

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ В ТОРЦЕВІЙ ЗОНІ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

В.С. Коваль, кандидат технічних наук

Т.В. Коваль, кандидат фізико-математичних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Проведено теоретичні та експериментальні дослідження розподілу поля вологості в торцевій зоні пиломатеріалів у процесі камерного сушіння деревини. Показано, що інтенсивне випаровування вологи з торцевої поверхні матеріалу призводить до утворення температурного перепаду між поверхнею торця та центром сортименту, що прискорює процес сушіння. Визначено межі торцевої зони пиломатеріалів виходячи із впливу поздовжнього току вологи на зміну поля вологості в поперечному напрямку.

***Ключові слова:** сушіння пиломатеріалів, динаміка процесу сушіння, торцева зона пиломатеріалу, розподілення вологості, дефекти сушіння, торцеві тріщини, причини виникнення.*

Під якісним сушінням пиломатеріалів необхідно розуміти, поряд із досягненням рівномірності кінцевої вологості, відсутність видимих дефектів у вигляді розтріскування та жолоблення сухого матеріалу.

Відомо, що торцеві тріщини виникають раніше інших дефектів сушіння. Їх виникнення в пиломатеріалах спостерігається в діапазоні середньої вологості деревини 30–50 %. Тріщини, як правило, утворюються у радіальній площині по серцевинних променях. Спочатку виникають дрібні тріщини, що йдуть вглиб на декілька міліметрів. При подальшому сушінні без зміни режиму деякі з тріщин збільшуються за довжиною та шириною. Їх глибина може бути достатньо значною, досягаючи при неправильному сушінні одного метра і більше. Такі глибокі тріщини утворюються при сушінні широких необрізних дощок твердих листяних порід. Невеликі торцеві тріщини, що виникли на початку процесу

сушіння, при його продовженні, в діапазоні середньої вологості 20–30 % закриваються та в більшості стають непомітні. Практика також свідчить, що внутрішні тріщини утворюються переважно в зоні торця, їх поява може визначатися за характерним прогином поверхні зразка. Ці тріщини, як і зовнішні торцеві, йдуть у радіальному напрямку. В широких дошках зона їх утворення знаходиться вздовж крайок дошки, а в брусках – по їх осі. Однак відомий механізм утворення внутрішніх тріщин не пояснює їх переважне розташування в зоні торця.

Основною причиною торцевого розтріскування вважається нерівномірність поля вологості за довжиною матеріалу, що створюється за рахунок збільшення коефіцієнта вологопровідності деревини у поздовжньому напрямку. Тому вивчення полів вологості в торцевій зоні пиломатеріалів є необхідною умовою визначення причини утворення цього дефекту сушіння.

Мета дослідження. Визначити закономірності процесу сушіння деревини в торцевій зоні пиломатеріалу.

Результати дослідження. Розподіл поля вологості по об'єму матеріалу в процесі сушіння залежно від параметрів оточуючого середовища розглянемо на базі диференціального рівняння вологопровідності [1, 2].

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a' \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right),$$

за початкових та граничних умов:

$$u = u_{\text{н}} \text{ , іде } \tau = 0 \text{ , } a' \left[\frac{\partial u}{\partial x} \right]_{x=x_{\text{н}}} = \beta (u_{\text{н}} - u_p)$$

Відоме рішення цього рівняння для випадку одномірного потоку вологи має вигляд:

$$K = \frac{W_x - W_p}{W_i - W_p} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \mu_n \frac{x}{R} \exp(-\mu_n Fo')$$

де W_i, W_x, W_p – початкова, текуча та рівноважна вологість деревини;

Fo' – дифузійний критерій Фур'є;

R – визначальний розмір.

За наведеним рішенням побудована номограма [3], на якій графічно

$$K = f\left(Fo', \frac{x}{R}\right).$$

вирішується рівняння:

Для необмеженої за шириною пластини задача зводиться до рішення рівняння:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a'_{\text{т\ddot{a}o}} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a'_{\text{т\ddot{c}a}} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2},$$

де $a'_{\text{т\ddot{a}o}}$ і $a'_{\text{т\ddot{c}a}}$ – коефіцієнти вологопровідності деревини впоперек та вздовж волокон.

У зв'язку зі складністю аналітичного рішення цього рівняння для двомірного потоку вологи розглянемо графоаналітичне рішення рівняння при граничних умовах першого роду, яке можна отримати беручи до уваги відоме положення теорії теплопровідності, згідно з яким результуючий критерій вологості дорівнює добутку відповідних критеріїв у двох взаємоперпендикулярних напрямках [4], тобто $K = K_x \cdot K_z$.

Оскільки метою дослідження є визначення впливу торця на зміну поля вологості, було використано для врахування поздовжнього напрямку току вологи рішення рівняння вологопровідності у вигляді напівобмеженого тіла, яке набуває вигляду [5]:

$$K = \operatorname{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{a'\tau}}\right),$$

де a' – коефіцієнт вологопровідності вздовж волокон;

z – відстань від торця до місця виміру.

Як засвідчує рівняння, інтенсивність переміщення вологи не залежить від форми поперечного перерізу сортименту, а є функцією квадрата відстані від торця, коефіцієнта вологопровідності деревини вздовж волокон та тривалості процесу сушіння.

На основі наведеного рівняння була побудована номограма з визначення безрозмірної вологості залежно від відстані до торця та коефіцієнта вологопровідності деревини вздовж волокон для певного моменту часу (рис. 1).

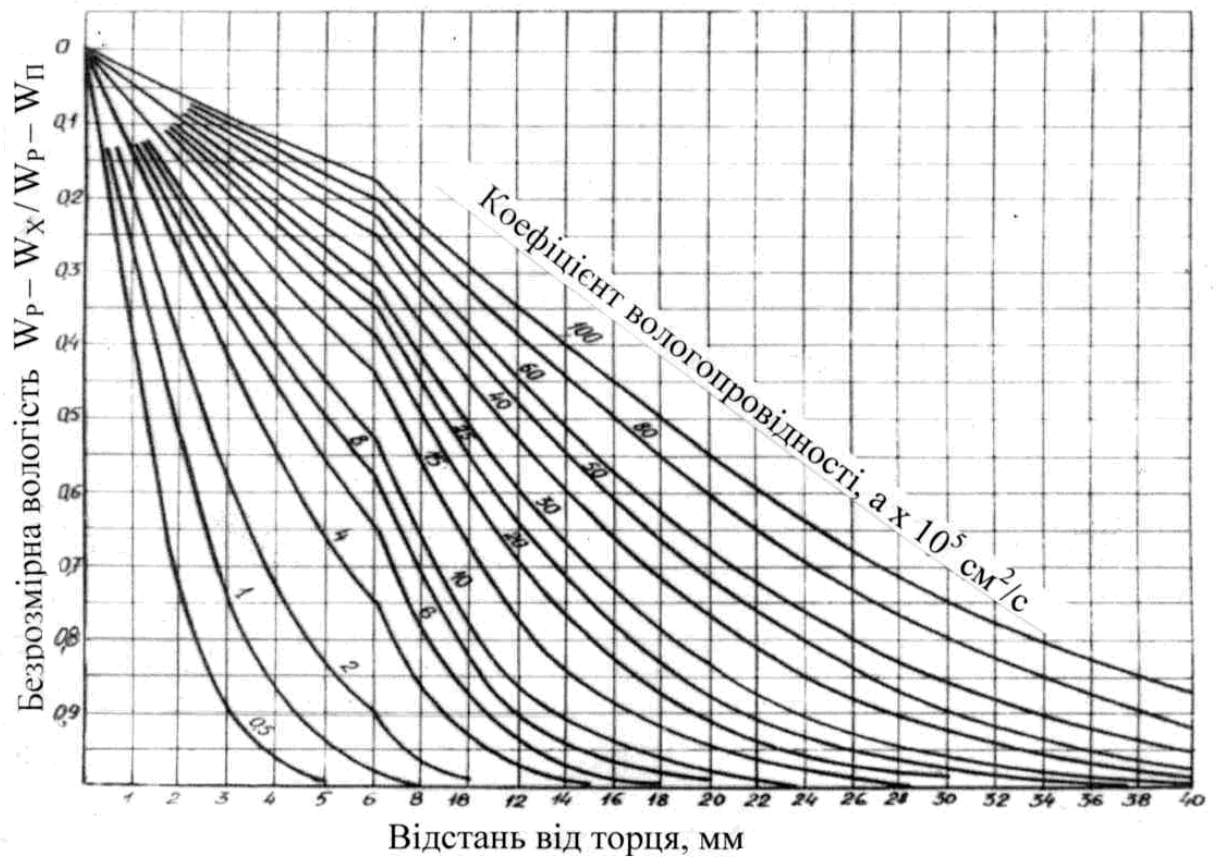


Рис. 1. Номограма з розрахунку поля вологості в поздовжньому напрямку сортименту ($\tau = 4$ доби)

Значення вологості деревини в будь-якій точці сортименту знаходимо використовуючи побудовану номограму для визначення K_z і номограму з визначення безрозмірної вологості K_x для одномірного току вологи.

Інтенсивність випаровування вологи з різних поверхонь деревного сортименту значно відрізняється у зв'язку з анізотропією його будови. Збільшення поздовжнього току вологи та підвищення інтенсивності випаровування її з торцевої поверхні повинно викликати значне локальне зниження температури в поверхневих шарах торцевої зони порівняно з поверхневими шарами бічних поверхонь. Це зумовлено тим, що із збільшенням різниці тисків водяної пари в деревині та зовні її потік вологи зростає. Для забезпечення випаровування вологи необхідно підвищити витрати тепла, чим і пояснюється зниження температури всередині торцевої зони пиломатеріалу. В подальшому, при висушуванні поверхневої зони торця, температура в ній поступово наближається до температури в камері.

На рис. 2 відображені експериментальні дані з вимірювання температури по довжині і товщині дубових пиломатеріалів у процесі їх сушіння.

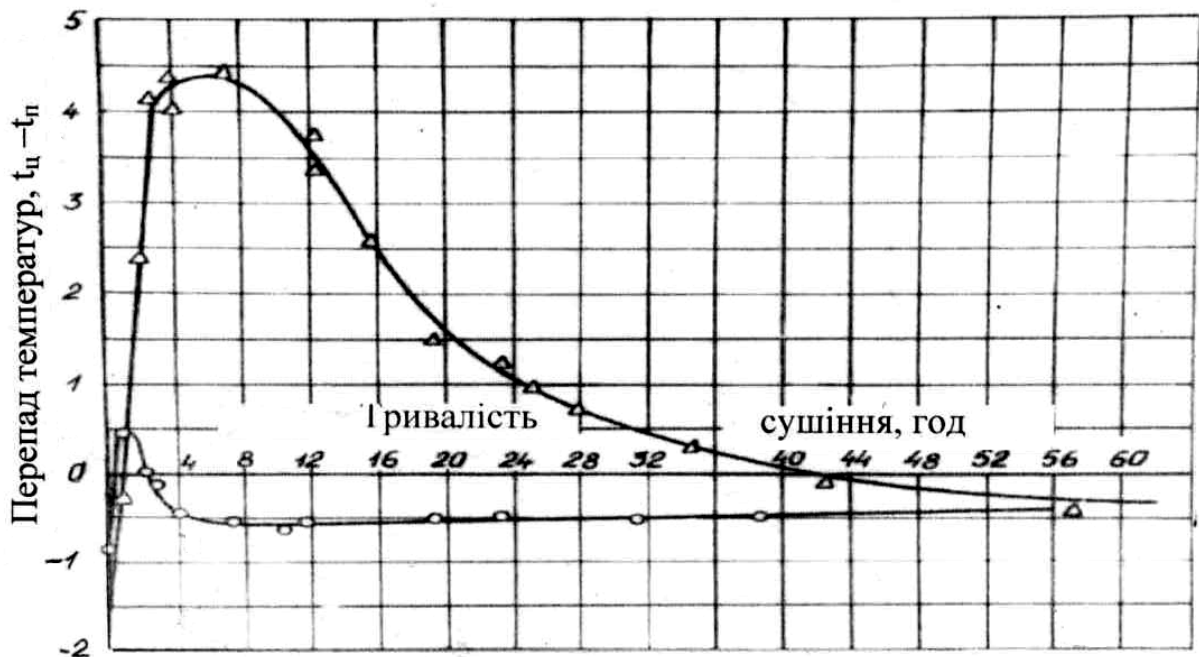


Рис. 2. Розподілення температури деревини по довжині (1) і товщині (2) сортименту в процесі сушіння.

Зіставлення отриманих кривих зміни температури по довжині і товщині сортименту показує, що при переході на режим сушіння температура поверхневих зон матеріалу піднімається вище температури за мокрим термометром та на початку процесу перевищує температуру в центрі сортименту. При випаровуванні вологи з поверхні матеріалу її температура знижується (особливо це помітно в поверхневих шарах торця), що викликає перепад температури значно більший ніж по товщині сортименту. При висиханні поверхневих шарів матеріалу перепад температури зменшується та стає незначним як у поперечному, так і в поздовжньому напрямках. Тривалість періоду, протягом якого діє значний перепад температур, становить 10 % від загальної тривалості сушіння.

З метою виявлення можливості застосування розрахункових методів визначення полів вологості для аналізу процесу сушіння торцевої зони пиломатеріалів були проведені експериментальні дослідження, які показали з

достатньою точністю відповідність розрахункових та експериментальних даних в діапазоні вологості деревини 10–30 %.

На відміну від центральної (основної) частини сортименту, де процес видалення вологи спрямований у напрямку пласті дошки, рух вологи в торцевій зоні відбувається в двох напрямках – поперечному та поздовжньому. Значна різниця швидкості потоку вологи в цих напрямках зумовлює своєрідність процесу сушіння торцевої зони пиломатеріалу, характерною особливістю якої є наявність нерівномірного поля вологості як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках.

Для аналізу процесу сушіння торцевої зони пиломатеріалів були проведені розрахунки полів вологості деревини для пиломатеріалів різної товщини, які показали, що в поверхневих зонах пласті дошки поле вологості в поздовжньому напрямку змінюється незначно. При наближенні до осі сортименту градієнт поля вологості зростає та вздовж осі сортименту набуває максимальних значень. Нерівномірність поля вологості в поперечному напрямку, максимальна в центральній частині сортименту, при наближенні до його торця зменшується.

Збільшення градієнта вологості в поздовжньому напрямку призводить до збільшення перепаду вологості між поверхневою зоною і середньою гігроскопічною вологістю торцевої зони пиломатеріалу. За рис. 3 максимальні перепади вологості відповідають пиломатеріалам необмеженої товщини. Відомо, що величина внутрішніх напружень може бути оцінена за величиною перепаду вологості між центральною і поверхневою зоною. Та чим більший цей перепад, тим більші напруження у поверхневій зоні. Отже, зростання перепадів вологості із збільшенням товщини пиломатеріалів призводить до росту напружень у поверхневій зоні торця, а значить, і небезпеки поверхневого розтріскування деревини.

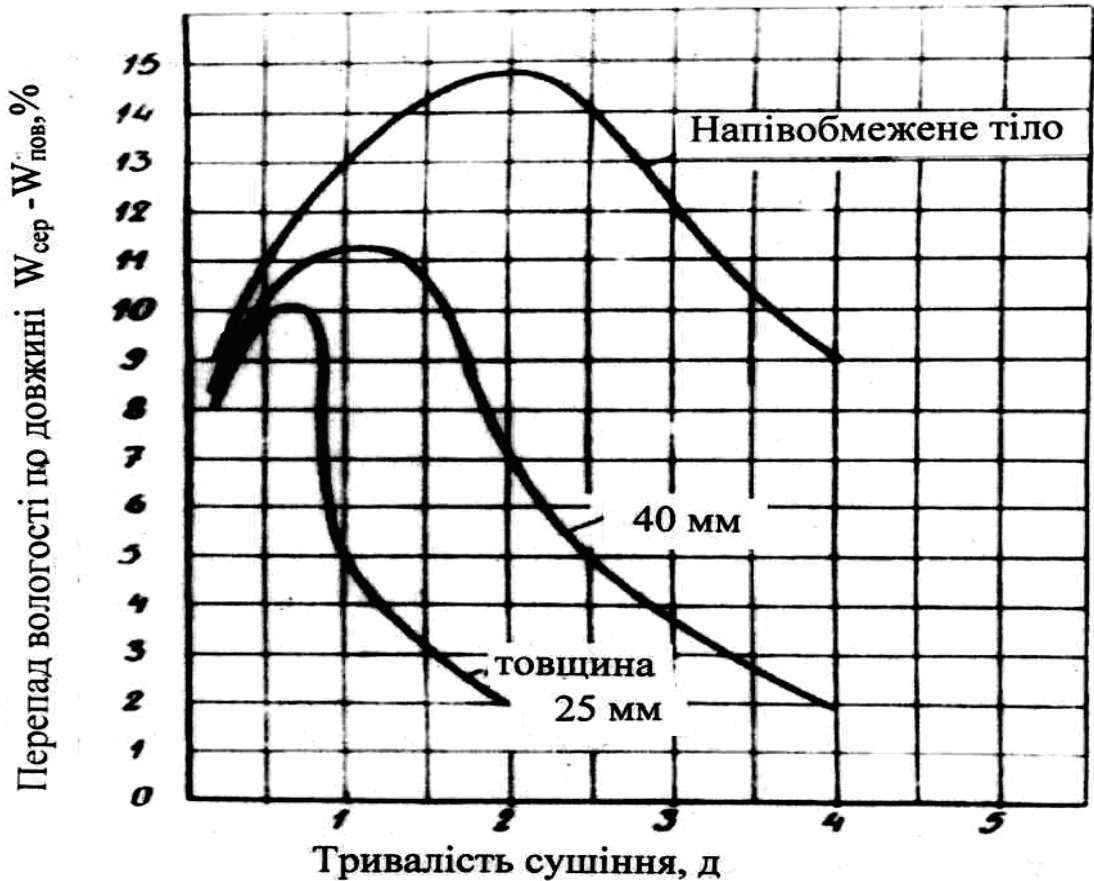


Рис. 3. Перепади вологості по довжині сортиментів різної товщини у процесі сушіння.

Характер розподілення поля вологості в торцевих зонах пиломатеріалів на різних етапах процесу сушіння показує, що границя торцевої зони пиломатеріалу може визначатися залежно від впливу поздовжнього потоку вологи на поле вологості в поперечному напрямку. Для визначення границі торцевої зони пиломатеріалу побудована номограма, яка дозволяє визначити, на якій відстані від торця починає змінюватися поле вологості в поперечному напрямку залежно від коефіцієнта вологості деревини в поздовжньому напрямку та тривалості сушіння (рис. 4).

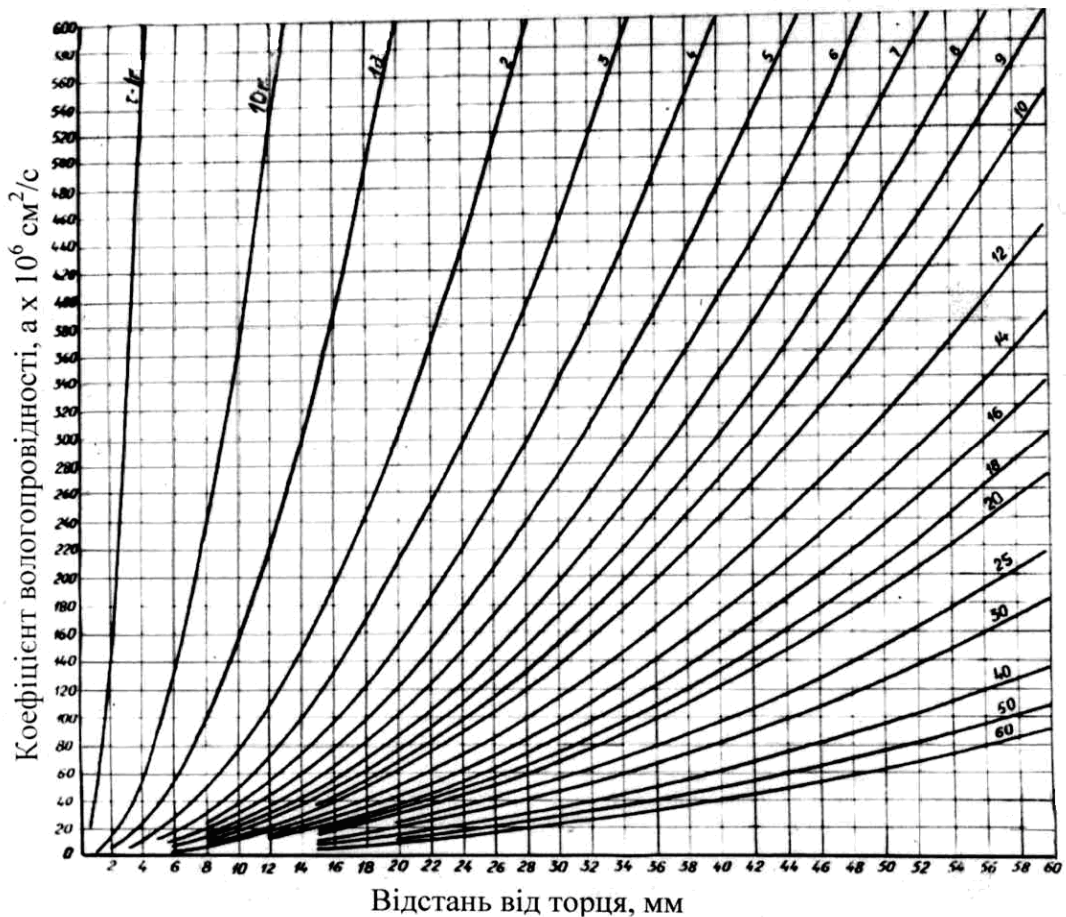


Рис. 4. Номограма з визначення границь торцевої зони пиломатеріалів.

Номограма побудована виходячи з допущення похибки 5 %. Це значить, що вплив торця враховується тільки тоді, коли вологість внутрішньої зони починає змінюватися на 5 % від початкової величини.

Висновки. 1. Інтенсивне випаровування вологи з торцевої поверхні матеріалу призводить до утворення температурного перепаду між поверхнею торця та центром сортименту, що прискорює процес сушіння. Величина цього перепаду при однозначних умовах процесу значно більша, ніж перепад температур між пластовою поверхнею і центром сортименту, а його тривалість становить близько 10 % від загальної тривалості процесу сушіння.

2. Обґрунтована можливість застосування методу розрахунку полів вологості у торцевих зонах пиломатеріалів при їх вологості в межах границі гігроскопічності деревини на базі рішень диференційного рівняння вологопровідності.

3. Торцева зона пиломатеріалів характеризується переміщенням вологи в двох напрямках – уздовж та впоперек волокон, що призводить до утворення нерівномірного поля вологості в поздовжньому та поперечному напрямках сортименту. Нерівномірність поля вологості в поперечному напрямку зменшується при наближенні до торця, а в поздовжньому напрямку зростає вздовж осі сортименту.

4. При збільшенні товщини пиломатеріалів підвищується перепад середньої гігроскопічної вологості та вологості поверхневої зони, а значить і небезпека поверхневого розтріскування деревини в зоні торця пиломатеріалу.

5. Визначені границі торцевої зони пиломатеріалів виходячи з впливу поздовжнього току вологи на зміну поля вологості в поперечному напрямку.

Список літератури

1. Серговский П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / Серговский П.С. – М. : Лесн. пром-сть, 1975. – 400 с.
2. Шубин Г. С. Физические основы и расчет процессов сушки древесины / Шубин Г.С. – М. : Лесн. пром-сть, 1973. – 248 с.
3. Лыков А.В. Теория сушки / Лыков А.В. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.
4. Кречетов И.В. Сушка древесины / Кречетов И.В. – М. : Бриз, 1997. – 496 с.
5. Чудинов Б.С. Теория тепловой обработки древесины / Чудинов Б.С. – М. : Наука, 1968. – 255 с.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования распределения поля влажности в приторцовой зоне пиломатериалов в процессе камерной сушки древесины. Показано, что интенсивное испарение влаги с торцовой поверхности приводит к образованию температурного перепада между поверхностью торца и центром сортимента, что ускоряет процесс сушки. Определены границы приторцовой зоны пиломатериала исходя из влияния продольного тока влаги на изменение поля влажности в поперечном направлении.

Ключевые слова: сушка пиломатериалов, динамика процесса сушки, приторцовая зона пиломатериала, распределение влажности, дефекты сушки, торцовые трещины, причины возникновения.

Theoretical and experimental study of the field distribution of moisture in the area machined lumber during drying chamber timber. It is shown that intense evaporation of moisture from the end surface leads to the formation of temperature gradient between the surface and center of the end of the assortment, which speeds up the drying process. The boundaries of the zone of machined timber based on the effect of moisture on the longitudinal current change in the field of humidity in the transverse direction.

Keywords: drying of saw-timbers, dynamics of process of drying, area machined of sawn-timber, distributing of humidity, defects of drying, cutoff cracks, reasons of origin.