

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

ПЛУГІН ДМИТРО АРТУРОВИЧ

УДК 691.075: 541.18

**КЛЕСНИЙ ДЕРЕВ'ЯНИЙ БРУС ПІДВИЩЕНОЇ  
ТРИЩИНОСТІЙКОСТІ**

Спеціальність 05.23.05. – будівельні матеріали та вироби

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 2003

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства транспорту України на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд.

**Науковий керівник:** Доктор хімічних наук, професор **Плугін Аркадій Миколайович**, Українська державна академія залізничного транспорту, завідувач кафедрою будівельних матеріалів, конструкцій та споруд.

**Офіційні опоненти:** Доктор технічних наук, професор **Чернявський В'ячеслав Леонідович**, Харківський державний технічний університет будівництва і архітектури, завідувач кафедрою фізико-хімічної механіки і технології будівельних матеріалів та виробів;

Доктор технічних наук, професор **Жданюк Валерій Кузьмович**, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, завідувач кафедрою будівництва і експлуатації автомобільних доріг.

**Провідна установа:** Київський національний університет будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України, кафедра "Будівельні матеріали", м. Київ

Захист дисертації відбудеться 24 квітня 2003 року в 15.00 годин на засіданні спеціалізованої ради Д.64.056.04 Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури (Україна, 61002, м. Харків, вул. Сумська 40, \_\_\_\_\_ аудиторія).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури.

Автореферат розісланий " 20 " березня 2003 г.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент

М.Г.Ємельяненко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Деревина для брусів і шпал є дефіцитною, недовговічною через гниття і розтріскування, втрачає електроізоляційні властивості. Навіть просочені бруси і шпали мають низький термін служби - 15-20 років. Застосування мостових залізобетонних брусів, плит і шпал замість дерев'яних збільшує статичне навантаження на прогонові споруди, прискорює електрокорозійний знос металевих конструкцій колії, мостів і інших споруд.

У зв'язку з викладеним, тема дисертації, присвячена рішення проблеми довговічності і безпечної експлуатації конструкцій колії, мостів і інших інженерних споруджень шляхом створення тріщиностійких клеєних дерев'яних брусів є актуальною.

Ця проблема виходить далеко за межі цих конструкцій, а саме конструкцій електротехнічного призначення, т.я. деревина залишається простим технологічним матеріалом, що широко використовується для виготовлення багатьох конструкцій, в тому числі клеєних.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась у рамках держбюджетної НДР УкрДАЗТ по темі "Розвиток теоретичних основ довговічності штучних споруд на залізничному транспорті", планів НДДКР Укрзалізниці в 1994-2002 р.

**Мета досліджень:** створення недорогого (близького по вартості до суцільного дерев'яного) клеєного дерев'яного бруса з високими тріщиностійкістю, електроопором і довговічністю, за рахунок усунення усушки і набухання деревини і розробки нового недорогого клею з високою адгезією до деревини, водостійкістю і водонепроникністю клейового з'єднання.

**Наукова гіпотеза** створення клеєного бруса: - усунення усушки і набухання деревини в клеєних брусах і шпалах може бути досягнуте за рахунок оптимізації вологості деревини на стадії склеювання бруса і гідроізоляції його поверхні тим же клейовим складом; - створення клейового складу з високими адгезією до деревини, електроопором і водостійкістю клейового з'єднання деревини може бути забезпечене шляхом застосування інден-кумаронової і епоксидної смол у сполученні з активними наповнювачами й ацетоновим розчинником, що модифікують властивості епоксидної і інден-кумаронової смол.

Для досягнення поставленої мети вирішували наступні основні **задачі:**

- аналіз існуючих і проведення власних досліджень структури деревини на субмікроскопічному і надмолекулярному рівнях, електроповерхневих властивостей целюлози і лігніну як основних складових деревини;

- аналіз існуючих уявлень і їхній розвиток про: - механізми усушки і набухання як факторів тріщиноутворення деревини; - міцності адгезії і когезії деревини поперек волокон як критеріїв тріщиностійкості брусів; - когезії полімерних матеріалів і їхньої адгезії до деревини; - ролі активних центрів на поверхні твердих тіл як центрів полімеризації;

- удосконалення і розробка нових методик: - збільшення роздільної здатності електронної мікроскопії; - визначення напружень і зусиль, що викликають усушку, набухання і тріщиноутворення в деревині і брусах; - визначення реологічних характеристик клейового складу і його компонентів;

- комплексні дослідження процесів і явищ при сушінні і зволоженні деревини, структури і властивостей клейового складу і клейових з'єднань деревини;

- розробка клейового складу заданих властивостей і технологічних регламентів виготовлення клеєного бруса;

- виготовлення, виробничо-експлуатаційні випробування дослідної партії розроблених брусів і впровадження результатів досліджень.

*Об'єкт досліджень* - процеси і взаємодії, що відбуваються при сушінні, зволоженні і склеюванні деревини.

*Предмет досліджень* - деревина сосни, клейовий склад для деревини, клейові з'єднання.

#### **Наукову новизну роботи складають:**

1. Удосконалені і розроблені нові: - методика виміру умовної в'язкості в середовищі, що насичено парами ацетону; - метод електронномікроскопічного дослідження структури на субмікроскопічному і надмолекулярному рівнях з додатковим збільшенням фотознімків за допомогою сканера с високою роздільною здатністю, і ПЕОМ; - методика оцінки зусиль набухання в деревині брусів і шпал за допомогою каліброваних хомутів і ін.

2. Розвинуті уявлення про механізми: - формування міцності когезії деревини, адгезії клейового складу до неї і підвищення водостійкості клейового з'єднання, в основі яких лежать електрогетерогенні взаємодії між дипольними функціональними групами ( $OH$  у целюлози і ЕД,  $C=O$  у клейового складу й ацетону) і ( $OCH_3$  у лігніну,  $NH_2$  у затверділої ЕД); - усушки і набухання деревини, виникнення первинних тріщин під дією капілярного стягування, і подальшого їхнього розкриття при набуханні під дією структурної складової розклинювального тиску в прошарках целюлозних волокон.

3. Результати електрокінетичних і електронномікроскопічних досліджень, у т.ч. електроповерхневі потенціали і електрокінетичні  $\nabla$ -потенціали деревини, клейового складу і їх складових, дані про субмікроскопічні СМЧ і СМВ частини і волокна і надмолекулярні НМЧ і НМВ як елементи мікроструктури.

4. Фізико-хімічні і математичні моделі: - міцності адгезії  $R_A$  між целюлозою і лігніном і міцності когезії  $R_K$  лігніну, засновані на схемах адгезійних і когезійних електрогетерогенних контактів ЕГК, а також фізико-хімічній теорії міцності дисперсних систем Ребіндера-Щукіна; - товщини шару води на волокнах целюлози  $\delta_B^H$  і усушки деревини  $U_c$  в залежності від вологості деревини; - напруження і сили усушки і набухання деревини.

5. Результати розрахунків по цих моделях: - міцності адгезії і когезії, необхідні характеристики клею -  $R_A \ll 7 \text{ МПа}$  і  $R_K \ll 11 \text{ МПа}$ ; - значення товщини шару води, гігроскопічно зв'язаної волокнами целюлози, від 0,62 нм до 2,2 нм при вологості деревини  $0 \ll 30 \%$ , гранична усушка деревини для бруса  $U_c - 7,2 \text{ мм}$ ; - значення сили набухання до 2040 кГ (20 кН) на ділянці бруса довжиною 30 см.

6. Клейовий склад КС-2, технологія виготовлення клеєних дерев'яних брусів, засіб запобігання тріщиноутворення брусів і шпал за допомогою полімеркомпозиційних хомутів, герметизації брусів і шпал клейовим складом.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в розробці клеєних дерев'яних мостових брусів на основі клейового складу КС-2 і відповідних нормативних документів (технічні умови ТУУ, Рекомендації), дослідному впровадженні клеєних дерев'яних мостових брусів на залізничних мостах з металевими прогоновими спорудами на Південній і Південно-Західній залізницях і впровадженні результатів досліджень у навчальний процес.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати досліджень отримані автором самостійно, у т.ч. у теоретичних і експериментальних - критичний аналіз літератури, математичні моделі напружень і сил усушки і набухання деревини, всі експерименти, у практичних - розроблені технологічні параметри виготовлення клеєного дерев'яного бруса, виконаний авторський нагляд за відлагодженням технології і випуском дослідної партії брусів на Костопільському ДБК.

Особистий внесок в ідеї і розробки, виконані й опубліковані в наукових працях у співавторстві, відзначений у переліку опублікованих робіт (у дужках).

**Вірогідність результатів досліджень** забезпечена: - використанням у теоретичних дослідженнях закономірностей Колоїдної хімії і Фізико-хімічної механіки дисперсних систем; - застосуванням комплексу сучасних фізико-механічних, фізико-хімічних і математичних методів досліджень; - підтвердженням виробничо-експлуатаційними випробуваннями.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати наукових досліджень доповідалися на Першій Угорсько-Українській конференції по екології Карпатського Єврорегіону. Ужгород, 1994; Науково-технічній нараді Головного управління колійного господарства Укрзалізниці, м. Київ, грудень 2001 р.; VI міжнародній науково-технічній конференції "Застосування пластмас у будівництві і міському господарстві", м. Харків, 9-11 жовтня 2002 р.; Щорічних науково-технічних конференціях кафедр УкрДАЗТ у період з 1994 по 2002 рр.

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 18 робіт, у тому числі 12 у виданнях, рекомендованих ВАК України, видано 2 навчальні посібники, отримано 2 патенти на винаходи, розроблені ТУУ- 01116472-087-2002 "Бруси мостові дерев'яні клеєні для залізниць широкої колії" і "Інструкція по виготовленню брусів мостових дерев'яних клеєних для залізниць широкої колії".

**Структура й обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із введення, 6 глав, загальних

висновків, списку літератури з 125 найменувань. Містить 152 сторінки основного тексту, у т.ч. 37 малюнків і 5 таблиць, 38 повних сторінок з 88 рисунками і 4 таблицями, 9 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У розділі 1 приведений аналітичний огляд літератури по темі і вибір напрямків досліджень.

При цьому обрані критерії конструктивних характеристик мостових брусів, що розробляються (вертикальне розташування елементів дрібного розміру і гідроізоляція поверхні), визначено критерії вибору матеріалів клейового складу: - сполучення більш простих і дешевих смол (клейова основа) з більш міцними (частина, що зміцнює); - водонепроникність і водостійкість складу і клейового з'єднання деревини; - адгезія до поверхні деревини; - сумісність основи й частини, що зміцнює; - високий електроопір; - хімічна стійкість.

З числа можливих смол як клейової основи цим критеріям задовольняють інден-кумаронова ІКС і епоксидна ЕД смоли. Їх добра сумісність обумовлена протилежними знаками полюсів дипольних моментів  $\nu$  функціональних груп (для ІКС це група  $C=O$  з  $\nu = -0,83 \cdot 10^{-30}$  Кл $\cdot$ м, чи  $-2,5$  Д, а для ЕД це аміногрупа  $NH_2$  з  $\nu = +0,51 \cdot 10^{-30}$  Кл $\cdot$ м, чи  $+1,53$  Д). Висока водостійкість клейового з'єднання забезпечується водостійкістю іон-дипольних і диполь-дипольних одиничних зв'язків, а також можливістю витиснення молекул води з поверхні деревини, що обумовлено більш високою величиною дипольних моментів груп  $NH_2$  і  $C=O$ , у порівнянні з  $OH$  ( $\nu = 1,51$  Д) у молекулі води.

Деревина, клейовий склад і їхні компоненти є об'єктами колоїдного ступеня дисперсності. У хвойних порід це трахеїди довжиною до 0,3 мм, що у свою чергу складаються з целюлозних стінок товщиною близько 5 мкм, лігнінових прошарків товщиною близько 1 мкм, люмена умовним діаметром близько 20 мкм. Стінки трахеїд мають обмережені пори з мембраною, через яку сполучуються трахеїди. Відстань між целюлозними волокнами в мембрані - до 0,2 мкм. Стінка клітки складається з первинної, вторинної і третинної стінок. Товщина останньої - близько 100 нм. Целюлозні волокна товщиною 12 - 18 нм в основному містяться у вторинній стінці, а лігнін, що складається з часток 20 $\times$ 60 нм і 3 $\times$ 6 нм - у прошарку і третинній стінці. Третинну стінку покриває шар з наростами діаметром 0,1 $\times$ 0,2 мкм. Третинна стінка, покритий наростами шар і мембрани в обмережених порах впливають на процеси просочення і склеювання деревини.

Високоміцні волокна целюлози визначають міцність деревини уздовж волокон. У поперечному напрямку міцність деревини визначається міцністю адгезії  $R_A$  між целюлозною стінкою і лігніновим прошарком або міцністю когезії лігніну  $R_K$  у прошарках як менш міцного матеріалу.

Переважаючою структурою епоксидної смоли є надмолекулярна структура глобулярного типу з розмірами глобул 10-30 нм. У присутності активного наповнювача її надмолекулярна структура орієнтується під впливом поверхні наповнювача, а при збільшенні концентрації наповнювача стає фібрилярною, що сприяє збільшенню міцності і щільності композитів.

Властивості гігроскопічної води між волокнами целюлози змінюються, що обумовлено її полярністю і квазіструктурою, яка сполучить мономерні молекули і молекулярні асоціати (5 молекул), дипольні моменти яких взаємно орієнтовані в одному напрямку. Асоціати води на поверхні утворюють адсорбований полярний шар, звернений в об'єм полюсом, однойменним зі знаком потенціалу поверхні. Товщина цього шару дорівнює 0,62 нм, при цьому діелектрична проникність води  $\Rightarrow$  зменшується з 80 до приблизно 2.

Електроповерхневі властивості і взаємодії досліджуваних систем визначаються електроповерхневими потенціалами  $\phi_0$  речовин, їхніми поверхневими зарядами і дипольними моментами функціональних груп (ОН - у целюлози і ЕД; С=О - у інден-кумаронової смоли й ацетону; ОСН<sub>3</sub> - у лігніну; NH<sub>2</sub> - у ЕД, що затверділа), рис.1. Ці групи є також активними центрами АЦ на поверхні наповнювачів і деревини і впливають на полімеризацію і формування структури епоксидної смоли.

Рис. 1. Структурні формули компонентів деревини і клейового складу. а - целюлоза; б - лігнін; в - інден; г - кумарон; д - ацетон; е - ЕД + ПЕПА.

Процеси усушки і набухання деревини є процесами порушення стійкості дисперсної системи під впливом розклинювального тиску.

$$P = P_{EC} - P_{МОЛ} - P_{СТР}, \quad (1)$$

де:  $P_{EC}$  - електростатична складова розклинювального тиску, н/м<sup>2</sup>;

$P_{МОЛ}$  - молекулярна (що притягує) складова розклинювального тиску, н/м<sup>2</sup>;

$P_{СТР}$  - структурна складова розклинювального тиску, н/м<sup>2</sup>.

Для гідрофобних поверхонь застосовують рівняння ДЛФО, що враховує  $P_{EC}$  і  $P_{МОЛ}$ . Перша складова відображає відштовхування однойменно заряджених протиіонів дифузійних частин подвійних електричних шарів ПЕШ поверхонь, що контактують. Отже, рівняння ДЛФО може застосовуватися для систем, де відстань  $d$  між поверхнями порівнянна з товщиною  $\delta_{ПШ}$  рівноважного ПЕШ, і незастосовне для волокон целюлози в стінках трахеид, де  $d \gg \delta_{ПШ}$ . Складова  $P_{МОЛ}$  не може викликати усушку деревини через свою малість. У той же час капілярний тиск, за попередніми розрахунками, порівняний по величині з міцністю деревини при сколюванні. У зв'язку з викладеним нами прийняті за основу в якості складових розклинювального тиску наступні вираження: електростатичної складової  $P_{EC}$  (по Воюцькому С.С.), капілярного тиску  $P$  і структурної складової  $P_{СТР}$  (по Плуґіну А.М.):

$$P_{EC} = \frac{\phi_2 \phi_1}{8\epsilon_0 d}, \quad P = \frac{2\sigma}{r}, \quad P_{СТР} = \frac{(U_{Г}^{ПВ})^2}{2\epsilon_0 \epsilon_r} \quad (2)$$

де:  $\phi_2, \phi_1$  - електроповерхневі потенціали контактуючих поверхонь;  $\epsilon_0$  - відносна діелектрична проникність води в ПЕШ;  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  - діелектрична проникність вакууму;  $\sigma$  - поверхневий

натяг води (0,072 н/м);  $r$  - радіус капіляра, м;  $U^{IB}_r$  - енергія гідратації потенціалвизначального іона, Дж;  $\delta_r$  - товщина гідратованого шару води на поверхні, м.

У розділі 2 приведені дані про використовувані в дослідженнях матеріали і методи досліджень. В основному використовувалися матеріали, що випускаються промисловістю, крім зразків лігніну, синтезованих з деревини за методикою Б'єркмана. Дослідження здійснювалися: реологічних властивостей - по віскозиметру ВЗ-4 у середовищі, насиченому ацетоном; взаємодій між складовими деревини і клейовим складом - ІЧ-спектроскопічним методом; - структури матеріалів - електронномікроскопічним методом з додатковим збільшенням за допомогою сканера і ПЕОМ; електроповерхневих властивостей - розрахунковим шляхом за методикою А.М.Плугіна і експериментальним по методу потенціалу течії; фізико-механічних властивостей - стандартними методами. Дослідження напруг і зусиль набухання в деревині здійснювалося за розробленою методикою за допомогою каліброваних полімеркомпозиційних хомутив.

У розділі 3 приведені теоретичні дослідження і розвинуті уявлення про міцність і тріщиноутворення деревини в брусах і шпалах.

Електроповерхневі властивості целюлози (електроповерхневий  $\psi_0$  і рівноважний  $\psi_p$  потенціали, щільність і концентрація поверхневого заряду  $q_h$  і  $n$ , відстань  $a$  між АЦ) оцінювалися за вираженнями:

$$\psi_0 = \frac{\psi_{0O} n_O + \psi_{0OH} n_{OH}}{n}, \quad q_h = \frac{q_{hO} n_O + q_{hOH} n_{OH}}{4n}, \quad n = \frac{q_h}{e}, \quad a = \sqrt{l/n} \quad (3)$$

де:  $\psi_{0O}$ ,  $\psi_{0OH}$  - електроповерхневі потенціали кисню і гідроксилу;  $n_O$ ,  $n_{OH}$  - кількість атомів кисню і гідроксилу в молекулі;  $n$  - сума атомів простих речовин у молекулі.

Отримані значення склали:  $\psi_p = \psi_0 + 0,41 = \approx 0,59$  В;  $q_h = 2,19 \cdot 10^{16}$ , Кл/м<sup>2</sup>;  $n = 1,37 \cdot 10^{16}$ , 1/м<sup>2</sup>;  $a = 8,5$  нм.

Аналогічні характеристики визначені для лігніну середнього складу  $C_9H_8 \cdot OCH_3O_2(H_2O)_{<1}(OCH_3)_{<1,5}$ :  $\psi_0 = +0,41$  В, и  $a_s = 3,9$  нм.

Значні по величині і протилежні по знаках електроповерхневі потенціали целюлози і лігніну припускають виникнення електрогетерогенних взаємодій і електрогетерогенних контактів ЕГК адгезійного і когезійного типу, рис.2.

Рис. 2. Еквівалентні схеми адгезійних (а, б) і когезійних (в) електрогетерогенних контактів ЕГК у деревині. СМЧ, НМЧ - субмікроскопічні і надмолекулярні частки лігніну.

Згідно з цими схемами і фізико-хімічною теорією міцності Ребіндера-Щукіна адгезійну і когезійну міцність деревини можна виразити



$$R_a \approx \frac{\mu_1}{8\pi^2 d \mu_{id}^3}, \quad R_k \approx \frac{\mu_0 \mu_0^2}{4\pi h_{nd}^2} \quad (4)$$

де:  $\mu$  - дипольний момент функціональної групи  $OCH_3$  лігніну,  $4,3 \cdot 10^{-30}$  Кл $\cdot$ м;  $h_{id}$  - відстань між потенціалвизначальними іонами (ПВІ) целюлози і групою  $OCH_3$  лігніну;  $h_{id} = r_{OH^-} + l_{C-H} + r_{H^+} = 1,53 + 1,43 + 0,37 = 2,96$  Е =  $0,296$  нм =  $2,96 \cdot 10^{-10}$  м ( $r_{OH^-}$  і  $r_{H^+}$  - радіуси відповідних іонів,  $l_{C-H}$  - довжина зв'язку C-H);  $\mu_0$  - електроповерхневий потенціал НМЧ,  $0,41$  В;  $h_{nd}$  - відстань від поляризованою поверхнею НМЧ лігніну до центра групи  $OCH_3$  (орієнтовно до ядра атома вуглецю  $OCH_3$ ),  $h_{nd} = l_{C-H} = 0,106$  нм.

Відповідно до розрахунків по (4)  $R_A = 6,53$  МПа і  $R_K = 10,6$  МПа, що близько до реальних величин. Виходячи з цього, установлені вимоги по характеристикам міцності клейового складу  $R_A \approx 7$  МПа і  $R_K \approx 11$  МПа.

Для кількісної оцінки усушки і набухання деревини представлені схеми усушки і набухання і вираження для товщини шару води на волокнах целюлози  $s^u$ , їхньої питомої поверхні  $S^u$  і усушки деревини  $U_c$

$$\mu_B^u \approx \frac{W_{\phi-x} \Delta^u \mu^u}{4 \mu^u}; \quad s^u \approx \frac{4}{d^u \mu^u}; \quad U_c \approx \frac{W_{yc} \mu^u}{4 \mu^u} (1 - \mu_{yc}^{dp}) \cdot 100\% \quad (5)$$

де:  $W_{\phi-x}$  найбільша гігроскопічна вологість, 30%;  $S^u$ ,  $d^u$  - площа поверхні ( $m^2$ ) і діаметр ( $m$ ) волокон целюлози;  $D$  - маса деревини;  $\rightarrow^u$  - зміст целюлози в деревині по масі ( $\rightarrow^u \approx 0,8$ );  $\Delta^u$  - щільність целюлози,  $1,59$  г/см $^3$ .

Розраховані значення  $S^u = 168$  м $^2$ /г і  $\mu_B^u = 0,63 \cdot 2,2$  нм свідчать про високий рівень гігроскопічності волокон целюлози і стисненість ПЕШ між ними. У результаті при усушці формується ПЕШ з одним рядом протіонів, а при зволоженні після усушки - із двома (рис. 3), що призводить до зміни знака  $\mu_{EC}$  у (1) між волокнами целюлози ( $\epsilon$  відштовхуючою чи притягаючою).

Усушка призводить до зменшення товщини шару гігроскопічної води між целюлозними волокнами, виникненню менісків (рис. 4) у поверхневих до люменів шарах і сили стягування целюлозних волокон і стінки трахеїд. Цю силу можна представити за допомогою рівняння, що описує капілярне стягнення поверхонь тонкого щілинного капіляра, по Фролову

$$f \approx \frac{2\sigma \cos \theta}{d} \quad (6)$$

З урахуванням цього рівняння, рівняння (3) для  $\mu_0$ , а також відомого вираження для молекулярної складової рівняння результуючого тиску, що розклинює в целюлозних стінках трахеїд при усушці деревини прийме вигляд

$$P \approx P_{MEH} \approx P_{EC} \approx P_{MOL} \approx \frac{\sigma}{(d_{ADC} \mu_{B.VIII}^u)} \approx \frac{\mu_0 \mu^2}{4(\mu_B^u)^2} \approx \frac{A}{6(\mu_B^u)^3}, \quad (7)$$

а рівняння для напруження, що розтягує  $\nabla^I$  у лігніновому прошарку в залежності від вологості деревини – вигляд

$$(8)$$

Рис. 3. Схема ПЕШ: *a* - при усушці деревини; *b* - при зволоженні після усушки.

Рис. 4. Схема щілинного капіляра: *a* - між суміжними целюлозними волокнами стінки трахеїди; *b* - у моделі стягуючих капілярних сил.

При зволоженні після усушки меніски в целюлозній стінці зникають і виникає структурна складова розклинюючого тиску (відштовхуюча), що обумовлена енергією гідратації потенціалвизначальних іонів  $U^{PB}_Г$  і протіонів  $U^{III}_Г$  ПЕШ целюлозних волокон. З урахуванням електростатичної і молекулярної складових результуюче рівняння розклинюючого тиску при зволоженні деревини приймає вид

$$(9)$$

Після ряду перетворень цього рівняння отримане вираження для сили набухання, що діє на калібрований хомут, використовуваний в експериментах

$$(10)$$

У розділі 4 представлені експериментальні дослідження по перевірці теоретичних уявлень, розроблених у розділі 3.

Визначення електрокінетичного  $\nabla$ -потенціалу досліджуваних речовин здійснювалось по потенціалу течії  $E$  в чарунці з тонкоздрібненою речовиною з визначенням питомої електропровідності досліджуваної речовини. Величини виміряних  $\nabla$ -потенціалів целюлози (-169 мВ) і набухлого лігніну (+131 мВ) підтвердили коректність визначення електроповерхневих потенціалів  $\nabla_p$  та  $\nabla_o$  (-590 і +410 мВ), а величини і характер потенціалів течії  $E$  лігніну при різних тисках  $P$  підтвердили існування позитивних субмікроскопічних СМЧ ( $\nabla = +202$  мВ) і негативних надмолекулярних НМЧ часток ( $\nabla = -131$  мВ).

Дослідження структури деревини і компонентів клейового складу на субмікроскопічному і надмолекулярному рівнях виконано шляхом аналізу електронномікроскопічних знімків (ЕМЗ) з додатковим збільшенням фрагментів структури за допомогою сканера і ПЕОМ. При послідовному збільшенні до 3870000 разів фрагмента деревини (світле вікно, рис. 5, *a*, з декількома СМЧ лігніну на темному фоні) і фрагмента целюлози в частці лігніну (рис. 6, *a*) до 3250000 разів уперше показані великим планом зображення часток СМЧ лігніну розміром 22ч56 нм, і часток НМЧ лігніну

діаметром 3,9ч7,8 нм (рис.5, б, в), трубчастих волокон целюлози товщиною близько 80 нм, оболонки яких складаються із субмікроскопічних волокон (СМВ) товщиною близько 17 нм, і надмолекулярних волокон, що їх складають, (НМВ) товщиною ~ 4 нм (рис.6, а - г).

Рис. 5. ЕМЗ зрізу деревини поперек волокон: а - Ч26100 (додаткове збільшення фрагмента деревини на фотоплівці в 7,25 рази); б - фрагмент часток СМЧ лігніну з (а, світле вікно), Ч450000; в - фрагмент часток НМЧ лігніну з (б), Ч3870000 (додаткове збільшення фрагментів фотоплівки в 1075 разів).

Надмолекулярні частки ЕД мають розмір 6•13 нм, з них виникають субмікроскопічні утворення розміром 70•100 нм, надмолекулярні частки ІКС – діаметром близько 6 нм, з яких формуються характерні ажурні утворення. У клейовому складі і клейовому з'єднанні всі перераховані елементи структури зберігаються незмінними, що свідчить про їхнє молекулярне перемішування.

З обліком зазначених ідентифікаційних ознак целюлози, лігніну, ЕД і ІКС, за даними ЕМЗ сколу клейового з'єднання поперек клейового шва виявлено, що ІКС покриває лігніновий прошарок, а ЕД - волокна целюлози, що свідчить про виборчу адгезію клейового складу до деревини, рис. 7, а - д.

Рис. 6. ЕМЗ трубчастого целюлозного волокна: а - частки лігніну, Ч6500; б - фрагмент найбільш великого волокна з а (ліва частина знімка), Ч90000; в - фрагмент із б (темне вікно), Ч650000, товщина СМВ оболонки ~ 17 нм; г - фрагмент 1 часток НМВ із в, Ч3250000, діаметр НМВ близько 4 нм.

Показано, що клейовий склад зі шва проникає через обмережені пори і люмени в деревину суміжних шарів, утворює граничний шар між власне клейовим складом у шві і прилеглою зі швом чистою деревиною.

Дослідження взаємодій клейового складу з деревиною виконано за допомогою методу ІЧ - спектроскопії (спектрограф "Термоніколет-360"). Спочатку були виявлені характерні смуги поглинання для індивідуальних ІЧ - спектрів целюлози Ц і лігніну Л, по яких зроблене порівняння цих ІЧ - спектрів з ІЧ - спектрами деревини. Порівняння показало, що целюлоза і лігнін зберігають у деревині свою індивідуальність, що дозволило розрізнити целюлозу і лігнін у складі деревини по характерним для них смугам поглинання (целюлоза - 609, 897, 1059, 1374, 1424, 1637  $см^{-1}$ ; лігнін - 1267, 1510, 1730, 2926  $см^{-1}$ ).

Аналогічним образом показано, що ЕД і ІКС зберігають свою індивідуальність у клейовому складі КС-2, що свідчить про відсутність між ними хімічної взаємодії і також дозволяє ідентифікувати їх у клейовому складі по характерним для них смугам поглинання: (ЕД-20 - 559, 829, 1035, 1182, 1248, 1296, 1458, 1509, 1607  $см^{-1}$ ; ІКС - 701, 748, 1720  $см^{-1}$ ).

Рис. 7. ЕМЗ зрізу клейового з'єднання поперек клейового шва: а - фрагмент лігнінового

прошарку і стінки люмена, Ч28800; б - фрагмент лігнінового прошарку з а, покритий частками СМЧ інден-кумаронової смоли ІКС, Ч193000; в - фрагмент із б надмолекулярних часток НМЧ лігніну, що покривають частки СМЧ, Ч870000; г - граничний шар між клейовим складом у шві і пов'язаною зі швом чистою деревиною, Ч22890; д - фрагмент волокон целюлози з г, покритих глобулами, Ч215200.

Про взаємодію клейового складу з деревиною судили по зміні вказаних смуг поглинання в ІЧ - спектрі суміші цих матеріалів (рис. 8). При цьому за аналогією з відомими даними про хемосорбцію епоксидної смоли і карбоксилатного каучуку (функціональна група  $C=O$ ) на колоїдних частках заліза, взаємодія оцінювалося головним чином по зміні інтенсивності смуг поглинання при  $1720\text{ см}^{-1}$  (функціональна група  $H_2C-CH_2$  в ЕД) і при  $915\text{ см}^{-1}$  (функціональна група  $C=O$  в ІКС).



Порівняння показало, що характерні смуги поглинання целюлози в деревині цілком зникли, у той час як характерні смуги епоксидної смоли проявилися повною мірою. Це свідчить про адгезію ЕД на усій відкритій поверхні целюлози. Смуги лігніну також практично зникли, у той час як смуги ІКС збереглися, однак їхня інтенсивність знизилася. Такі зміни, особливо в близьких за значеннями смугах лігніну ( $1730\text{ см}^{-1}$ , майже зникла), і ІКС ( $1720\text{ см}^{-1}$ , помітно зменшилося), свідчать про адгезію ІКС на лігніні з виникненням міцного хемосорбційного зв'язку. Таким чином, адгезія клейового складу до деревини є виборчою.

Рис. 8. ІЧ спектри суміші деревини з клейовим складом ЕД+КС-2, смол ІКС і ЕД

Експериментальна перевірка напружень  $\nabla^n$  при усушці і сили  $F_{наб}$  при набуханні деревини виконана шляхом виміру сили розриву каліброваних полімеркомпозиційних хомутів на зразку бруса із тріщиною уздовж волокон, що періодично висушували та зволожували. Залежності (рис. 9, 10) підтвердили коректність рівнянь (8) і (10). За графіком на рис. 9, при вологості нижче 17 % напруга, що розтягує  $\nabla^n$  у прошарках лігніну змінюється від 11 до 15 МПа, що перевищує міцність лігніну (10,6 МПа). Отже, при експлуатації брус і шпали будуть неминуче піддаватися тріщиноутворенню в жаркий період року, що відповідає дійсності. При зволоженні до 30 % попередньо висушеної деревини сила набухання і розтягання хомута зростає до 2040 кГ (20 кН). Це дозволило зробити важливий практичний висновок про можливість запобігання набухання і розвитку тріщин шляхом установки хомутів з  $F > 2040\text{ кГ (20 кН)}$  на ділянці довжиною 30 см. Графік зміни водопоглинання такого зразка на протязі тривалого часу (рис.11, а і б) підтверджує це.

Перевірка властивостей з герметизації і водостійкості клейового складу КС-2, виконана по водопоглинанню і безнапірній фільтрації зразків соснової деревини (рис.12, а, б). За даними цих графіків, клейовий склад зменшує водопоглинання деревини уздовж волокон у 853 рази.

Рис. 9. Залежність напруження в прошарках лігніну  $\nabla^I$  від вологості деревини  $W$  при сушінні: —|— капілярного стягнення; —→— електростатичного відштовхування; —^— молекулярного притягання; —0— результуюча

Рис. 10. Залежність розрахункової ( $\blacklozenge \blacktriangle$ ) і експериментальної ( $\blacklozenge \blacklozenge$ ) сили набухання деревини  $F_{наб}$ , що виникає в полімеркомпозиційному каліброваному хомуті, від її вологості  $W$

Рис. 11. Зміна водопоглинання уздовж волокон деревини фрагмента бруса ( $y$  %) у часі:  $a$  - протягом короткого часу, діб, з полімеркомпозиційним хомутом ( $\blacklozenge \blacklozenge$ ) і без хомута ( $\blacklozenge \blacklozenge$ );  $b$  - протягом тривалого часу, діб, з полімеркомпозиційним хомутом

Рис. 12. Зміна водопоглинання по вологості  $W$  фрагмента шпали в часі  $t$ :  $a$  - протягом короткого часу, годин;  $b$  - протягом тривалого часу, діб.  $\blacklozenge \blacklozenge$  - уздовж волокон;  $\blacklozenge \blacklozenge$  - поперек волокон;  $\blacklozenge \blacklozenge$  - уздовж волокон із захистом складом КС-2.

Виконані дослідження припускають значний вплив мікроскопічної і субмікроскопічної структури деревини і характеру взаємодій целюлозних волокон стінок трахеїд з водою на деформаційні характеристики і міцність суцільнодерев'яних і клеєдерев'яних брусів. Оцінка цих характеристик здійснювалася по величині прогину  $f$ , см. і граничному сумарному навантаженню  $P_{ГР}$ , переданому на брус, не допускаючи появи тріщин (рис. 13, рис. 14).

Виявлено, що деформації в клеєних брусах у 2 – 2,5 рази нижче, ніж у цільних дерев'яних, а при знятті навантаження в брусах виявляються еластичні деформації, тривалість протікання яких для клеєних брусів складає 2 - 3 хв. З урахуванням результатів цих іспитів розроблені представлення про механізм еластичних деформацій клеєного бруса і відповідні математичні вираження, що може бути використане для створення клеєних дерев'яних брусів з оптимальними деформаційними характеристиками для колії на мостах.

Рис. 13. Схема випробувань мостових брусів: 1 - індикатор годинного типу; 2 - упор для ніжки індикатора; 3 - стійка для кріплення індикатора;  $P$  - випробне навантаження 25 т.

Рис. 14. Зміна прогинів трьох брусів  $f$  (см) у залежності від навантаження  $P$  (т)

**У розділі 5** приведені результати досліджень, спрямованих на розробку клейового складу і технології виготовлення клеєних дерев'яних брусів.

Розроблено клейовий склад КС-2, і технологічні характеристики виготовлення клеєних дерев'яних брусів. У клейовому складі послідовно визначали оптимальне співвідношення між інден-кумароновою смолою ІКС і ацетоном Ац у складі ІКС+Ац, між епоксидною смолою ЕД і оптимальним складом ІКС+Ац, між цементним наповнювачем Ц і оптимальним складом лаку ІКС+Ац+ЕД.

Критеріями оптимізації обрані максимальні міцність, водонепроникність і електроопір клейового з'єднання, що досягаються за рахунок максимальної адгезійної міцності клейового складу до лігнінових поверхонь, найбільшої глибини просочення шарів деревини, зміцнення

целюлозної стінки і її адгезії до тонкого шару лігніну з боку люмена трахеїди. Дано пояснення механізмів прояву оптимальних технологічних характеристик.

**У розділі 6** описані експлуатаційно - виробничі випробування і втілення результатів досліджень.

Приведено технологію приготування клейового складу КС-2 і виготовлення клеєних мостових брусів, обладнання і технологічні операції.

Виробничі випробування здійснювалися шляхом дослідного виготовлення з використанням серійного обладнання партії (5 штук) брусів стрілочних переводів на Костопільському ДБК, а також партії мостових брусів (12 штук) у Коростянській дистанції лісозахисних насаджень Південно-Західної залізниці. Відібрані з дослідних партій зразки брусів, виготовлені на Костопільському ДБК, витримали контрольні іспити на статичне навантаження без появи тріщин.

Бруси, виготовлені в Коростянській дистанції лісозахисних насаджень, покладені в колію на залізничному мосту Південно-Західної залізниці і спостерігаються.

Для експлуатаційних іспитів брусів з герметизацією виготовлені в умовах, близьких до заводських, експериментальні бруси в кількості 3-х штук. Після їх випробувань на міцність до контрольного навантаження і гідроізоляції складом ЗС-3 мостова бригада ПЧ-7 "Основа" служби колії Південної залізниці у встановленому порядку уклала бруси в шлях на залізничному мосту з металевими прогоновими спорудами вантажонапруженого напрямку Основа-Харків пас. Південної залізниці. За минулий з моменту укладання в шлях період (із квітня 2002 г) на поверхні брусів тріщини розриву клейових швів не виявлені.

У результаті досліджень розроблені і затверджені у встановленому порядку Технічні умови України ТУУ- 01116472-087-2002 "Бруси мостові дерев'яні клеєні для залізниць широкої колії"; а також Інструкція по виготовленню клеєних дерев'яних мостових брусів.

Матеріали дисертації використовуються в навчальному процесі.

Розроблено сировинну суміш для виготовлення теплоізоляційного матеріалу з деревних відходів і активного мулу, а також технологію виготовлення конструкційно-теплоізоляційних плит, на які видані патенти України і Росії.

## ВИСНОВКИ

1. Створення клеєних дерев'яних брусів з високою тріщиностійкістю і довговічністю дозволить підвищити надійність і безпека руху поїздів на металевих залізничних мостах, вирішити проблему дефіциту високоякісної великорозмірної деревини.

2. В основу розробки таких брусів покладені конструктивні і технологічні критерії - вертикальне розташування елементів і герметизація від зволоження, недорогий клейовий склад з інден-кумаронової смоли ІКС, ацетону Ац і епоксидної смоли ЕД в оптимальному співвідношенні,

що забезпечує виборчу адгезію до целюлози і лігніну деревини, високі тріщиностійкість, водонепроникність і електроопір брусів і шпал.

3. Для проведення досліджень у дисертації удосконалені і розроблені: - методика виміру умовної в'язкості в середовищі, насиченої парами ацетону; - метод електронно-мікроскопічного дослідження субмікроскопічної і надмолекулярної структури досліджуваних систем з додатковим збільшенням за допомогою сканера і ПЕОМ; - методика оцінки зусиль набухання в деревині брусів і шпал за допомогою каліброваних полімеркомпозиційних хомутів і ін.

4. Електроповерхневі властивості і взаємодії обумовлені наявністю дипольних функціональних груп у досліджуваних матеріалах, повернених назовні негативним ( $OH$  у целюлози і ЕД,  $C=O$  у ІКС і ацетону) чи позитивним ( $OCH_3$  у лігніну,  $NH_2$  у затверділої ЕД) полюсами, що забезпечує міцність деревини і виборчу адгезію клейового складу до неї.

5. Поглиблені уявлення про структуру: - деревини, клейового складу і їхніх компонентів на субмікроскопічному і надмолекулярному рівнях, надані електронно-мікроскопічні зображення, морфологічні ознаки, геометричні характеристики і електроповерхневі властивості субмікроскопічних і надмолекулярних часток (СМЧ і НМЧ) лігніну, ІКС і ЕД і волокон (СМВ і НМВ) целюлози; - гігроскопічної води в прошарках целюлози, дана схема її адсорбційного шару з урахуванням структури молекулярних асоціатів, уточнені схеми подвійних електричних шарів ПЕШ, визначені значення товщини  $\delta_B^H$  (0,62 ч2,2) нм і діелектричної проникності  $\epsilon$  шару води на волокнах целюлози.

6. Виведені рівняння: - адгезійної міцності  $R_A$  між целюлозовміщуючою стінкою трахеїди і лігніном і когезійної міцності  $R_K$  лігніну, встановлені необхідні характеристики розроблюваного клею - адгезія до целюлози  $R_A \ll 7 \text{ МПа}$  і когезійна міцність  $R_K \ll 11 \text{ МПа}$ ; - розтягуючі напруження у лігнінових прошарках  $\nabla^n$  від усушки і сили набухання деревини  $F_{наб}$  у залежності від її вологості; - еластичних деформацій клеєного бруса. Виконаний комплекс експериментальних фізико-механічних, електронно-мікроскопічних, електрокінетичних, ІЧ-спектроскопічних досліджень підтвердив коректність цих рівнянь і розроблених теоретичних уявлень про міцність, усушку і набухання деревини, тріщиностійкість клеєних дерев'яних брусів і шпал.

7. Розроблено клейовий склад КС-2 і технологія виготовлення клеєних дерев'яних брусів, що успішно пройшли виробничі й експлуатаційні випробування. Розроблено Технічні умови України ТУУ- 01116472-087-2002 "Бруси мостові дерев'яні клеєні для залізниць широкої колії", а також "Інструкція по виготовленню клеєних дерев'яних мостових брусів". Отримані 2 патенти на винаходи. Матеріали дисертації використовуються в навчальному процесі.

#### **Основні положення дисертації опубліковані в наступних роботах:**

1. Павлова Л.В., Плугін Д.А., Куряча В.А. та ін. Шляхи підвищення міцності композицій на основі деревини та активного мулу // Тези допов. 55 науково-технічної конференції кафедр

інституту та спеціалістів залізничного транспорту. – Харків: ХІІТ, 1993. – С.29. (особистий внесок (о.в.) - проведення експериментів і обробка результатів).

2. Плугин А.Н., Павлова Л.В., Плугин Д.А. Сырьевая смесь для изготовления теплоизоляционных изделий. Патент 2082697RU, МКС С04В 38/00, 18/26. Опубл. 27.06.97, бюлл. № 18 (о.в. - дослідження і підбір оптимального складу сировинної суміші).

3. Plugin A.N., Pavlova L.V., Plugin D.A. Building Materials with Biological Solids // The 1-st Hungarian-Ukrainian Conference on Carpathian Euroregion Ecology. Uzhgorod, 1994. – P 15. (о.в. - проведення експериментів і обробка результатів).

4. Научные и технологические основы утилизации активного ила / Павлова Л.В., Ленский В.В. Пинчук В.В., Плугин А.Н., Плугин Д.А. // Сборник трудов по технической химии. – Киев: УХО, 1997. – С.346 – 350. (о.в. - обґрунтування використання активного мулу в якості наповнювача у клейовий склад для деревини).

5. Плуґін А.М., Плуґін Д.А., Мірошніченко С.В. та ін. Методика кількісної оцінки в'язкотекучих рідин за допомогою віскозиметрів типу ВЗ-4 // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті. Зб.наук.пр. - Харків: ХарДАЗТ, 2000. - Вип. 37.-С. 14-20. (о.в. - ідеї і математичне обґрунтування критеріїв клейового складу по в'язкості і міцності).

6. Дослідження структури кам'яновугільно-епоксидних композицій / Плуґін А.М., Возненко С.І., Мірошніченко С.В., Плуґін Д.А., Коршиков Л.А. // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: Зб.наук. праць.- Харків: ХарДАЗТ, 2000.- Вип. 37. - С.21-26. (о.в. - аналіз и опис мікрорівня структури кам'яновугільно-епоксидних композицій).

7. Плуґін А.А., Плуґін А.М., Кудренко С.М., Плуґін Д.А. Понаднормативна довгочасна повзучість бетону в залізобетонній конструкції місткісної споруди // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: Зб.наук. праць. - Харків: ХарДАЗТ, 2000.- Вип. 37. - С.32-44. (о.в. - визначення структурних характеристик "старого" бетону).

8. Відновлення та захист промислових будівель та споруд на залізничному транспорті. / Плуґін А.М., Плуґін А.А., Калінін О.А.,...Плуґін Д.А. - Ч.1.- Харків: ХарДАЗТ, 2000. – 121 с. (о.в. - розділи 3.4, 3.5, 3.10 – 3.13).

9. Відновлення та захист промислових будівель та споруд на залізничному транспорті / Плуґін А.М., Плуґін А.А., Калінін О.А., Мірошніченко С.В., Возненко С.І., Шумик Д.В., Плуґін Д.А. - Ч.2. - Харків: ХарДАЗТ, 2000. - 62 с. (о.в. - розділ 12).

10. Плуґін А.М., Плуґін Д.А., Мірошніченко С.В. Дослідження реологічних та міцнісних властивостей нових клейових складів для дерев'яних конструкцій // Композиційні матеріали для



будівництва. Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. Зб.наук.пр. Вип. 2000-2 (22).-Донецьк: ДонДАБА, 2000.-С.28-31. (о.в. - удосконалення методики визначення умовної в'язкості полімерних композицій в середовище, що насичене парами ацетону, обробка результатів).

11. Плугін Д.А., Трикоз Л.В., Плугін А.М. та ін. Структурні елементи хвойної деревини та їх роль у формуванні міцності. // Питання підвищення надійності залізничної колії та інженерних споруд. Зб.наук.пр. - Харків: ХарДАЗТ, 2001.- Вип. 48.-С. 10 - 20. (о.в. - вибір ідентифікаційних ознак структури деревини).

12. Теоретические основы создания клееных деревянных мостовых брусьев и совершенствования технологии их изготовления. Структура и электроповерхностные свойства древесины / Плугин А.Н., Плугин Д.А., Трикоз Л.В.//Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2001. - Вип.13. – С 219-229. (о.в. – кількісна оцінка впливу структури і властивостей деревини на її міцність).

13. Теоретические основы создания клееных деревянных мостовых брусьев и совершенствования технологии их изготовления. Природа прочности древесины / А.Н.Плугин, Д.А.Плугин, Л.В.Трикоз, А.А.Плугин, С.В.Мирошниченко, О.А.Калинин, Л.А.Коршиков // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2001. - Вип.14.- С.167-175. (о.в. – розвиток еквівалентних схем адгезійних електрогетерогенних контактів в деревині і когезійних – в лігніні).

14. Эксплуатационные исследования деформационных характеристик тонкостенной железобетонной конструкции ванны бассейна "Локомотив" в г. Харькове / А.А.Плугин, А.Н.Плугин, С.Н. Кудренко, Д.А.Плугин, О.А.Калинин // Залізничний транспорт України. - 2001- №3(24).- С.25-27. (о.в. – розробка схеми вимірювання деформацій, обробка і аналіз даних вимірювань).

15. Теория удобоукладываемости бетонных смесей. Пластичность / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, О.А.Калинин, С.В.Мирошниченко, Д.А.Плугин, С.Н.Кудренко // Науковий вісник будівництва.- Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2002.- Вип.17.- С.132-142. (о.в. – дослідження впливу товщини шару води на пластичність бетонної суміші).

16. Теория удобоукладываемости бетонных смесей. Жесткость / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, О.А.Калинин, С.В.Мирошниченко, Д.А.Плугин, С.Н.Кудренко // Науковий вісник будівництва.- Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2002.- Вип.18.- С.122-129. (о.в. - дослідження впливу товщини шару води на жорсткість бетонної суміші).

17. Плугин Д.А. Механизм усушки и набухания древесины // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 43. – К.: Техніка, 2002. – С. 289 – 295.

18. Плугин Д.А. Механизм развития трещин в деревянных конструкциях от набухания древесины после их усушки // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2002.-

Вип.19.- С.77-85.

### **Анотація**

Плугін Д.А. Клеєний дерев'яний брус підвищеної тріщиностійкості. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали і вироби. Харківський державний технічний університет будівництва і архітектури. Харків, 2003.

Розвинуті уявлення про механізм усушки, набухання та склеювання деревини, розроблені еквівалентні схеми та математичні моделі формування міцності адгезійних та когезійних контактів в деревині та на границі деревина-клей.

Встановлено критерії в'язкості клейового складу і міцності клейового з'єднання деревини, на основі яких розроблено оптимальний склад КС-2.

Розроблені оптимальний клейовий склад, технологічні характеристики і технологія виготовлення клеєних дерев'яних брусів.

Технологія виготовлення клейового складу КС-2 та клеєних дерев'яних брусів успішно пройшли виробничі випробування на Костопільському ДБК та Коростянській дистанції лісозахисних насаджень Південно-Західної залізниці. Дослідні партії клеєних мостових брусів впроваджені на залізничних мостах Південної та Південно-Західної залізниць. Розроблені відповідні нормативні документи.

Ключеві слова: клеєні дерев'яні бруси, механізми, усушка, набухання, тріщиностійкість, міцність, клейовий склад, технологія.

### **Аннотация**

Плугин Д.А. Клееный деревянный брус повышенной трещиностойкости. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры. Харьков, 2003.

Диссертация посвящена созданию клееных деревянных брусьев с высокой трещиностойкостью и долговечностью, что позволит повысить надежность и безопасность движения поездов на металлических железнодорожных мостах, решить проблему дефицита высококачественной крупноразмерной древесины.

В основу разработки брусьев положены конструктивные и технологические критерии - вертикальное расположение элементов и герметизация от увлажнения, недорогой клеевой состав из инден-кумароновой смолы (ИКС), ацетона (АЦ) и эпоксидной смолы (ЭД) в оптимальном соотношении, что обеспечило избирательную адгезию к целлюлозе и лигнину древесины, высокие трещиностойкость, водонепроницаемость и электросопротивление брусьев и шпал.

Для проведения исследований усовершенствованы и разработаны новые: - методика измерения условной вязкости в среде, насыщенной парами ацетона; - метод электронно-микроскопического исследования субмикроскопической и надмолекулярной структуры изучаемых систем с дополнительным увеличением с помощью сканера и ПЭВМ; - методика оценки усилий набухания в древесине брусьев и шпал с помощью калиброванных полимеркомпозиционных хомутов и др.

Показано, что электроповерхностные свойства и взаимодействия обусловлены наличием дипольных функциональных групп в исследуемых материалах, повернутых наружу отрицательным ( $OH$  у целлюлозы и ЭД,  $C=O$  у ИКС и ацетона) или положительным ( $OCH_3$  у лигнина,  $NH_2$  у затвердевшей ЭД) полюсами, что обеспечивает прочность древесины и избирательную адгезию клеевого состава к ней.

Углублены представления о структуре: - древесины, клеевого состава и их компонентов на субмикроскопическом и надмолекулярном уровнях, даны электронномикроскопические изображения, морфологические признаки, геометрические характеристики и электроповерхностные свойства субмикроскопических и надмолекулярных частиц (СМЧ и НМЧ) лигнина, ИКС и ЭД и волокон (СМВ и НМВ) целлюлозы; - гигроскопической воды в прослойках целлюлозы, дана схема ее адсорбционного слоя с учетом строения молекулярных ассоциатов, уточнены схемы двойных электрических слоев ДЭС, определены значения толщины  $\delta_B^H$  (0,62 ч2,2) нм и диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  слоя воды на волокнах целлюлозы.

Выведены уравнения: - адгезионной прочности  $R_A$  между целлюлозосодержащей стенкой клетки и лигнином и когезионной прочности  $R_K$  лигнина, установлены требуемые характеристики разрабатываемого клея - адгезия к целлюлозе  $R_A \ll 7 \text{ МПа}$  и когезионная прочность  $R_K \ll 11 \text{ МПа}$ ; - растягивающего напряжения в лигниновых прослойках  $\nabla^n$  от усушки и силы набухания древесины  $F_{наб}$  в зависимости от ее влажности; - эластических деформаций клееного бруса. Выполненный комплекс экспериментальных физико-механических, электронномикроскопических, электрокинетических, ИК-спектроскопических исследований, подтвердил корректность этих уравнений и разработанных теоретических представлений о прочности, усушке и набухании древесины, трещиностойкости клееных деревянных брусьев и шпал.

На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработаны клеевой состав КС-2 и технология изготовления клееных деревянных брусьев, которые успешно прошли производственные и эксплуатационные испытания. Разработаны Технические условия Украины ТУУ- 01116472-087-2002 "Бруси мостові дерев'яні клеені для залізниць широкої колії", а также "Інструкція по виготовленню клеєних дерев'яних мостових брусів". Получены 2 патента на изобретения. Материалы диссертации используются в учебном процессе.

Ключевые слова: клееные деревянные брусья, механизмы, усушка, набухание, трещиностойкость, прочность, клеевой состав, технология.

## **ABSTRACT**

Plugin D.A. A glued wood beam heightened cracking resistance. - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences on a speciality 05.23.05 - building materials and products. The Kharkov state technical university of building and architecture. Kharkov, 2003.

The optimum glue composition, technology characteristics and manufacturing methods of glued wood beams are designed.

The submissions about the mechanisms of shrinkage, swelling and gluing-up of wood are developed, the equivalent circuit and mathematical models of formation of strength of adhesive and cohesive contacts in wood and on border wood - glue are designed.

The criteria of viscosity of a glue composition and adhesive joint of wood are established, on the basis of which the optimum composition KC-2 is designed.

Manufacturing methods of glue composition KC-2 and glued wood beams beta test on Costopol integrated house-building and in Korosten of a division of protecting plantations of South-West railway successfully have passed. The experimental batches of glued wood beams are introduced on railway bridges of Southern and South-West railways.

Keywords: glued wood beams, mechanisms, shrinkage, swelling, cracking resistance, strength, glue composition, technology.

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

Клесний дерев'яний брус підвищеної тріщиностійкості

Плугін Дмитро Артурович

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск Н.Н.Партала

---

Підписано до друку 18 березня 2003 р.  
Формат паперу 60■84 1/16. Папір офсетний.  
Умовн.-друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1.  
Замовлення № 165. Тираж 100 прим.

---

Видавництво УкрДАЗТ, свідоцтво ДК №112 від 06.07.2000 р.  
Друкарня УкрДАЗТу  
61051, м. Харків – 50, пл. Фейсбаха, 7