

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 674.047

*Ст. наук. співроб. О.О. Пінчевська, канд. техн. наук;
магістр В.М. Гоняк – Національний аграрний університет, м. Київ*

КІНЕТИКА СУШІННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ З ВІЛЬХИ

Експериментально встановлені значення коефіцієнтів вологопровідності вільхи залежно від температури середовища. Встановлено, що експериментальні криві кінетики сушіння пиломатеріалів з вільхи в камерах з водяним теплопостачанням мають вигляд подвійної експоненти і не можуть бути описані рівнянням вологопровідності. Запропоновано опис процесу сушіння з врахуванням термовологопровідності, на підставі якого розроблений адекватний метод розрахунку кінетики сушіння.

*Senior research officer O.O. Pinchevska;
master's degree V.M. Gonyak – National agrarian university, Kyiv*

Drying kinetic of alder sawn timbers

Were determined by experimental the coefficient of moisture diffusion of alder and its dependence from temperature. Also determined that experimental drying kinetic curved lines of the alder saw timbers dried in the chamber with water-supply heater have double-exponential form, are couldn't exactly described by the moisture permeability equation. The description of drying process with the register of thermo-moisture permeability and adequate calculated method of drying kinetic are proposed.

Деревина вільхи останнім часом набула великої популярності при виготовленні меблів, між тим досвід в сушінні пиломатеріалів з вільхи базується на теоретично необґрунтованих рекомендаціях, побудованих без знання теплофізичних параметрів цієї породи. Досягти якісного сушіння за таких умов досить важко, навіть при застосуванні м'яких режимів сушіння, що рекомендовані для сучасних камер з водяним теплопостачанням.

Одним з найважливіших для сушіння фізичних параметрів деревини є коефіцієнт вологопровідності, який характеризує інтенсивність потоку вологи всередині деревини. Значення його для деревини вільхи невідомі, хоча без цих даних неможливо побудувати рівняння кінетики сушіння та раціональні режими сушіння пиломатеріалів. У зв'язку з цим були проведені дослідження з визначенню коефіцієнта вологопровідності деревини вільхи.

Відомо, що коефіцієнт вологопровідності визначається експериментальним шляхом і для цього рекомендовано такі методи: стаціонарного току, нестаціонарного току, дослідних сушінь та контактного зволоження. Більш надійним і точним є метод стаціонарного току, але він потребує значного часу – декілька місяців для встановлення в зразку стаціонарного потоку вологи. Метод нестаціонарного току потребує побудови розрахункових графіків розподілу вологи, що вимагає аналізу пошарового вологовмісту в різні періоди. При використанні методу дослідних сушок для розрахунку коефіцієнта вологопровідності за теоретичним рівнянням процесу необхідно знати коефіцієнт

вологообміну, який необхідно визначати паралельно з коефіцієнтом вологопровідності, отримуючи з досліду не одне розрахункове рівняння, а систему з двома невідомими, що значно ускладнює розрахунки.

Більш поширеним є метод контактного зволоження, який дає досить надійні результати і потребує невеликих витрат часу на дослідження зразка – не більше доби, що дає змогу отримати велику кількість даних. Цей метод було використано П.С. Серговським [1], Р.П. Алпаткіною [2], Г.С. Шубінін [3] для визначення коефіцієнтів вологопровідності сосни, бука, дуба, модрини, ялини, берези та осики в діапазоні температур від -30°C до 90°C . Проведені експериментальні дослідження дали змогу виявити мінливість коефіцієнта вологопровідності (коефіцієнт варіації становив $V_{\alpha'} = 7,7\%$) та його залежність від напрямку потоку води, температури.

Враховуючи певний досвід у визначенні коефіцієнта вологопровідності інших порід було вибрано метод контактного зволоження. Суть методу контактного зволоження полягає у зволоженні зразків двох різних розмірів за товщиною, шляхом контакту їх з фільтрувальним папером певної вологості. Зразки попередньо витримували в ексикаторі, зарядженому сірчаною кислотою відповідної щільності до досягнення ними певної рівномірно розподіленої рівноважної вологості. Потім їх обкладали фільтрувальним папером і розміщували в ексикаторі, зарядженому водою, де витримували протягом деякого часу τ , встановленого на підставі попередніх дослідів, для досягнення зразками певної кінцевої вологості $W < W_{\text{мг}}$ (рис. 1, а).



Рис. 1. Розташування зразків вільхи в ексикаторі для: а – визначення коефіцієнта вологопровідності; б – вологості межі гігроскопічності

Вираховували величину коефіцієнта вологопровідності з рівняння вологопровідності, що вимагає даних про вологість межі гігроскопічності $W_{\text{мг}}$. Отже, крім основних дослідів, було проведено допоміжні дослідів з визначення вологості межі гігроскопічності $W_{\text{мг}}$ (рис. 1, б). Досліди проводили в діапазоні температур $t = 25, 40, 60, 80^{\circ}\text{C}$, для якого побудовані залежності за визначенням:

- вологості межі гігроскопічності деревини вільхи

$$W_{\text{мг}} = -0,05t + 37,34; \quad (1)$$

- коефіцієнта вологопровідності деревини вільхи в тангенціальному напрямку

$$a'_m = 0,0059t^{1,66}; \quad (2)$$
- коефіцієнта вологопровідності деревини вільхи в радіальному напрямку

$$a'_p = 0,0078t^{1,62}; \quad (3)$$

Отримані рівняння не суперечать відомим твердженням щодо залежності вологості межі гігроскопічності [4] та коефіцієнта вологопровідності від температури. Видно, що коефіцієнт вологопровідності вільхи в радіальному напрямку є більшим в 1,1 раза за коефіцієнт вологопровідності в тангенціальному напрямку.

На сьогодні як режими сушіння, так і технологія проведення процесу зазнали істотних змін. Теплоносієм в сучасних лісосушарках є гаряча вода з температурою $t = 90 - 115^\circ\text{C}$. Відтворення традиційної технології прогрівання деревини перед сушінням в насиченому середовищі є економічно невигідним в камерах з водяним теплопостачанням [5], тому сучасна технологія сушіння переважно не передбачає попереднього нагрівання деревини за підвищеної температури сушильного агента. Це пов'язано також з бажанням зберегти природний колір деревини, оскільки прогрівання за підвищеної температури та високої відносної вологості спричиняє її потемніння [6].

Процес нагрівання штабелю відбувається шляхом поступового збільшення температури до температури першого ступеня режиму сушіння. Ступінь насичення середовища при цьому підтримується таким, щоб запобігти конденсації вологи на матеріалі, яка зволожує поверхню і тим самим сприяє осушенню повітря – $\varphi = 80 - 85\%$ [7, 8]. Крім того, зайву вологу необхідно потім видаляти з камери, що підвищує собівартість сушіння. Небажана конденсація вологи на огорожувальних конструкціях викликає їх руйнування.

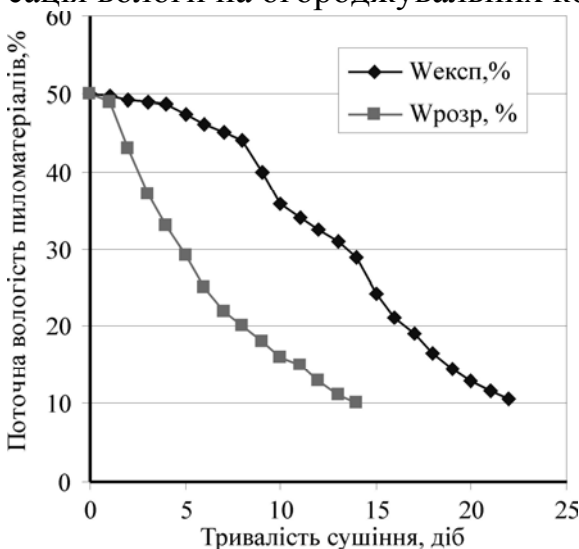


Рис. 2. Криві сушіння пиломатеріалів з вільхи товщиною 50 мм: $W_{теор}$ розрахована за рівнянням вологопровідності та $W_{експ}$ отримана при сушінні в камерах з водяним теплопостачанням у виробничих умовах

На відміну від попереднього прогрівання деревини в насиченому середовищі поступове прогрівання супроводжується видаленням води з матеріалу з невеликою швидкістю [9]. Криві сушіння за таких умов істотно відрізняються (рис. 2), вони мають S-подібну форму або форму подвійної експоненти. Порівняння їх із кривими, побудованими із застосуванням тільки рівняння вологопровідності, дає велику похибку $\Delta\tau = 0,4 - 0,6\tau$.

Це пов'язано з відсутністю у розрахунковому рівнянні кінетики сушіння складової, яка враховує перерозподіл вологи в деревині, що не дає змоги

правильно відтворити характер зміни вологовмісту у штабелі протягом всього процесу і найбільша помилка наявна на його початку. Для врахування температурної складової на процес перерозподілу вологи в необмеженій пластині ми використали рівняння, яке імітує вплив температурних полів шляхом введення джерела вологи, що змінюється за експоненціальним законом

$$U = U'_0 e^{-k\tau}, \quad (4)$$

де: U'_0 – максимальна потужність джерела; k – постійна, яка враховує відносну швидкість зміни питомої потужності джерела.

Моделювання процесу шляхом введення джерела вологи дає змогу коригувати теоретичні криві кінетики сушіння. Причому потужність джерела змінюється залежно від режимних параметрів, тобто при кожних нових параметрах сушильного агента гальмівна дія джерела вологи буде набувати нової сили.

Таким чином, задача динаміки сушіння набуває такого вигляду:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a' \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{U'_0 e^{-k\tau}}{c \rho_0}; \quad (5)$$

за початкових

$$U(x, 0) = U_0 - const, \quad (6)$$

$$\frac{\partial U(0, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

і граничних умов $-a' \frac{\partial U(R, \tau)}{\partial x} + \alpha [U_p - U(R, \tau)] = 0, \quad (8)$

де: a' – коефіцієнт вологопровідності; ρ_0 – густина абсолютно сухого тіла; c – питома теплоємність тіла.

Розв'язок задачі (5) в критеріальній формі наведений в [10], де показано, що для наближеного рішення достатньо використання першого члена швидкозбіжного ряду. Аналітичне визначення поточної вологості за цим рівнянням вимагає достатньо складних експериментів для визначення термодинамічних коефіцієнтів деревини. Цього позбавлений метод узагальнення експериментальних даних, який заснований на використанні загального рівняння масопередачі. Такий підхід, запропонований в роботах [11, 12], використовується в легкій та хімічній промисловостях при сушінні відповідних матеріалів.

Отже, поточне значення вологовмісту пиломатеріалів у наближеному вигляді таке:

$$\bar{U}(\tau) = (U_0 - U_c) [D_1 e^{-K_1 \tau} - D_2 e^{-K_2 \tau}] + U_c. \quad (9)$$

Видно, що рівняння (9) містить у спрощеному вигляді рішення відомого рівняння вологопровідності:

$$\bar{U}(\tau) = (U_0 - U_c) (D_1 - D_2) e^{-K_1 \tau} + U_c \quad (10)$$

за $D_1 - D_2 = 1$ та компонента, що описує виникнення джерела вологи в сортименті, який гальмує процес видалення води.

Визначення поточних значень вологості за формулою (9) можливе за відомих значень K_1, K_2, D_2 і a' . Значення коефіцієнтів вологопровідності деревини вільхи a' (відповідно $K_1 = a' / R^2$), залежно від режимних параметрів, описується рівняннями (2), (3). Значення D_2, K_2 , що характеризують, відповідно, потужність джерела вологи та швидкість її спадання, залежать від тривалості встановлених при зміні режиму сушіння температурних полів за товщиною пиломатеріалу та співвідношення потужності джерел, які відповідають зміні вологості в матеріалі під дією перепадів вологісного та температурного полів.

Попередні дослідження [13, 14] показують, що встановлення температурних полів по перетину матеріалу здійснюється приблизно утричі швидше за встановлення вологісних полів, тому K_2 становить приблизно $(2...4)K_1$. Співвідношення між рушійними силами перепадів температури та вологості на переміщення вологості по матеріалу становить приблизно $0,2...0,4$. Отже, зміну вологовмісту деревини протягом часу може бути подано формулою

$$\bar{U}(\tau) = (U_0 - U_p) [D_1 e^{-K_1 \tau} - (0,2...0,4) D_1 e^{-(2...4)K_1 \tau}] + U_p. \quad (11)$$

Величини D_1 , D_2 та K_2 визначаються за експериментальними кривими кінетики сушіння.

На приладі побудови теоретичних кривих сушіння пиломатеріалів з вільхи товщиною 50 мм показано порядок розрахунку поточної вологості за рівнянням. Для порівняння розрахункових та експериментальних даних були використані результати дослідження процесу сушіння цього ж матеріалу у виробничих умовах в італійських камерах фірм Termolegno, Sorcal, Nardi, що встановлені на київському підприємстві ВАТ "Видубичи". Параметри режиму – температура t та рівноважна вологість W_p , у згаданих камерах змінюються поетапно, залежно від поточної вологості деревини. Відповідним чином було виконано розрахунок теоретичної кривої сушіння для фактичних t та W_p .

Для кожного етапу розрахунку визначали коефіцієнти K_2 та K_1 , а також їх співвідношення, яке в середньому становить $K_2 / K_1 = 1,45$. Такі розрахунки були проведені для п'яти сушарок. Визначені середні значення співвідношення коефіцієнтів для всіх експериментальних кривих кінетики сушіння пиломатеріалів з вільхи товщиною 50 мм, з врахуванням яких отримано розрахункове рівняння для визначення поточної вологості:

$$W(\tau) = (W_0 - W_p) [1,6 e^{-K_1 \tau} - 0,6 e^{-1,45 K_1 \tau}] + W_p. \quad (12)$$

Адекватність запропонованого методу розрахунку кінетики сушіння підтверджена перевіркою однорідності середніх значень та дисперсії поточної вологості, що отримані розрахунковим та експериментальним шляхом [15]. Підставу для використання таких статистичних процедур дали раніше проведені дослідження [16], які довели, що розподілення кінцевої вологості пиломатеріалів підпорядковується нормальному закону.

Відповідно до описаної методики, загалом було проаналізовано 17 дослідних сушінь та отримані розрахункові рівняння поточної вологості пи-

ломатеріалів з вільхи товщиною 30 та 40 мм. Результати розрахунків з визначенням розкиду поточної вологості в межах $\pm 2\sigma_w$, де σ_w – середнє квадратичне відхилення, показані на рис. 3-5. Як видно, для більшості сушарок спостерігається досить хороша відповідність між експериментальними і розрахунковими даними.

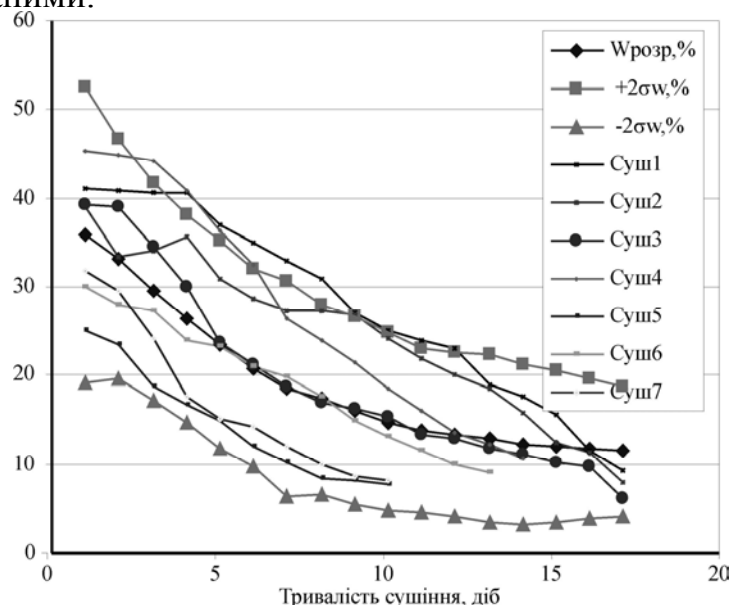


Рис. 3. Порівняння розрахункової $W_{розрах}$ та експериментальної $W_{експ}$ кривих сушіння вільхових пиломатеріалів товщиною 30мм

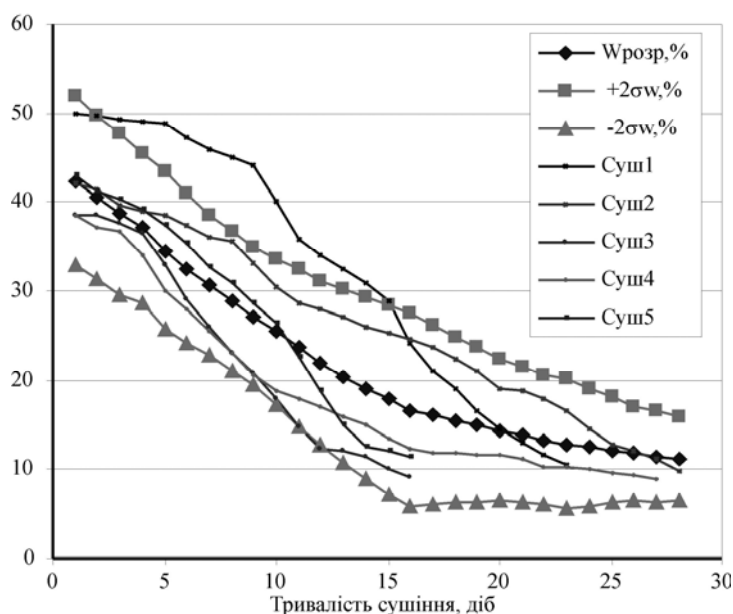


Рис. 4. Порівняння розрахункової $W_{розрах}$ та експериментальної $W_{експ}$ кривих сушіння вільхових пиломатеріалів товщиною 40 мм

Висновки

1. Проведені експериментальні дослідження коефіцієнта вологопровідності та вологості межі гігроскопічності вільхи дали змогу отримати залежності цих величин від температури оброблюваного середовища.
2. Визначено, що криві сушіння вільхових пиломатеріалів у камерах з водяним теплопостачанням відрізняються від традиційних експоненціальних і використання рівняння вологопровідності для опису кінетики сушіння

в таких камерах дає значну похибку $\Delta\tau = 0,4 - 0,6\tau$, що пов'язано з вагомим впливом термовологопровідності.

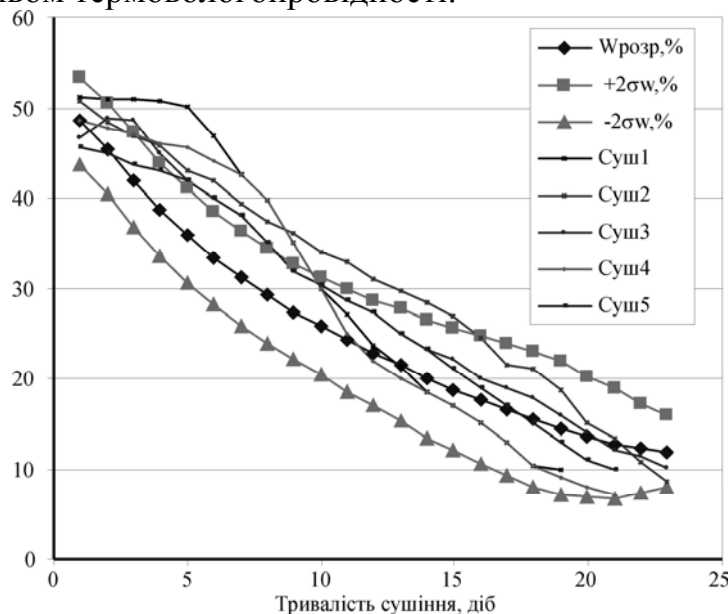


Рис. 5. Порівняння розрахункової $W_{розрах}$ та експериментальної $W_{експ}$ кривих сушіння вільхових пиломатеріалів товщиною 50 мм

3. Для врахування температурної складової на процес перерозподілу вологи в необмеженій пластині запропоновано моделювати вплив температурних полів шляхом введення джерела вологи, що змінюється за експоненціальним законом. Сформовано задачу динаміки сушіння в камерах з водяним теплопостачанням, яка описує комплексну дію явища вологопровідності та термовологопровідності, що імітується шляхом введення внутрішнього джерела вологи.
4. Отримані рівняння розрахунку кривих кінетики сушіння пиломатеріалів з вільхи, що перевірені на адекватність за однорідністю середніх значень поточної вологості за критерієм Стюдента та дисперсій розкиду поточної вологості за критерієм Фішера, можуть бути використані для прогнозування якості сушіння їх в камерах різних конструкцій.

Література

1. Серговский П.С. Влагодпроводность древесины// Деревообраб. пром-сть. – 1955, № 2. – С. 3 -8.
2. Алпаткина Р.П. Исследование влагодпроводности древесины главнейших отечественных пород: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.,1971. – 28 с.
3. Шубин Г.С. Некоторые результаты исследований влагодпроводности древесины// Науч. тр. – М.: МЛТИ. – 1973, вып. 56. – С. 108-112.
4. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. Трете перераб. и доп. изд.: Учебн. для лесотехн. вузов. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.
5. Руководство по эксплуатации сушильной установки фирмы Baschild// Treviolo (BG). – Baschild s.r.l, 2000. – 55 с.
6. Селюгин Н.С. Сушка древесины. – Л.: Гослестехиздат, 1936. – 531 с.
7. Rodolfo Cividini. Conventional kiln-drying of lumber. – Milan: Nardi S.P.A., 2001. – 64 S.
8. Руководство по эксплуатации сушильной установки фирмы Corcal Мод.4001PGR// 1995. – 16 с.
9. Сажин Б.С., Гудим Л.И., Реутский В.А. Гидромеханические и диффузионные процессы. – М.: Легпромбытиздат, 1968. – 200 с.
10. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Гостехиздат, 1952. – 392 с.

11. Сажин Б.С., Реутский В.А. Сушка и промывка текстильных материалов: теория, расчет процессов. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 224 с.
12. Сажин Б.С. Основы техники сушки. – М.: Химия, 1984. – 320 с.
13. Пинчевская Е.А. Усадка древесины лиственных пород: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1988. – 18 с.
14. Тепнадзе М.У. Режимы и технология сушки пиломатериалов в гелиосушилках: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 1986. – 20 с.
15. Пижурин А.А. Современные методы исследований технологических процессов в деревообработке. – М.: Лесн. пром-сть, 1972. – 248 с.
16. Пінчевська О.О. Нормалізація оцінки якості сушіння// Наук. вісник НАУ. – К.: НАУУ. – 2006, № 103. – С. 346-352.

УДК 669.15

Доц. О.В. Білоус, канд. техн. наук – Львівський ДАУ

АПРОБАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОГО ЗНОСОСТІЙКОГО ПОКРИТТЯ НАНЕСЕНОГО НА РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА

Застосування сучасних технологій для зміцнення дереворізального інструменту та перевірка його в умовах роботи меблевого виробництва (при точінні ніжок столів та стільців) на ВАТ Меблевий комбінат "Стрий" Львівської області.

Assoc. prof. O.V. Bilous – L'viv state agrarian university

Wear resistance of tool steel with vacuum ion-plasma coatings

Application of modern technologies for strengthening of woodcutting instrument that verification him in the conditions of work of furniture production (at sharpening of legs of tables and chairs) on VAT Furniture combine "Striy" of the Lvov area.

Постановка проблеми. На сьогодні у світовій промисловості простежується тенденція до зростання швидкостей різання, підвищення вартості інструменту, що призводить до збільшення витрачання коштів на одиницю випущеної продукції. Тому особливої нагальності набуло питання розроблення нових інструментальних матеріалів і нових зносостійких покриттів для підвищення фізико-механічних властивостей інструменту, а саме підвищення твердості, міцності, теплостійкості і зносостійкості.

Постановка завдання. З метою перевірки отриманих результатів лабораторних [1-4] досліджень зносостійкості інструментальних сталей здійснено промислові випробування зносостійкості різального інструменту (прохідних і фасонних різців) в умовах роботи меблевого виробництва (при точінні ніжок столів і стільців) на ВАТ Меблевий комбінат "Стрий" Львівської області. При цьому проводили порівняльні дослідження зносостійкості прохідних і фасонних різців серійного виготовлення із сталі У8 після гартування, що використовуються на комбінаті, і такого ж інструменту із сталі У8, різальні кромки якого зміцнювались комплексною (ЕІЛ+ОКГ) поверхневою обробкою.

Виклад основного матеріалу. Принагідно зазначимо, що внаслідок обробки згаданого інструменту ЕІЛ+ОКГ істотно поліпшено фізико-механічні властивості поверхневого шару різальних кромки різців (підвищилась мікротвердість, поліпшився фазовий стан, відбувся рівномірний розподіл хіміч-