені нерозрізні прогони.

Розрізні прогони (рис. 8.1) представляють собою горизонтальні ряди брусів або колод, розташованих вздовж схилів покриття та оперті на верхні кромки основних несучих конструкцій покриття.

Прогони з'єднуються між собою по довжині за допомогою косої прирубів або дощатих накладок і болтів. До опор прогони кріпляться за допомогою бобишок – коротких відрізків дошок, цвяхів або гвинтів. Ці кріплення перешкоджають сповзанню прогонів вниз по схилу опор.

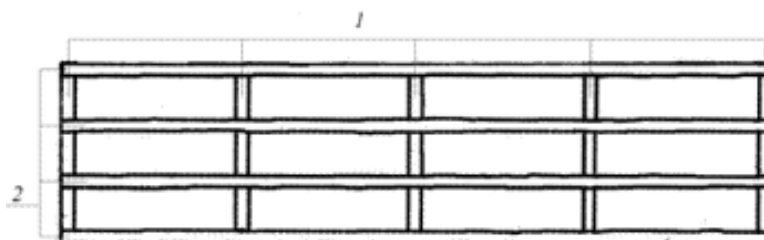


Рисунок 8.1 Схема опирання прогонів: 1 – основні несучі конструкції;
2 – прогони

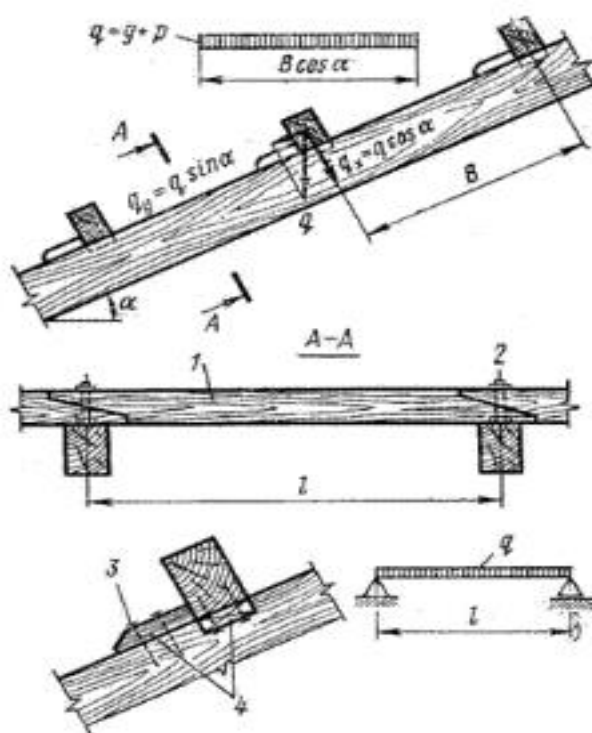


Рисунок 8.2 Розрізні (однопрогогонові) прогони покриття: 1 – прогін;
2 – болт; 3 – цвяхи; 4 – бобишки

Прогони розраховують на згин від дії тільки нормальної складової навантаження (q_n), якщо скатна складова сприймається настилом (як, наприклад, в подвійному перехресному настилі). Якщо такий настил

відсутній, прогін працює і розраховується на косий вигин від нормальної (q_x) і скатної (q_y) складової навантаження за формулами для косоного згину:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq R_u \quad (8.1)$$

$$\frac{f}{l} = \frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{l} \leq \frac{1}{200}. \quad (8.2)$$

Консольно-балкові прогони це поздовжні ряди брусів або колод із зустрічним розташуванням стиків за межами опор (рис. 8.3.). Консольно-балкові прогони виконуються з брусів, з'єднаних косим прирубом в місцях розташування шарнірів. Для попередження зсуву під дією випадкових зусиль в середині косоного прирубав ставлять болти діаметром не менше 8мм. Такі прогони застосовуються при кроці конструкцій не більше 4,5 м. Прогони в залежності від розташування стиків (шарнірів) можуть бути:

а) *рівно-моментні* (стики розташовуються на відстані $0,15 l$, а крайні прольоти зменшуються до $0,85l$.) Згинальні моменти на опорах і в прольотах рівні, а максимальні відносні прогини рівні: $M = \frac{ql^2}{16}$, а максимальні прогини рівні:

$$\frac{f}{l} = \frac{2}{384} \frac{ql^3}{El}. \quad (8.3)$$



Рисунок 8.3 Консольно-балкові прогони

б) рівно-прогинні (стики розташовуються на відстані $0,2l$, а крайні прольоти зменшуються до $0,8l$.) При цьому на опорах виникають максимальні згинальні моменти, рівні $M = \frac{ql^2}{12}$, в прольоті $M = \frac{ql^2}{24}$, відносні прогини у всіх прольотах рівні:

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{384} \frac{q^x l^3}{EI}. \quad (8.4)$$

Спарені нерозрізні прогони (рис. 8.4.) Застосовуються при кроці конструкцій від 4,5 до 6 м і складаються з двох дошок, поставлених на ребро і з'єднаних цвяхами, що забиваються конструктивно в шаховому порядку з кроком 50 см. Стик дошок влаштовується в точках, де згинальний момент в нерозрізних балках, завантажених рівномірно розподіленим навантаженням по всій довжині, дорівнює нулю, тобто на відстані $0,2l$ від опор.

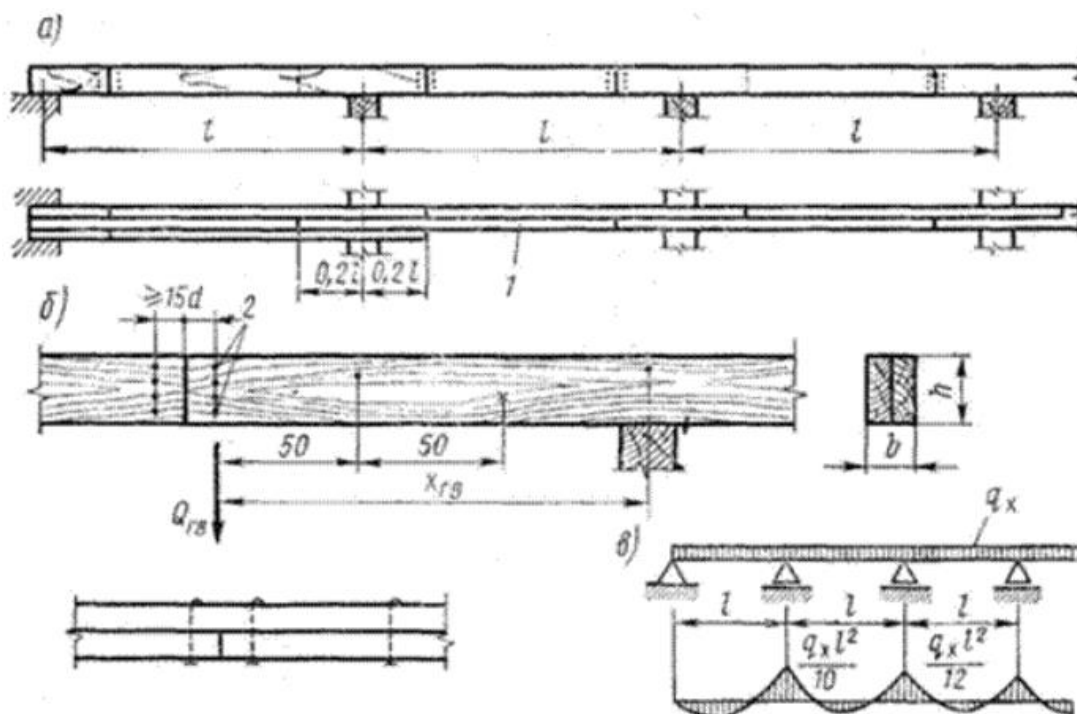


Рисунок 8.4 Спарений нерозрізний прогін:

а – загальний вид; б – деталь стику; в – розрахункова схема;

1 – дошки; 2 – цвяхи

Розрахунок спареного прогону виконують за схемою багато-пролітної нерозрізної балки на нормальну складову навантаження. Максимальний згинальний момент буде над опорами: над другою: $M_1 = \frac{ql^2}{10}$, а над проміжними: $M = \frac{ql^2}{12}$. Перевірку напруження і підбір перерізів виконують по моменту на проміжних опорах:

$$\sigma = \frac{M}{W_p} \leq R_u. \quad (8.5)$$

Переріз на другий опорі, посилений третьою дошкою, як правило, працює з запасом міцності. Прогин від експлуатаційного навантаження розраховують на першому прольоті прогону, де відносний прогин має найбільше значення:

$$\frac{f}{l} = \frac{2,5}{384} \frac{q_x^H l^3}{El} \quad (8.6)$$

В деяких випадках є можливість скоротити довжину першого прольоту до $0,8l$. При цьому згинальні моменти на всіх проміжних опорах і прогини всіх прольотів можуть вважатися однаковими, і відпадає необхідність посилення прогону в перших прольотах.

8.3. Розрахунок і конструювання дощатих настилів.

Для виготовлення дощатих настилів застосовується деревина 2 і 3 сортів. Вони виготовляються з дошок з'єднанням на цвяхах і укладаються на прогони або основні несучі конструкції при відстані між ними не більше 3 м.

Робочі дошки настилів повинні мати довжину, достатню для обпирання не менше ніж на 2 опори, з метою збільшення їх згинальної жорсткості.

Основними типами дощатих настилів є:

- розріджений;
- подвійний перехресний;
- суцільні одношарові щити.

Розріджений настил (або лати) (рис. 8.5) – це несучільний ряд дошок, покладений з кроком, що обумовлений розрахунком в залежності від типу покрівлі. Зазори між крайками дошок для їх провітрювання повинні бути не менше 2 см.

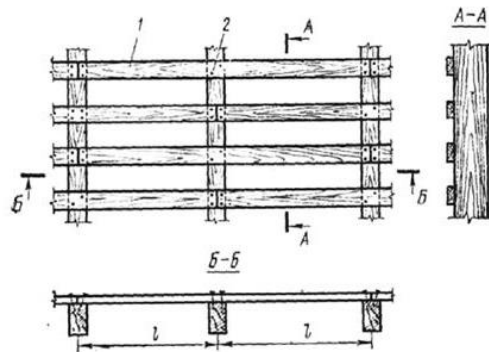


Рисунок 8.5 Розріджений настил: 1 – дошки; 2 – цвяхи

Подвійний-перехресний настил (рис. 8.6) складається з двох шарів: нижнього – робочого і верхнього – захисного.

Верхній захисний шар виконується з дошок товщиною $16 \div 22$ мм і шириною не більше 100 мм і укладається під кутом $45 \div 60$ градусів до нижнього. Захисний шар утворює необхідну суцільну поверхню, забезпечує спільну роботу всіх дошок настилу.

Робочий настил – розріджений або суцільний ряд більш товстих дошок – несе на собі всі навантаження, які діють на покриття. Нижній робочий шар виконується з дошок товщиною $19 \div 32$ мм (визначається за розрахунком) і шириною $100 \div 150$ мм, які для кращого провітрювання укладають із зазором $20 \div 150$ мм.

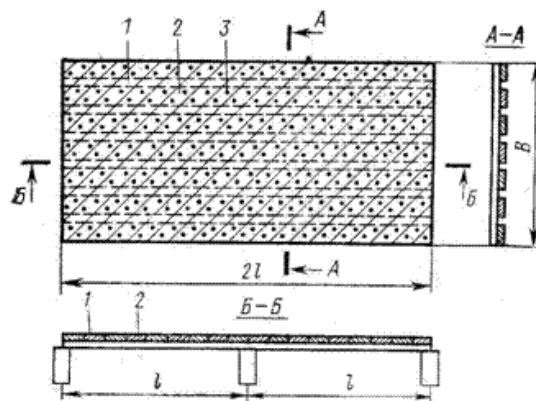


Рисунок 8.6 Щит подвійного перехресного настилу:

1 – косий захисний настил; 2 – робочий настил; 3 – цвяхи

Суцільні одношарові щити (рис. 8.7) – це щити, з'єднані внизу розкосами і поперечками.

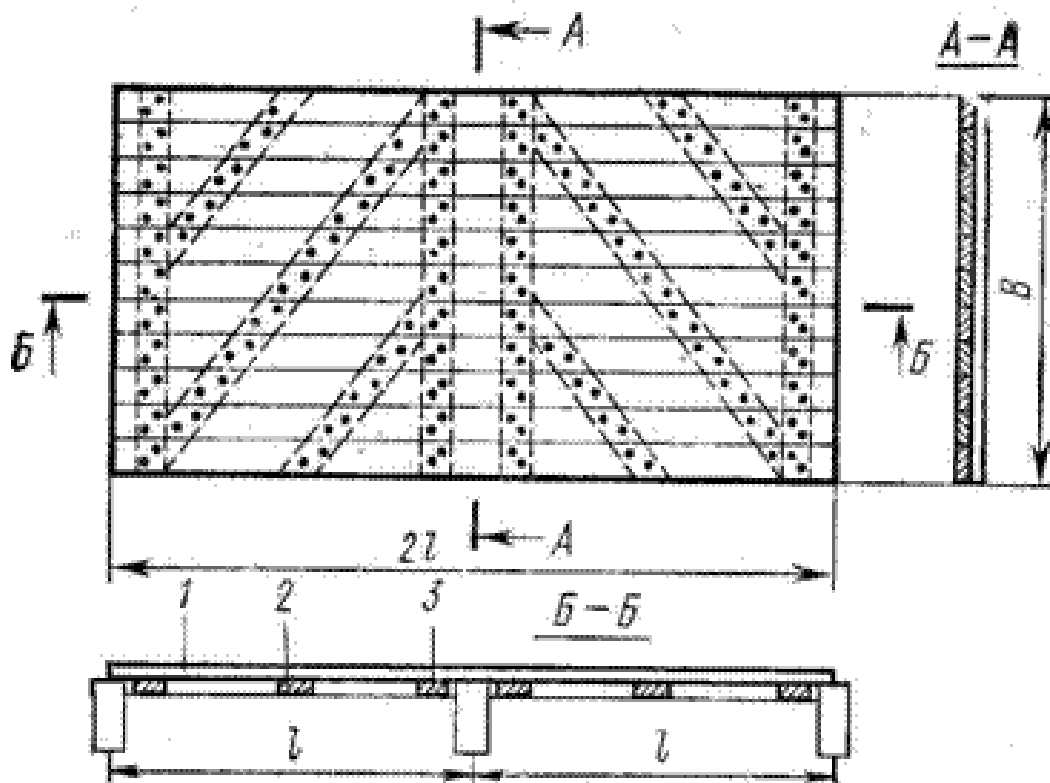


Рисунок 8.7 Щит суцільного одношарового настилу:

1 – дошки настилу; 2 – розкоси; 3 – поперечки

Розрахунок дощатих настилів виконують по міцності і прогину при вигині на дію розрахункових навантажень:

- постійних від власної маси покриття g , кН/м^2
- тимчасові від маси снігу p , кН/м^2
- від ваги людини з вантажем P , кН

Навантаження визначаються з урахуванням форми покриття і коефіцієнтів перевантаження. Зосереджене навантаження від маси людини з вантажем має величини: $P_n = 1 \text{ кН (100 кг)}$, а з урахуванням коефіцієнта перевантаження: $P = 1,2 \text{ кН (120 кг)}$.

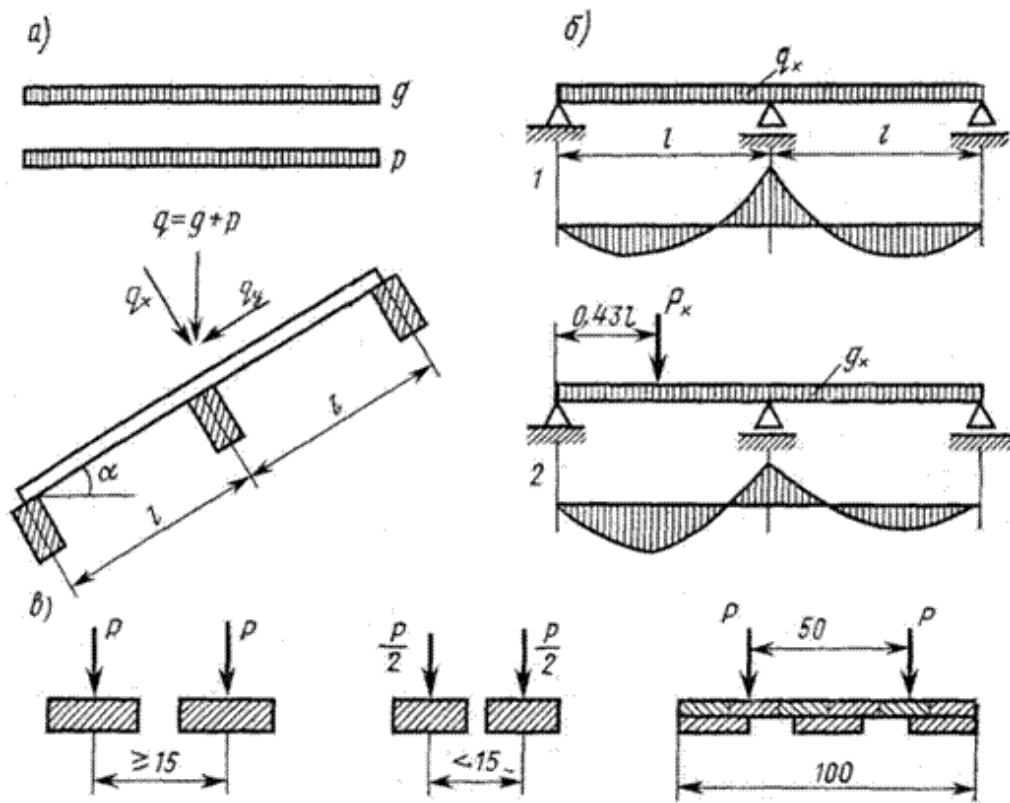


Рисунок 8.8 Розрахункові схеми настилів:

а – схема дії навантажень; б – статичні схеми; в – схеми дії зосереджених вантажів; 1 – перше поєднання навантажень; 2 – друге поєднання навантажень

Розрахунок настилів і обрешіток, що працюють, як правило, на поперечний згин, роблять за схемою двопрогенової балки при двох поєднаннях навантажень:

1) навантаження від власної ваги покриття і снігове навантаження ($g + p$)

- на міцність: $\sigma = \frac{M_{max}}{W_{рооч}} \leq R_u$, де

$$M_{max} = \frac{q_x l^2}{8}. \quad (8.7)$$

- по прогинам: $\frac{f}{l} = \frac{2,13}{384} \frac{q_x^H l^3}{El} \leq \left[\frac{f}{l} \right]$, де

$$\left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{150}. \quad (8.8)$$

2) навантаження від власної ваги покриття та зосередженого навантаження в одному прольоті від ваги людини з вантажем P – тільки на міцність.

Максимальний момент знаходиться під зосередженим навантаженням:

$$M_{max} = 0,07g_x l^2 + 0,21P_x l \quad (8.9)$$

Розрахунок зручно вести прийнявши ширину настилу $b = 100$ см.

При суцільному настилі або обрешітці при відстані між осями дошок або брусків не більше 15 см приймають, що зосереджений вантаж передається двом дошкам або брускам, а при відстані більше 15 см – одній дошці або бруску.

При двох настилах (робочому і захисному, направленому під кутом до робочого) або при одношаровому настилі з розподільним брусом, підшитим знизу в середині прольоту, а також при укладенні поверх настилу плитного утеплювача, зосереджений вантаж $P_n = 1$ кН приймають розподілений на ширину 0,5 м робочого настилу.

8.4. Плити з дерев'яним каркасом. Конструювання і розрахунок.

У сучасному індустріальному будівництві покрівельні покриття найчастіше роблять зі збірних щитів і панелей, що прискорює монтаж і скорочує витрату лісоматеріалів.

Класифікація плит:

- за призначенням: покриття, стіни;
- за характером роботи: навісні, що несуть;
- по технології виготовлення: склеювання, з'єднання на цвяхах, шурупах;
- по теплотехнічних властивостях: утеплені, неутеплені;
- за матеріалами, які використовують при виготовленні:
 - клеєфанерні плити;
 - плити з дерев'яним каркасом і плоскими азбестоцементними обшивками;
 - пластмасові плити.

Плити з дерев'яним каркасом конструюють з елементів:

- дощатого каркаса, який конструюють з пиломатеріалів (дошок і брусів) та який пов'язує верхні і нижні обшивки. Поздовжні ребра несуть спільно з обшивкою навантаження, а поперечні забезпечують жорсткість конструкції в поперечному напрямку і сприймають місцеве навантаження;

- тонколистової обшивки (фанери, деревостружкових і деревоволокнистих плит, азбестоцементу, алюмінію, склопластику);
- утеплювача (мінераловатної плити, скловолкна, пінопласту ін.)

Клеєфанерні плити мають довжину $l = 3 \div 6$ м і ширину $b = 1 \div 1,5$ м, відповідну розмірам фанерних листів.

Каркас складається з поздовжніх і поперечних ребер товщиною не менше 25 мм. Робочі ребра поздовжні – суцільні по довжині – ставляться на відстані менше 50 см один від одного з умови роботи обшивок на згин від зосереджених вантажів. Поперечні ребра (ребра жорсткості) ставляться на відстані не більше 1,5 м; як правило, в місцях розташування стиків фанери і перериваються в місцях перетинів з поздовжніми ребрами.

Обшивка – це листи фанери товщиною більше 8 мм, що стикуються по довжині з'єднаннями «на вус». Обшивка приклеюється до каркаса в такому положенні, при якому напрямки зовнішніх волокон фанери і деревини поздовжніх ребер збігаються, внаслідок чого фанера буде працювати в напрямку своєї більшої міцності та жорсткості.

Клеєфанерні плити поділяються (рис. 8.8):

- на коробчаті;
- на ребристі обшивкою вгору;
- на ребристі обшивкою вниз.

Коробчаті клеєфанерні плити застосовують в утеплених покриттях з рулонною покрівлею. Нижній шар рулонного килима наклеюється на верхню обшивку при виготовленні (для захисту від зволоження), а верхній шар – після складання покриття. Ребристі обшивкою вгору (одна верхня обшивка) клеєфанерні плити застосовують в холодних і утеплених покриттях з рулонною покрівлею. Плити ребристі обшивкою вниз застосовують в утеплених і холодних покриттях з лускоподібною покрівлею, наприклад, з хвилястих азбестоцементних аркушів. Листи покрівлі укладають по поздовжніх ребрах, а утеплювач розміщують по обшивці між ребрами.

Розрахунок клеєфанерних панелей.

Розрахунок проводять по міцності і прогинам при згині за схемою однопролітної вільно опертої балки на нормальні складові навантажень від власної маси g_x і снігу p_x . Від суми цих двох навантажень визначають розрахунковий згинальний момент, поперечні сили і максимальні прогини. Верхню обшивку додатково перевіряють на місцевий згин від зосередженої сили $P=1 \cdot 1,2=1,2$ кН, умовно розподіленої на ширині 1 м, як жорстко забиту в місцях приєднання до ребер.

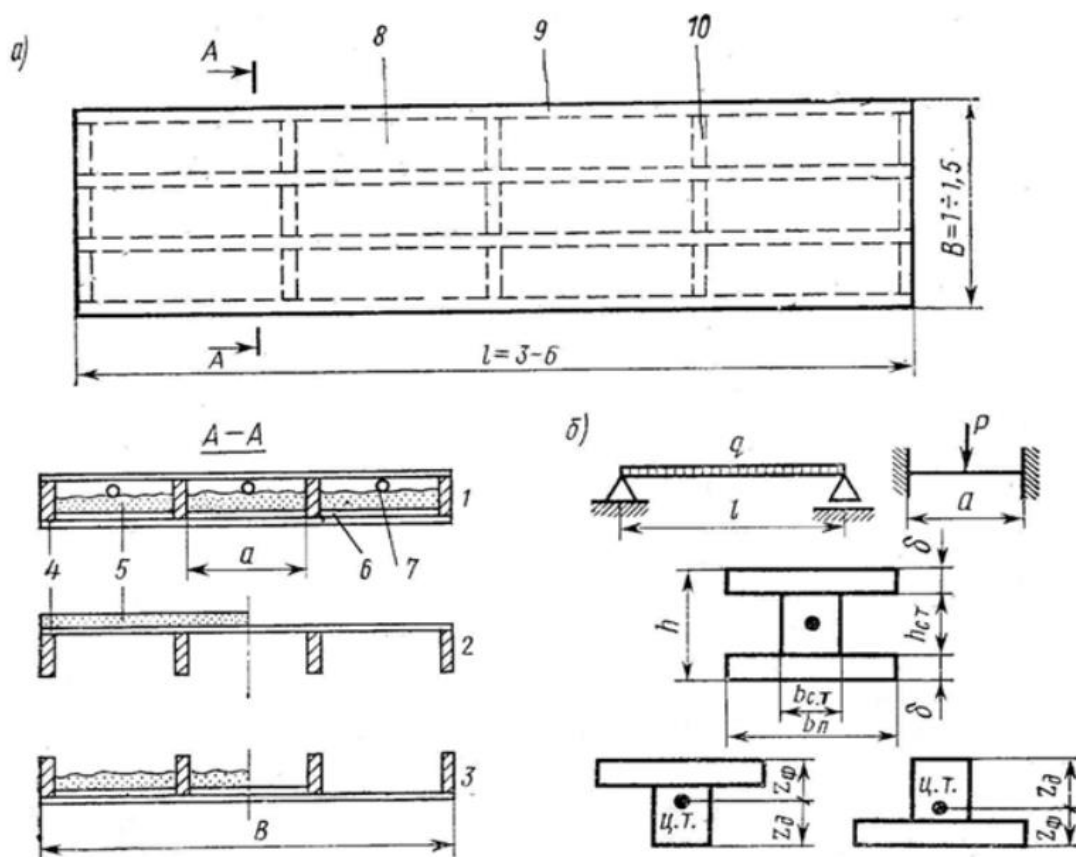


Рисунок 8.9 Клеєфанерні панелі настилу:

- а – конструкція; б – розрахункові схеми; 1 – коробчаста;
 2 – ребриста обшивкою догори; 3 – ребриста обшивкою вниз; 4 – клей;
 5 – утеплювач; 6 – пароізоляція; 7 – осушуючий продух; 8 – обшивка з фанери;
 9 – поздовжні ребра; 10 – поперечні ребра

Фанерні обшивки і поздовжні ребра працюють спільно завдяки жорсткості клейових з'єднань.

Перетин коробчатої панелі вважають умовно двотавровим, а ребристих – тавровим полицею вгору або вниз. При цьому ширина стінки дорівнює сумі ширин ребер ($b_{cm} = \Sigma b_{реб}$), а розрахункова ширина обшивок приймається рівною: $b_{розр} = 0,9b$, при $l = 6a$,

$$b_{розр} = 0,9 b_{розр} = 0,9 \frac{1}{a} b, \text{ при } l < 6a,$$

де b – повна ширина перерізу панелі; l – проліт панелі; a – відстань між повздовжніми ребрами в осях.

Геометричні характеристики січень панелі визначаються з урахуванням різних величин модулів пружності деревини E_d і фанери E_f . В результаті визначають приведені геометричні характеристики перерізу. Приведення виконується до того матеріалу, в якому визначається напруження.

Так, площа перерізу, приведеного до фанери:

$$F_{пр.ф.} = F_f + F_d \frac{E_d}{E_f} \quad (8.10)$$

Приведений момент інерції:

$$I_{пр.ф.} = I_f + I_d \frac{E_d}{E_f} \quad (8.11)$$

Приведений до фанери момент опору: $W_{пр.ф.} = \frac{I_{пр.ф.}}{Z_f}$, де Z_f – відстань від фанерної обшивки до центру ваги розрахункового перерізу, для коробчатих панелей з однаковими верхньої та нижньої обшивками: $Z_a = \frac{h}{2}$. В загальному випадку:

$$Z_a = \frac{S_{пр.ф.}}{F_{пр.ф.}} \quad (8.12)$$

Перетини клеєфанерних панелей підбирають методом спроб, при якому попередньо задаються перетинами, а потім проводять всі необхідні перевірки і визначають здатність по міцності і прогинах.

При розрахунку клеєфанерних панелей проводять наступні перевірки:

1) розтягнутої обшивки на міцність:

$$\sigma = \frac{M}{W_{\text{пр.ф.}}} \leq k_a R_{\text{фр}}, \quad (8.13)$$

де M – розрахунковий згинальний момент; $W_{\text{пр.ф.}}$ – момент опору, приведений до фанери; $R_{\text{фр}}$ – розрахунковий опір фанери розтягу; $k_{\text{ф}}=0,6$ для фанери марки ФСФ (0,8 – для бакелізованої фанери) – коефіцієнт, що враховує послаблення перерізу з'єднанням «на вус».

2) стиснутої обшивки на стійкість:

$$\sigma_c = \frac{M}{W_{\text{пр.ф.}}} \leq R_{\text{фс}}, \quad (8.14)$$

де $\varphi_{\text{ф}}$ – коефіцієнт повздожнього згину:

$$\varphi_{\text{ф}} = \frac{1250}{(a/\delta)^2}, \text{ при } a/\delta \geq 50, \quad (8.15)$$

$$\varphi_{\text{ф}} = 1 - \frac{(a/\delta)^2}{5000}, \text{ при } a/\delta < 50, \quad (8.16)$$

де a – відстань між ребрами в світлі, δ – товщина фанери.

3) верхньої обшивки на місцевий прогин від зосередженої сили $P=1,2$ кН:

$$\sigma_u = \frac{M_{\text{max}}}{W_a} \leq R_{\text{фи}}, \text{ де } M_{\text{max}} = \frac{Pa}{8}. \quad (8.17)$$

4) на сколювання по клейовому шву (в місцях приклеювання ребер до обшивки):

$$\tau = \frac{QS_{\text{пр.ф.}}}{I_{\text{пр.ф.}} b_{\text{ст}}} \leq R_{\text{фск}}, \quad (8.18)$$

де $b_{\text{ст}}$ – сумарна ширина ребер каркасу; $R_{\text{фск}}$ – розрахунковий опір фанери зколюванню.

5) по прогинам:

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \frac{q^H l_p^3}{0.7 E_a I_{пр.ф.}} \leq \left[\frac{f}{l} \right] \quad \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250}. \quad (8.19)$$

Клеєфанерні панелі стін розраховують на згин від вертикального навантаження і власної ваги. Граничний прогиби $= \frac{1}{250} l$.

Панелі з дерев'яним каркасом і плоскими азбестоцементними обшивками мають таку ж конструкцію і розміри, як і клеєфанерні панелі. Їх застосовують в холодних і утеплених покриттях і приміщеннях з азбестоцементною і рулонною покрівлею, стеля яких повинна бути негорючою.

Обшивки з'єднуються з каркасом шурупами, які володіють податливістю, необхідною для з'єднання різнорідних матеріалів. Ці панелі працюють і розраховуються за міцністю азбестоцементної обшивки на розтяг при згині, по міцності з'єднань і по прогину, як балки складеного перерізу на податливих зв'язках.

Тема 9.

ДЕРЕВ'ЯНІ БАЛКИ І СТІЙКИ

9.1. Суцільні, клеєдерев'яні, клеєфанерні і складені балки.

Класифікація балок.

Основні типи дерев'яних балок: складені та клеєні.

Класифікація складених балок:

- на дерев'яних вкладках;
- на пластинчастих нагелях;
- на шпонках і колодках.

Складені балки з використанням дерев'яних вкладок: складаються з двох–трьох брусів або колод без поздовжніх стиків, скріплені по висоті дерев'яними вкладками. З огляду на те, що поздовжні стики не допустимі, проліт балок при застосуванні стандартних брусів не може бути більше 6,5 м.

Складені балки з використанням пластинчастих нагелів: виготовляють з твердої деревини (дуб або антисептована береза). Товщина нагелів 1,2 і 1,6 см,

довжина (вздовж волокон) – 5,4 і 7,2 см. Нагелі вставляють в глухі або наскрізні пази. Глибина пазів для нагелів не більше $1/6 h$. Нижні бруси знаходяться в зоні розтягуючих напруг, тому для них підбирають лісоматеріали 1 сорту, для верхніх – 2 сорти, для середніх брусів придатна деревина 3 сорти.

Складені балки за використанням шпонок та колодок: складаються з брусів і колод, що з'єднуються по висоті короткими дерев'яними вкладками з такої ж деревини, що й елементи балки. Колодки є більш товстими, ніж шпонки. Волокна деревини шпонок і колодок мають той самий напрямок, що і елементи балки.

Класифікація клеєних балок: клеєдерев'яні (прямолінійні і гнукотклеєні), клеєфанерні (з плоскою і хвилястою стінкою).

Перетини клеєдерев'яних балок приймаються в більшості випадків шириною не більше 16,5 см, що дозволяє виготовляти їх з цілісних по ширині дощок. Балки більшої ширини виконують з менш широких дощок, склеєних між собою кромками. Ширина перерізу цих балок зазвичай приймається не менш $1/6$ їх висоти для більшої стійкості їх з площини згину. Висота перерізу балок визначається розрахунком і знаходиться в межах від $1/15$ до $1/10$ прольоту, вона ув'язується з товщиною дощок після фрезерування. Балки склеюють з дощок товщиною не більше 44 мм.

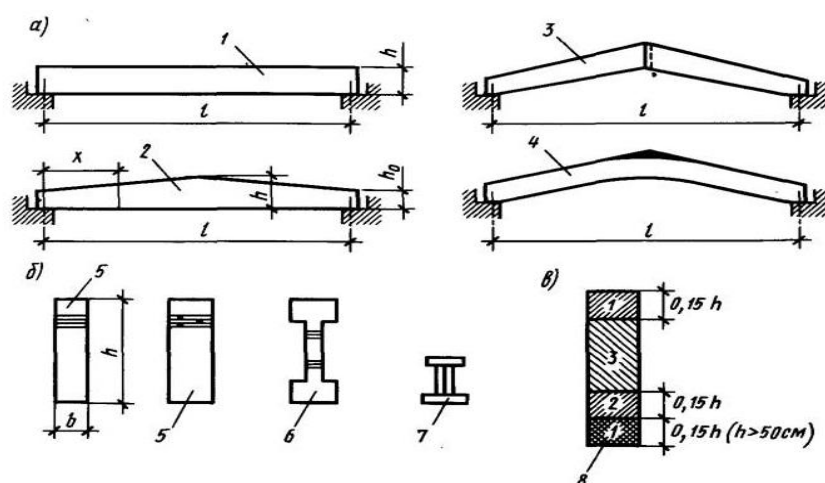


Рисунок 9.1 Клеєдерев'яні балки: а – типи балок; б – типи січень; в – сорти якості дощок; 1 – односхила балка; 2 – двосхила; 3 – зубчато-стикована; 4 – гнукотклеєна; 5 – прямокутний переріз; 6 – двотавровий переріз; 7 – рейкоподібний переріз

Клеєфанерні балки складаються з фанерних стінок, дощатих полиць і ребер, що склеєні між собою. Вони відрізняються значно меншими масою і витратою деревини, необхідною для їх виготовлення, завдяки тому, що деревина сконцентрована в зонах дії максимальних нормальних напружень при згині. Фанерні стінки цих балок працюють на зріз. За типом конструкції клеєфанерні балки поділяють на: з ребристими і з хвилястими стінками.

Клеєфанерні ребристі балки бувають коробчатого і двотаврового перетину. Перші відрізняються від других підвищеною жорсткістю з площини згину і гладкими бічними поверхнями. Двотаврові балки мають звичайно одинарні фанерні стінки і вимагають удвічі меншої витрати фанери.

По довжині клеєфанерні балки бувають постійного і змінного перерізу. Основним типом таких балок є трапецієподібні двосхилі. Їх висоту в середині прольоту визначають розрахунком на згин, і вона виходить близькою до $1/10 \dots 1/12$ прольоту. Висоту перерізу на опорах визначають розрахунком стінок на зріз і стійкість, і вона повинна бути не менше 0,4 висоти.

Балки змінного перерізу сегментної форми вимагають виготовлення гнutoго верхнього пояса, який не потребує влаштування стику в середині довжини. Односхилі прямокутні балки є найменш трудомісткими у виготовленні, але їх застосування обмежене.

Стінки клеєфанерних ребристих балок виготовляють з водостійкої будівельної фанери товщиною 10...12 мм. Верхні стиснуті пояси і ребра клеєфанерних балок виготовляють з дошок 2 сорту. По довжині ребра ставляться з кроком, рівним $1/8 \dots 1/10$ прольоту.

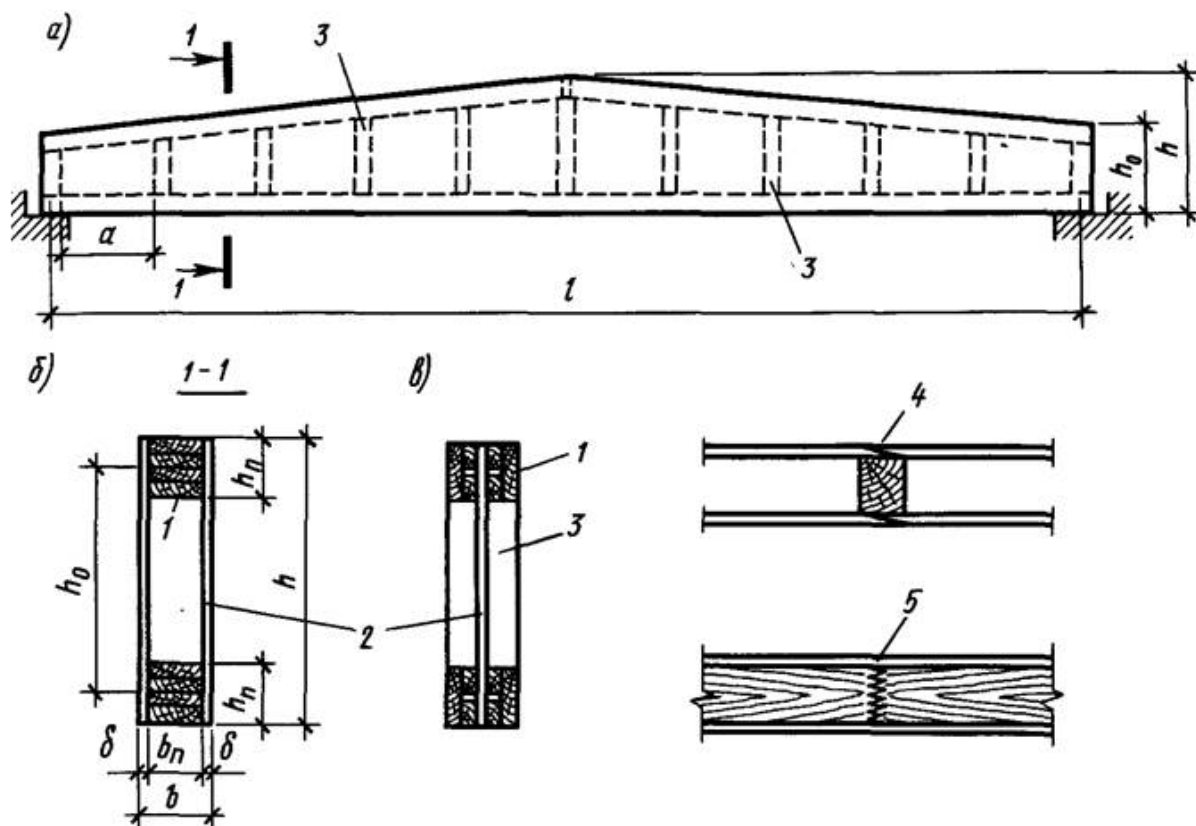


Рисунок 9.2 Клеєфанерна ребриста балка:

a – фасад; *б* – коробчастий та двотавровий перерізи;

1 – клеєдерев'яні пояси; 2 – фанерні стінки;

3 – дощаті ребра; 4 – стик поясу;

5 – стик стінки

Клеєфанерні балки з хвилястою стінкою відносяться до класу малогабаритних балок. Вони мають двотавровий переріз, постійний по довжині. Пояси їх складаються з поодиноких дощок 2-ї категорії якості. Фанерна стінка має хвилясту по довжині форму, яка надається їй в процесі виготовлення. Стінка вклеюється краями в пази поясів. Завдяки хвилястій формі стінка краще чинить опір втраті стійкості, ніж плоска, і не потребує зміцнення її ребрами жорсткості.

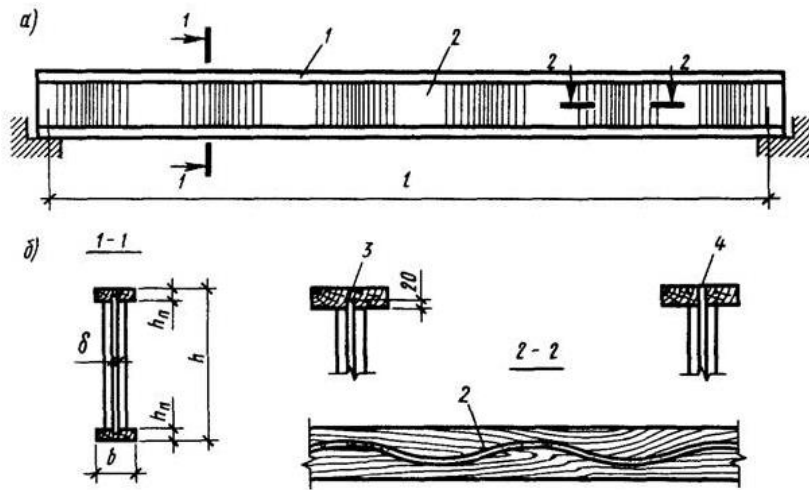


Рисунок 9.3 Клеєфанерна балка з хвилястою стінкою: а – фасад; б – січення;
 1 – пояси з дощок; 2 – хвиляста фанерна стінка; 3 – з'єднання в паз;
 4 – з'єднання по кромках

Клесармовані балки представляють собою дерев'яні клеєні балки, в крайні, найбільш напружені зони яких вклеюються стрижні сталеві арматури. Такі балки мають значно більшу несучу здатність і жорсткість. Ці балки більш трудомісткі у виготовленні.

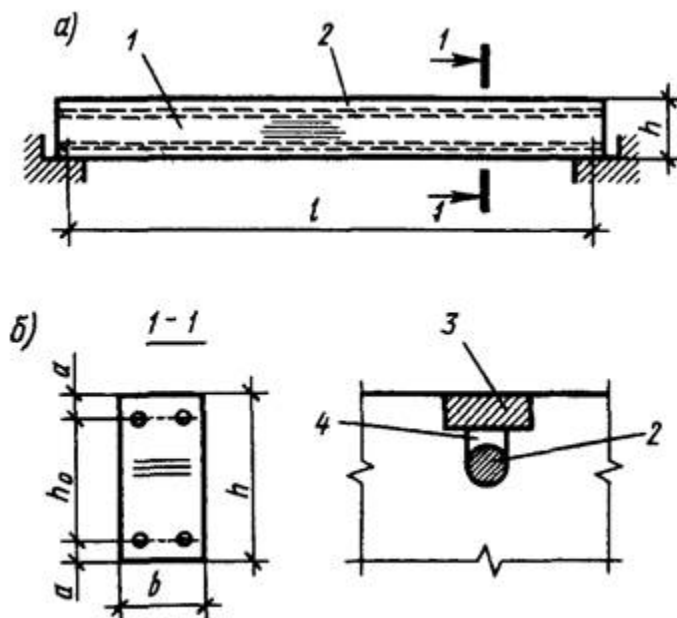


Рисунок 9.4 Клесармована балка: а – фасад; б – січення; 1 – клеєдерев'яна балка; 2 – сталеві арматури; 3 – рейка; 4 – паз

Клеєармованні балки мають прямокутний перетин шириною, необхідної для розміщення не менш двох арматурних стрижнів. По довжині ці балки мають постійний перетин.

Арматура застосовується подвійна класів А-400С. Відсоток армування знаходиться в межах 2... 4.

Клеї для вклеювання арматури застосовуються в основному епоксидно-цементні, надійно з'єднують сталеву арматуру з клеєної деревиною. Арматурні стрижні вклеюють в прямокутні пази шириною на 5 мм більше, ніж діаметр арматури, які заклеюють потім дерев'яними планками. Втрата їх несучої здатності відбувається в результаті руйнування деревини від нормальних або сколюючих напружень.

9.2. Розрахунок балок.

У більшості випадків балки розраховуються як однопролітна шарнірно оперта балка на вигин, на рівномірно розподілене навантаження (від власної ваги, покриття, снігу):

Порядок розрахунку складених балок Дерев'ягіна:

1. Визначається необхідний момент опору балки:

$$W_{min} = M_{max} / (R_{зг} * k_w) \quad (9.1)$$

де k_w – коефіцієнт, що враховує податливість зв'язків.

2. Задаємося шириною брусів з урахуванням існуючого сортаменту.

3. Визначається необхідна висота перерізу балки:

$$h = \sqrt{\frac{6W_{min}}{b}} \quad (9.2)$$

4. В залежності від необхідної загальної висоти балки komponується переріз балки.

5. Перевіряється прогин балки від експлуатаційних навантажень з урахуванням введення до моменту інерції перерізу поправочного коефіцієнта $K_{ж}$, що враховує податливість зв'язків;

6. Визначається необхідне число пластинчастих нагелів (у кожному шві балки) за формулою:

$$n_{пл} = 1.5 * M_{max} * \frac{S_{бр}}{I_{бр} * T_{пл}} \quad (9.3)$$

При симетричному рівномірно розподіленому навантаженні відносно середини прольоту дозволяється не ставити нагелі в середній ділянці довжиною $0,2l$. Тоді для балки з двох брусів формула набуде вигляду:

$$n_{пл} = \frac{1.8 * M_{max}}{h * T_{пл}} \quad (9.4)$$

Якщо отримана кількість пластинчастих нагелів не поміщається по довжині балки, то необхідно збільшити розміри балки або змінити конструкцію балки.

9.3. Дерев'яні стійки, класифікація.

Навантаження, що сприймаються плоскими несучими конструкціями покриття (балки, арки покриття, ферми), передаються на фундамент через стійки або колони.

Дерев'яні стійки є стислими або стиснуто-зігнутих несучими конструкціями, що спираються на фундаменти. Їх застосовують у вигляді вертикальних стержнів, що підтримують покриття або перекриття, у вигляді стійок підкисних систем, у вигляді жорстко защемлених стійок однопролітних або багатопролітних рам.

По конструкції їх можна поділити на стійки з суцільних елементів, складені, клеєні та решітчасті стійки.

Стойки з суцільних елементів.

Поділяються на такі види:

1) У вигляді одиночного бруса або колоди: такі стойки мають порівняно невелику несучу здатність. Їх висота і розмір поперечного перерізу обмежені сортаментом лісоматеріалів. У цих стойках застосовують шарнірне обпирання на фундамент.

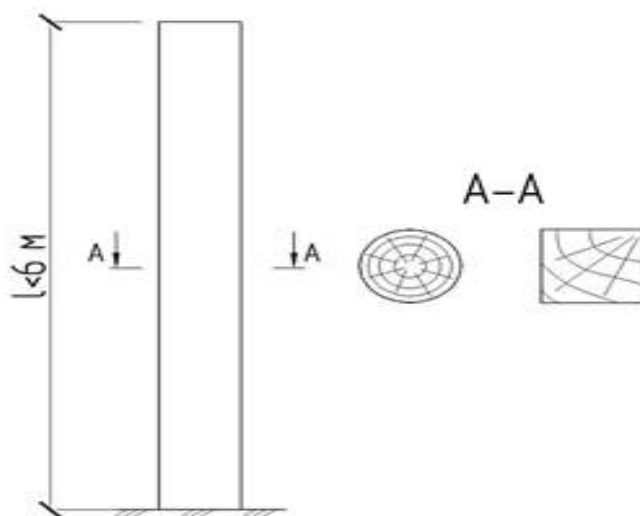


Рисунок 9.5 Стойки з одиночних колод і брусів

2) Стойки у вигляді елементів складеного перетину з двох або декількох брусів, дощок або колод, з'єднаних болтами або іншими податливими зв'язками.

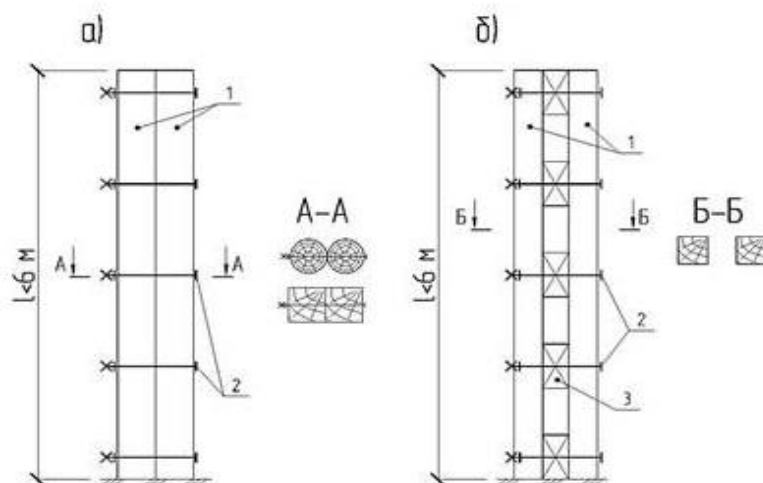


Рисунок 9.6 Складені брущаті стойки: а – суцільні; б – наскрізні з прокладками; 1 – бруси; 2 – болти; 3 – прокладки

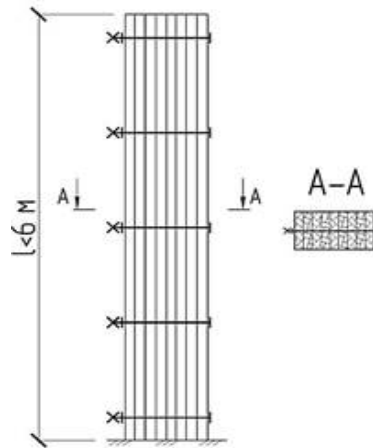


Рисунок 9.7 Складена стійка з дошок

Стійки складеного перетину так само мають висоту, обмежену сортаментом, однак, їх несуча здатність може бути істотно вищою в порівнянні зі стійками з одиночного перетину.

Сполучення, що застосовуються для з'єднання цих стійок (болти, цвяхи, шпонки) є податливими, що збільшує гнучкість стійок і має бути враховано при розрахунку.

Клеєні стійки. Дощатоклеєні і клеєфанерні стійки є елементами заводського виготовлення.

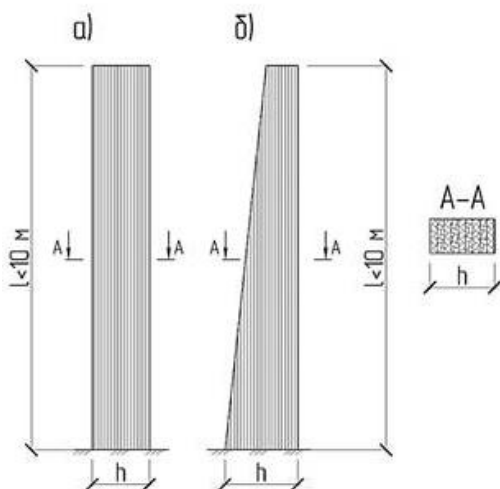


Рисунок 9.8 Дощатоклеєні стійки

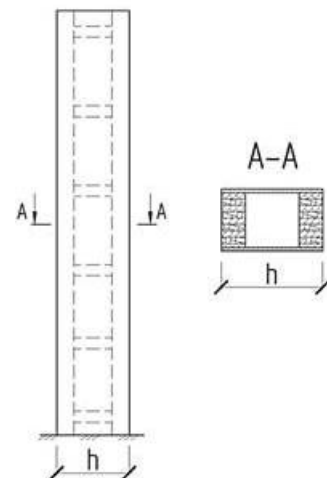


Рисунок 9.9 Клеєфанерні стійки

а) постійного прямокутного і квадратного перетину; б) змінного прямокутного перерізу

Клеєні стійки можуть мати більший поперечний переріз і висоту: до 8–10 м. Для їх виготовлення використовують деревину 2 і 3 сортів. Перевага таких стійок полягає в їх індустріальності, простоті, транспортуванні та монтажу.

Дощатоклеєні стійки квадратного перетину, як правило, мають шарнірне закріплення кінців. Стійки прямокутного перерізу теж зазвичай мають шарнірно закріплені кінці і розташовуються більшими розмірами перерізів в напрямку з площини стін.

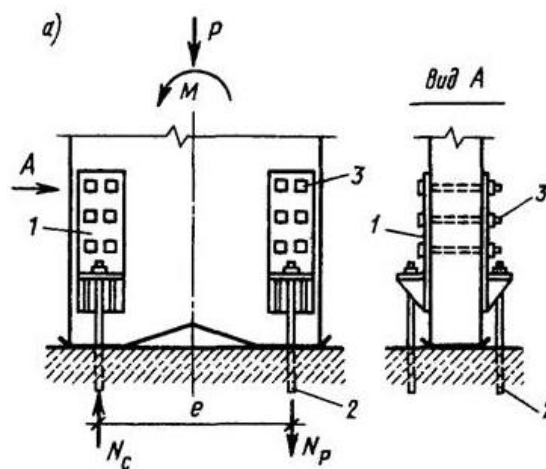


Рисунок 9.10 Жорстке обпирання дощатоклеєних стійок змінного перерізу:

1 – анкерні столики, 2 – анкери, 3 – болти

Дощатоклеєні стійки змінного прямокутного перерізу служать опорами основних несучих конструкцій покриттів промислових однопролітних будівель значної висоти. Вони мають жорстке з'єднання з фундаментом і шарнірне з опорними вузлами конструкцій покриття.

Жорстке з'єднання опорного кінця стійки з використанням вклеєних анкерних столиків: з'єднання складається з чотирьох сталевих столиків, прикріплених до крайніх зон стійки болтами, і чотирьох анкерів, замонолічених в бетоні фундаменту, які притягують до нього столики. Це з'єднання дозволяє підтягувати гайки анкерів в процесі експлуатації будівлі і при необхідності міняти стійки. В середній частині торця нижнього кінця стійки рекомендується робити трикутний виріз. При цьому нормальні напруги стиснення при згині

концентруються в крайніх зонах торця стійки, збільшується плече пари внутрішніх сил при вигині і зменшуються зусилля в опорних кріпленнях.

9.4. Розрахунок стійок.

Обчислення зусиль в стійках виконують з урахуванням прикладених до стійки навантажень.

Середні стійки каркаса будівлі працюють і розраховуються як центрально стиснуті елементи на дію найбільшого стискаючого зусилля N від власної ваги всіх конструкцій покриття (G) і снігового навантаження ($P_{сн}$).

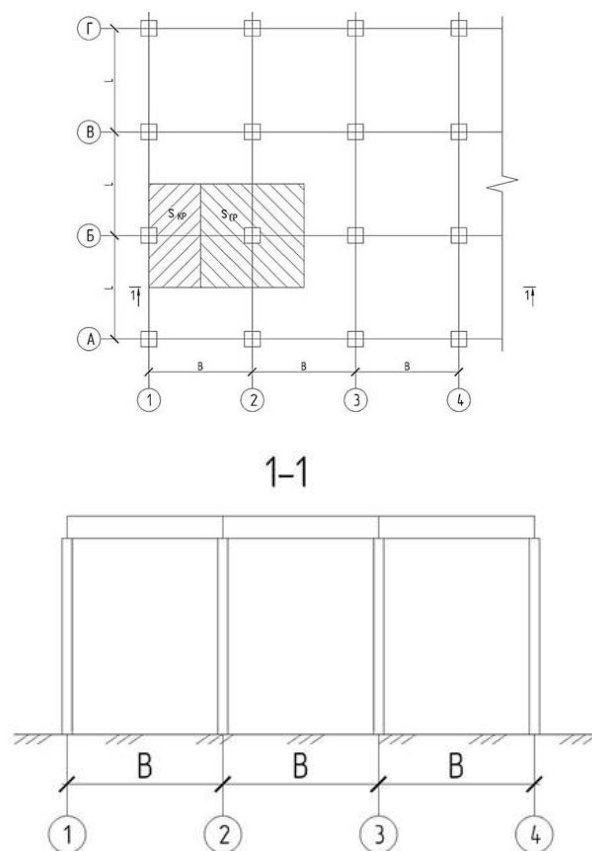


Рисунок 9.11 Вантажні площі середньої і крайньої колон

Розрахунок центрально стиснутих середніх стійок виконують:

а) на міцність:

$$\frac{N}{F_{нт}} \leq R_C, \quad (9.5)$$

де R_C – розрахунковий опір деревини на стиск вздовж волокон;
 $F_{нт}$ – площа нетто поперечного перерізу елемента;

б) на стійкість:

$$\frac{N}{\varphi * F_{\text{розр}}} \leq R_c, \quad (9.6)$$

де φ – коефіцієнт поздовжнього згину; $F_{\text{розр}}$ – розрахункова площа поперечного перерізу елемента;

Навантаження збираються з площі покриття за планом, що припадає на одну середню стійку ($S_{\text{ср}}$).

Крайні стійки. Крайня стійка знаходиться під дією поздовжніх відносно осі стійки навантажень (G і $P_{\text{сн}}$), які збираються з площі $S_{\text{ср}}$ і поперечних P_1 , P_2 і X . Крім цього від дії вітру виникає поздовжня сила $P_{\text{в}}$.

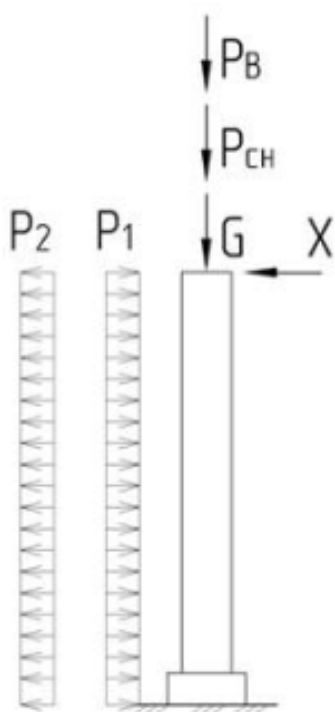


Рисунок 9.12 Навантаження на крайню стійку: G – навантаження від власної ваги конструкцій покриття; $P_{\text{сн}}$ – навантаження від ваги снігового покриву; $P_{\text{в}}$ – вертикальне вітрове навантаження; P_1 – вітрове навантаження від вітру зліва (напір вітру); P_2 – вітрове навантаження (відсмоктування) при вітрі справа; X – горизонтальна зосереджена сила, прикладена в точці примикання ригеля до стійки

Крайні стійки розраховуються як стиснуто-згинальні елементи. Значення поздовжньої сили N і згинального моменту M приймаються для такого поєднання навантажень, при якому виникають найбільші стискаючі напруження.



Рисунок 9.13 Розрахункова схема стійки

Ексцентриситет дорівнює:

$$e = \frac{h - h_{\text{в}}}{2} \quad (9.7)$$

Ексцентриситет для стійок з постійною висотою перетину дорівнює нулю ($e = 0$), а для стійок зі змінною висотою перерізу береться як різниця між геометричною віссю опорного перетину і віссю прикладання поздовжньої сили.

Розрахунок стиснуто-зігнутих крайніх стійок виконується:

а) на міцність:

$$\sigma = \frac{N}{F_{\text{розр}}} + \frac{M_{\text{д}}}{W_{\text{розр}}} \leq R_{\text{с}} \quad (9.8)$$

б) на стійкість плоскої форми згину при відсутності закріплення або при розрахунковій довжині між точками закріплення $l_p > 70b^2/n$ по формулі:

$$\sigma_c = \frac{N}{\varphi R_c F_{бр}} + \left(\frac{M_d}{\varphi_M R_u W_{бр}} \right)^n \leq 1 \quad (9.9)$$

Геометричні характеристики, що входять до формули, обчислюються в опорному перерізі. З площини рами стійки розраховують як центрально стиснуті елементи.

Розрахунок стиснутих і стиснуто-згинальних стійок складеного перетину проводиться за наведеними вище формулами, однак при обчисленні коефіцієнтів φ і ξ в цих формулах враховується збільшення гнучкості стійки за рахунок податливості зв'язків, що з'єднують гілки. Ця збільшена гнучкість названа приведеною гнучкістю λ_n .

Розрахунок решітчастих стійок можна звести до розрахунку ферм. При цьому вітрове рівномірно розподілене навантаження зводиться до зосереджених сил у вузлах ферми. Вважається, що вертикальні сили G , R_c , R_b сприймаються тільки поясами стійки.

Вузли стійок. У верхньому вузлі, де на стійку спирається несуча конструкція покриття, стійка відчуває зминання вздовж волокон.

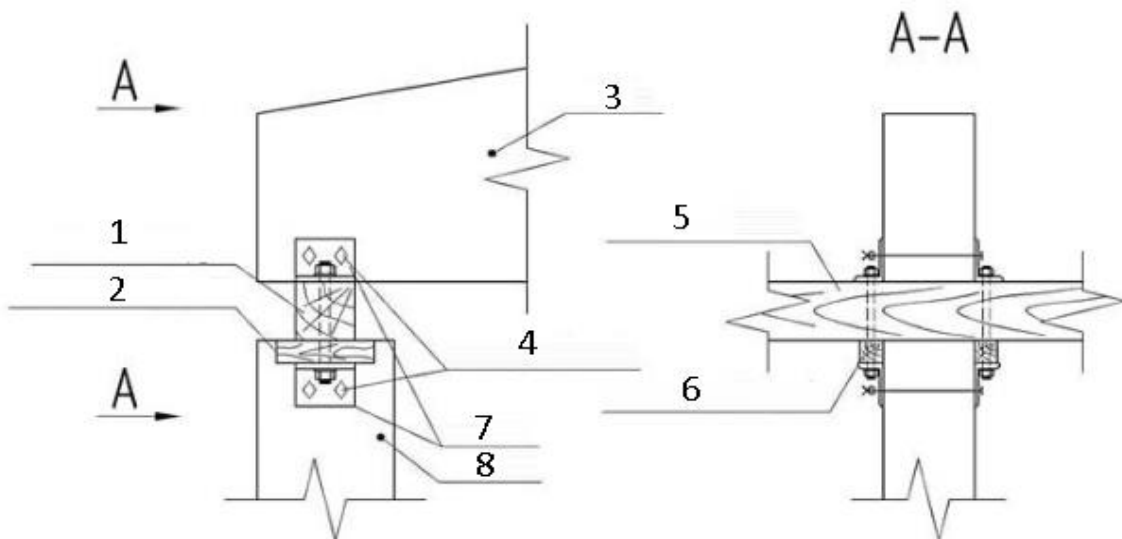


Рисунок 9.14 Вузол обпирання балки на стійку:

1 – обв'язувальний брус, 2 – підкладка (брусок); 3 – ригель; 4 – стягуючі болти; 5 – обв'язувальний брус; 6 – підкладка (брусок); 7 – кутник; 8 – стійка

Цей вузол має однотипне рішення для стійок різних видів.

Опорний вузол. Для стійок з суцільних елементів і для клеєних стійок, що працюють на стиск, опорний вузол вирішується простим упором стійки в сталевий башмак, який прикріплений до фундаменту анкерними болтами. Стійки кріплять до башмака болтами, діаметр і число яких визначається з конструктивних міркувань.

У стиснуто-зігнутих жорстко защемлених стійках вузол може бути здійснений у вигляді анкерних столиків, прикріплених до стійки болтами.

Вузол сприймає поздовжню силу N і згинальний момент M .

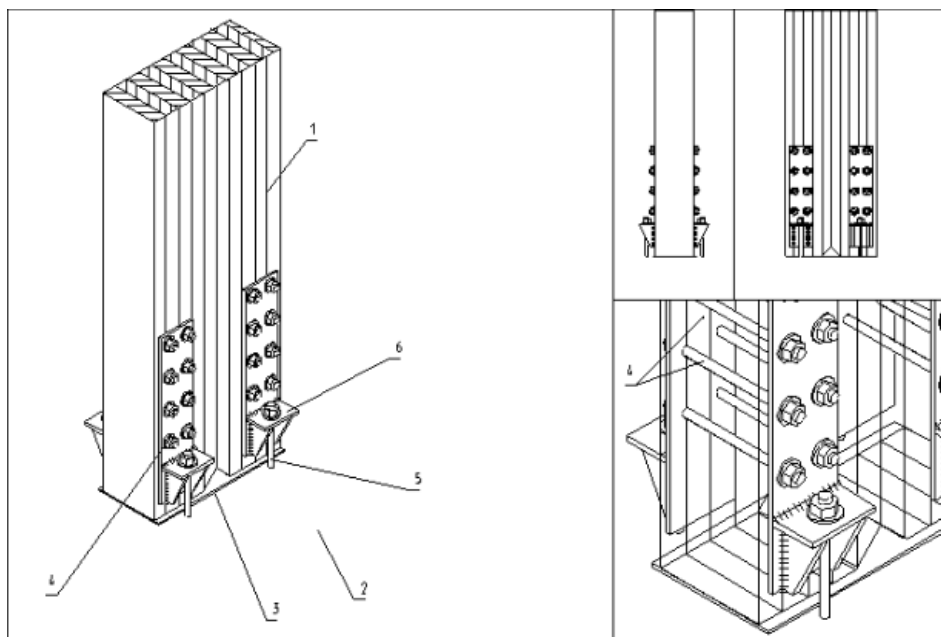


Рисунок 9.15 Вузол спирання стійки на фундамент:

1 – нижня частина клеєдощатої стійки; 2 – фундамент; 3 – шар з гідроізоляції; 4 – стяжні болти; 5 – анкерні болти; 6 – упорний столик

Розрахунок опорного кріплення виконують при поєднанні навантажень, що викликають найбільше розтягуюче зусилля N_p в анкерних елементах:

$$N_p = -\frac{N}{2} + \frac{M}{\epsilon e} \quad (9.10)$$

де N і M поздовжня сила і згинальний момент в опорному перерізі;

$$\varepsilon = 1 - \frac{\omega^2}{3000} + \frac{N}{R_c F_{6p}} \quad (9.11)$$

ε – враховує додатковий згинальний момент від поздовжньої сили,

e – плече сил N_p і N_e .

За найбільшим значенням N_p обчислюють число анкерних болтів, розташованих з одного боку стійки.

Тема 10.

ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

10.1. Технологічний процес виготовлення дерев'яних конструкцій.

Виготовлення дерев'яних конструкцій у даний час орієнтовано в основному на індустріальні конструкції заводського виготовлення. Переважно це клеєні дерев'яні конструкції. Саме вони забезпечують високу якість і довговічність конструкцій, а збірність елементів дозволяє істотно скоротити терміни будівництва.

Технологічний процес виготовлення дерев'яних конструкцій як клеєних, так і з суцільної деревини складається з таких операцій: підготовка пиломатеріалів, що включає їхнє сушіння до визначеної вологості залежно від умов експлуатації і сортування за природними вадами і дефектами, отриманими при сушінні деревини; готування і нанесення клеїв; запресовування і склеювання; механічна обробка; нанесення захисних покриттів; збирання конструкцій.

10.2. Підготовка матеріалів та сушіння.

Підготовка матеріалів. Основними матеріалами несучих дерев'яних клеєних конструкцій є пиломатеріали хвойних порід, що поставляються переважно в розсортованому вигляді. Розміри пиломатеріалів вибирають виходячи з необхідних проектних розмірів конструкцій з урахуванням запасів на механічну обробку і сушіння. Сушіння матеріалів є однією з основних

операцій технологічного процесу виготовлення дерев'яних клеєних конструкцій і значною мірою визначає їхню експлуатаційну міцність. Сушіння повинне довести пиломатеріали до заданої вологості. Сушити їх доцільно на місці розпилювання. При цьому слід пам'ятати, що вологість $W = 18\%$ називається транспортною. Транспортування деревини вагонами при такій вологості дозволяє знизити приблизно на 40–50% її масу, в результаті чого ємкість вагона збільшується на 5%, що під час перевезення за рік 20 млн. м³ пиломатеріалів вивільнює понад 10 тисяч вагонів.

Залежно від призначення пиломатеріалів, що висушуються, встановлено п'ять категорій якості сушіння: 0, I, II, III і IV. Для досягнення необхідної якості пиломатеріалів потрібно дотримувати режим сушіння, тобто розклад температури і ступеня насичення сушильного агента (повітря). Якщо режим сушіння забезпечує задану якість і швидкість сушіння, то він називається раціональним.

Чим вище температура, нижче ступінь насичення і вище швидкість руху сушильного агента (повітря), тим інтенсивніше протікає процес сушіння. Залежно від вимог до якості деревини встановлені такі категорії режимів сушіння: м'який (М), нормальний (Н), форсований (Ф) і високотемпературний.

Волога в деревині знаходиться у двох станах – волога вільна, тобто така, що заповнює порожнини кліток і міжклітинних просторів, і волога зв'язана (гігроскопічна), що просочує стінки (оболонки) кліток.

Деревина має властивість гігроскопічності, тобто вона здатна поглинати пари води з повітря або віддавати їх, змінюючи свою вологість залежно від зміни температури і ступеня насичення повітря. Стан деревини, при якому в ній відсутня вільна волога, але міститься максимально можлива кількість зв'язаної води, називається межею гігроскопічності $W_{п.м}$. Практично для всіх порід деревини при температурі $t = 200\text{C}$ межа гігроскопічності $W_{м.г} = 30\%$. При підвищенні температури межа гігроскопічності знижується, наприклад, при $t = 600\text{C}$ $W_{п.г} = 26\%$.

При сушінні деревини відбувається її усушка, коли зменшуються її лінійні розміри та об'єм. Усушка деревини відбувається тільки при видаленні з неї зв'язаної вологи, тобто від межі гігроскопічності до абсолютного сухого стану. Розбухання деревини відбувається при поглинанні нею зв'язаної вологи.

Зменшення або збільшення в деревині кількості вільної вологи не викликає зміни її розмірів, змінюється тільки маса деревини.

Усушка деревини при видаленні з неї зв'язаної вологи різна в різних напрямках, наприклад, зміна розмірів уздовж волокон може досягати 96 0,1–0,2%, у тангенціальному напрямку – 8–12%, у радіальному напрямку – 4–8%. Останні два фактори є причиною поперечного короблення дощок. Обов'язковою умовою переміщення вологи всередині деревини є перепад вологості між її шарами. У перший же період сушіння, коли висушуються зовнішні шари, утворюється перепад вологості, що викликає переміщення вологи зсередини масиву деревини до поверхні. При сушінні виникає також перепад температур по перерізу матеріалу, що є другою причиною руху вологи в деревині: волога переміщується від більш нагрітих місць до більш холодних, тобто від поверхні всередину, тому що поверхневі шари як більш сухі матимуть більшу температуру, ніж внутрішні. Ця друга причина, природно, сповільнює процес сушіння.

Під час сушіння пиломатеріалів треба постійно стежити за режимом сушіння, тому що може виникати не тільки поперечне, але й поздовжнє короблення (дугоподібне і гвинтове) через наявність у дошці заболоні, ядра і косошару і, що не менш небезпечно, можуть з'являтися внутрішні залишкові напруження. Якщо напруження розтягу в зовнішніх шарах перевищують межу міцності деревини поперек волокон, то при значному перепаді вологості вже в перший період сушіння в матеріалі можуть виникнути зовнішні тріщини.

Пиломатеріали, призначені для виготовлення несучих конструкцій, рекомендується сушити комбінованим способом, що включає попереднє

сушіння до вологості близько 20% і камерне сушіння до вологості 8–12%. Особливу увагу слід приділяти правильному формуванню штабелів перед сушінням. Укладання пиломатеріалів у штабель повинно забезпечувати рівномірне омивання сушильним агентом (повітрям) всього матеріалу, збереження пиломатеріалом первісної форми й охороняти його від короблення, для чого використовують, наприклад, гвинтові притискачі. Внутрішні напруження і зменшення міцності деревини після сушіння не допускаються.

10.3. Сортування пиломатеріалів, механічна обробка.

Сортування пиломатеріалів проводять для відбору деревини необхідної якості відповідно до категорій елементів дерев'яних конструкцій. При постачанні пиломатеріалів замість візуального використовують силове сортування. При цьому вихід вищих сортів пиломатеріалів збільшується, за рахунок чого досягається економія деревини до 20%.

Пиломатеріали зберігають у штабелях під навісами або на складах у закритих приміщеннях. Штабель повинен бути правильної геометричної форми, зі строго вертикальними бічними і торцевими поверхнями. Звичайно штабелі виконують шириною 1,8–2,4, висотою 2,6–5, довжиною 6,5–6,8 м.

Штабелі формують з однакових за породами і товщинами пиломатеріалів на прокладках з антисептованих рейок 25x40 мм. Прокладки ставлять строго вертикально одна під одною. Крайні прокладки повинні бути урівень з торцями штабеля. Щоб уникнути поздовжнього короблення за спеціальними таблицями встановлюють кількість прокладок по довжині штабеля залежно від породи деревини, товщини і довжини пиломатеріалів.

Механічна обробка включає поперечно-поздовжній розкрій дощок і фрезерування поверхонь перед склеюванням. На сучасних заводах ці операції проводять на автоматичних або напівавтоматичних лініях, що складаються із спеціалізованих верстатів. Механічну обробку заготовок виконують в межах припусків на обробку, регламентованих держстандартами.

Після механічної обробки дощок до склеювання їх поверхні повинні захищатися від забруднення і зволоження.

У результаті механічної обробки на поверхні деревини можуть бути різні нерівності—борозни, риски від різця, хвилястість від обертового інструмента, виколи і вириви шматків деревини при пилянні, ворсистість і моховитість при шліфуванні. Залежно від призначення виробів до поверхні деревини ставлять різні вимоги. Чистоту поверхні оцінюють ступенем шорсткості, що визначається середнім значенням максимальних висот нерівностей (від вершини до дна западин). 98 Залежно від розмірів нерівностей держстандартом встановлено 12 класів шорсткості:

<i>Клас шорсткості</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Параметри шорсткості, мкм</i>	1600	1200	800	500	320	200	100	60	32	16	8	4

Ці класи шорсткостей на будівельних кресленнях указують так:

- склеювання зубчастих стиків: ∇Д8 (8 клас);.
- склеювання пластей і ребер: ∇Д7 (7 клас).

Для забезпечення точної зборки дерев'яних конструкцій необхідно, щоб розміри деталей, що з'єднуються, розміщувалися у визначених межах. Це досягається дотриманням системи допусків при обробці елементів. Дійсний розмір обробленої деталі може відрізнятись від номінального розміру, заданого кресленням. Для забезпечення взаємозамінності деталей на кресленні ставлять два розміри, що вказує межі дійсного розміру. Різниця між найбільшим і найменшими граничними розмірами називається допуском на неточність виготовлення. Чим більші допуски, тим менші вимоги, які ставлять до точності виготовлення деталей.

Сукупність допусків, що відповідають однаковому ступеню точності для всіх номінальних розмірів, називається квалітетом.

Крім дотримання системи допусків, при обробці елементів дерев'яних конструкцій необхідно також враховувати припуски на механічну обробку. Припуском називається перевищення розмірів заготовки над номінальними розмірами деталі, тобто це шар матеріалу, що підлягає видаленню при механічній обробці. Треба прагнути до мінімальних припусків, тому що це дозволяє більш раціонально використовувати деревину. Припуски залежать від виду механічної обробки і технічного стану устаткування.

При розрахунку кількості лісоматеріалів, необхідних для виготовлення виробів заданих розмірів і якості, слід враховувати:

- кількість відходів при розкрої (торцювання, вирізка дефектних місць та ін.);
- розміри необхідних припусків на чистову обробку (стругання, фрезерування та ін.);
- величину очікуваних втрат у виробництві.

Виходом чорнових заготовок називається відношення (у %) об'єму заготовок, отриманих в результаті розкрою, до об'єму розкромлених дощок, фанери, плит та ін. Остаточним виходом називається відношення об'єму оброблених деталей і виробів до об'єму розкромлених дощок, фанери, плит та ін.

Розмір виходу залежить від виду продукції, породи і сортності сировини, методів розкрою та обробки. Вихідними даними у визначенні виходу служать креслення, держстандарти і технічні умови на ці вироби.

10.4. Готування і нанесення клеїв.

Для готування клеїв повинні застосовуватися дозовані зважуванням компоненти, що задовольняють вимогам відповідних держстандартів. Перед готуванням компоненти клеїв ретельно перемішують.

Нанесення клею – важлива операція в технології виготовлення конструкцій. Вона визначає витрату клею і якість склеювання. Найбільш висока

якість досягається при двосторонньому нанесенні клею. Максимальна міцність забезпечується визначеною товщиною клейового прошарку (0,1–0,2 мм), що контролюється витратою клею (0,25–0,35 кг/м²). Клей наносять вальцьовими клеєнаносювачами способами контактного (для високов'язких клеїв) і безконтактного (при виготовленні крупногабаритних елементів) наливу, а також повітряним розпиленням (для малов'язких клеїв).

10.5. Запресовування і склеювання.

Після нанесення на заготовки клею виконують зборку елементів (або конструкцій), транспортування їх і витримку під тиском до необхідної міцності клейових з'єднань. З огляду на обмежену життєздатність клею тривалість складальних операцій повинна бути мінімальною і складати за часом 40–50% життєздатності клею. Тривалість складальних операцій залежить від відкритої витримки (час з моменту нанесення клею до контакту поверхонь) і закритої витримки (час з моменту контактування поверхонь до запресовування). Найбільш оптимальним є процес, при якому заготовки одразу після нанесення клею контактують і запресовують.

У процесі запресовування конструкції склеюються під тиском, що забезпечує повний рівномірний контакт поверхонь по всій площі склеювання.

При масовому виготовленні однотипних конструкцій з невеликою шириною клейових прошарків (до 120 мм) запресовування здійснюють у пресових установках безперервної дії із застосуванням високочастотного нагрівання. При виготовленні великопрольотних конструкцій криволінійного обрису збирання доцільно виконувати безпосередньо у ваймових пресах або застосовувати цвяхове пошарове запресовування.

Діючими нормативними документами передбачається запресовування при тиску від 0,03 до 0,1 МПа залежно від виду клею, його в'язкості та інших властивостей.

Режим склеювання має на увазі необхідні температуру і час витримки до досягнення клейовим з'єднанням необхідної міцності. Для прискорення

технологічного процесу виготовлення встановлена розбірна міцність, що дорівнює не менше 50% розрахункової для прямолінійних і не менше 70% – для криволінійних елементів (конструкцій).

склеюванні в нормальних умовах ($t = 16-200^{\circ}\text{C}$) час твердіння визначається властивостями клеїв і складає до 10 годин для прямолінійних і до 20 годин для криволінійних елементів. Склеювання прискорюється застосуванням контактного і високочастотного нагрівання.

Захист дерев'яних клеєних конструкцій від зволоження, біопошкоджень і загоряння в обов'язковому порядку необхідний для несучих конструкцій. Найбільш ефективними є покриття, що забезпечують комплексний захист деревини. Однак арсенал таких покриттів поки невеликий, тому використовують систему захисних речовин. Спочатку деревину просочують водорозчинними складами, що захищають її від гниття (паста на латексі ПАЛМ-Ф, водний розчин фтористого натрію, кремнефтористий амоній) і загоряння (склад ППЛ, перхлорвінілова емаль ПХВО). Після підсушування поверхні деревини її обробляють захищаючими засобами від зволоження (пентафталева емаль ПФ-115, алкідно-карбамідна емаль МЧ-181, лаки та ін.). Вид і технологія обробки приводяться на робочих кресленнях з посиланням на нормативні документи і технічні умови.

10.6. Контроль якості дерев'яних клеєних конструкцій.

Контроль якості дерев'яних клеєних конструкцій виконують на всіх основних технологічних етапах їхнього виготовлення. Готові конструкції повинні строго відповідати вимогам держстандарту або технічним умовам на конкретні види конструкцій. Поетапний контроль і контроль готової продукції включає ряд операцій. При підготовці пиломатеріалів і заготовок перевіряють вологість деревини, внутрішні напруження, чистоту обробки поверхні, виявляють і усувають неприпустимі для елементів конструкцій відповідної категорії пороки, встановлюють механічні характеристики деревини і відповідність геометричних розмірів пиломатеріалів і заготовок проектним, а

також правильність вибору геометрії зубчастих шипів. При підготовці клеїв треба правильно витримати склад, визначити умовну в'язкість, життєздатність, час витримки до запресовування деталей і час твердіння клею.

У процесі склеювання звертають увагу на температуру і вологість повітря цеху, на витрату клею і якість його нанесення на поверхні заготовок, на вибір способу запресовування і забезпечення необхідного тиску запресовування, на вибір способу нагрівання і підтримування потрібної температури склеювання, на витримку під тиском і після розпресовування до механічної обробки готового дощатоклеєного блоку. Контроль клейових з'єднань після виготовлення елемента полягає в перевірці товщини клейового прошарку, визначенні міцності при сколюванні уздовж волокон і при вигині і розтяганні зубчастих з'єднань, встановленні однорідності клейового прошарку і непрочлеїв. Після виготовлення конструктивного елемента з дощатоклеєного блоку перевіряється якість механічної обробки, фіксується можливе відхилення від проектної геометричної форми і розмірів, виявляється наявність видимих дефектів і перевіряється якість захисної обробки. Останнім етапом контролю якості є перевірка несучої здатності конструкцій. Партія конструкцій, що пройшли зовнішній огляд і обмірювання, вважається прийнятною, якщо при випробуваннях довільно відібраних екземплярів відношення руйнівного навантаження до контрольного навантаження буде для усіх відібраних екземплярів більше одиниці.

ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

1. Використання дерев'яних конструкцій.
2. Перспективи розвитку сучасних дерев'яних конструкцій-армовані дерев'яні конструкції
3. Будова деревини.
4. Захист деревини від гниття та горіння.
5. Фізичні властивості деревини.
6. Механічні властивості деревини.
7. Сортамент лісоматеріал.
8. Склад та структура пластмас.
9. Дерев'яністі пластики.
10. Склопластики.
11. Термопластики.
12. Тканини і плівки.
13. Піноласти.
14. Властивості пластмас.
15. Граничні стани. Принцип розрахунку за граничними станами.
16. Нормативні та розрахункові навантаження.
17. Розрахункові характеристики матеріалів.
18. Розрахунок центрально-розтягнутих елементів.
19. Розрахунок центрально-стиснутих елементів.
20. Види згину. Напружено-деформований стан при згині.
21. Розрахунок на простий згин.
22. Розрахунок на косий згин.
23. Розрахунок елементів, що працюють на складний опір.
24. Класифікація з'єднань і основні вимоги до них.
25. З'єднання без спеціальних зв'язків – контактні з'єднання.
26. З'єднання на цвяхах.
27. З'єднання на лобових упорах.

28. З'єднання: конструктивні врубки
29. Клейові з'єднання.
30. З'єднання елементів дерев'яних конструкцій на механічних зв'язках.
31. Принцип розрахунку і конструювання з'єднань.
32. Класифікація нагельних з'єднань.
33. Напружено-деформований стан нагельного з'єднання.
34. Розташування циліндричних нагелів у з'єднаннях.
35. Розрахунок нагельних з'єднань.
36. Нагельні з'єднання зі сталевими накладками.
37. Класифікація огорожувальних конструкцій.
38. Розрахунок і конструювання прогонів.
39. Розрахунок і конструювання дощатих настилів.
40. Класифікація балок.
41. Суцільні, клеєдерев'яні, клеєфанерні і складені балки.
42. Розрахунок балок.
43. Дерев'яні стійки, класифікація.
44. Розрахунок стійок.
45. Технологічний процес виготовлення дерев'яних конструкцій.
46. Підготовка матеріалів та сушіння.
47. Сортування пиломатеріалів, механічна обробка.
48. Готування і нанесення клеїв.
49. Запресовування і склеювання.
50. Контроль якості дерев'яних клеєних конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.6-161:2017 Дерев'яні конструкції. Основні положення будинків і споруд. Дерев'яні конструкції / Міненергобуд України. К: 2017. – 108 с.
2. ДСТУ 4020-2-2001 Лісоматеріали круглі та пиляні. Методи обмірювання та визначення об'ємів. Частина 2.
3. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи / Мінбуд України. К: Сталь, 2006. – 70 с.
4. Гомон С.С. Конструкції із дерева та пластмас. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2016. – 219 с.
5. Погореляк А.П., Романюк В.В., Чернолоз В.С., Погореляк О.А. Конструкції з деревини і пластмас. – Рівне: РДТУ, 2001. – 392 с.
6. Клименко В.З. Конструкції з дерева і пластмас. – К.: Вища школа, 2000. – 304 с.
7. Попельнух В.М. Конструкції з дерева і пластмас : Конспект лекцій (для студентів 4 курсу денної та 4–5 курсів заочної форм навчання та для слухачів другої вищої освіти напрямку підготовки 0921 (6.060101) «Будівництво») / В. М. Попельнух. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 203 с.
8. Пустовойтова О.М., Бідаков А.М. 2018 – Дерев'яні конструкції. конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальності 192 – 112 с.
9. Попельнух В. М. Контрольні питання і головні задачі курсу «Конструкції з дерева і пластмас» / В. М. Попельнух, О. І. Лугченко. – Харків : ХДАМГ, 2005. – 85 с.

Навчально-методична література

Чорномаз Н. Ю.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з курсу «Конструкції з дерева та пластмас»

для студентів спеціальності

192 «Будівництво та цивільна інженерія»

денної і заочної форми навчання

Комп'ютерне макетування та верстка Н. Б. Коваль

Формат 60x90/16. Обл. вид. арк. 4,00 Наклад 10 прим. Зам. № 3705.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4226 від 08.12.11.