

4. Білей П.В. Установка для сушіння подрібненої деревини / П.В. Білей, В.М. Павлюст, Б.І. Приставський. Патент України на корисну модель № 75600 від 10.12.2014 р.

Білей П.В., Шепелюк О.О., Салдан Р.И. Физические особенности конвективного процесса сушки измельченной древесины

Охарактеризовано происхождение измельченной древесины и области ее применения в национальном хозяйстве. Определены типы сушильных установок, используемых для сушки измельченной древесины. Среди них наиболее распространенными являются барабанные, из-за их высокой производительности и простой конструкции. Для малых предприятий, например в производстве топливных брикетов и гранул, рекомендуется использовать барабанные и аэрофонтанные сушилки, которые имеют два контура, приспособленные для удаления свободной и связанной влаги из материала. Продолжительность сушки в первом и втором периодах описана соответствующими формулами. Для теоретических исследований принята геометрическая форма частицы измельченной древесины в виде шара, с характерным размером – эквивалентным радиусом. Передача тепла в слое измельченной древесины описана уравнением теплопроводности, а температурное поле в частицах измельченной древесины – уравнением Фурье для одномерного шарообразного тела. Постоянной величиной в данном случае принят коэффициент температуропроводности частицы. Поток массы влаги описан уравнением влагопроводности в зависимости от начальной влажности, плотности древесины в абсолютно сухом состоянии и градиента влаги в частицах. Сушка измельченной древесины происходит при высоких температурах (более 100 °С). В таких случаях имеет место и термовлагопроводность древесины. Рассмотрены случаи совместного и противоположного действия явления влагопроводности и термовлагопроводности. Синтезирована физико-математическая модель, которая описывает нестационарное поле влагосодержания для материала, который имеет шарообразную форму, постоянные коэффициенты влагопроводности и термовлагопроводности.

Ключевые слова: процесс сушки измельченной древесины, влагосодержание, влажность, плотность, теплопроводность, коэффициент сушки, влагопроводность, термовлагопроводность.

Biley P.V., Shepelyuk O.O., Saldan R.Yo. Physical Properties of Convective Drying of Shredded Wood

The origin of shredded wood and industries of its application in the national economy are characterized. The main types of dryers that are used for shredded wood drying are identified. Drum dryers are the most common among them because of their great performance and simple design. Drum and air-fountain dryers, which have two contours adapted for removal of free and bound moisture from the material, are highly recommended for applying at small enterprises, in the manufacture of fuel briquettes and granules. Drying duration in the first and second periods is described by appropriate formulas. The geometric shape of shredded wood particle in the form of a ball with a typical size – equivalent radius is approved for theoretical studies. The transfer of heat in a layer of shredded wood is described by a heat equation and a temperature field in shredded wood particles – by Fourier's equation for one-dimensional spherical body. The coefficient of thermal diffusivity of the particle is taken a constant. The flow of moisture mass is described by a moisture conductivity equation depending on the initial moisture content, wood density in a completely dry condition and moisture gradient in particles. Shredded wood drying takes place at high temperature (over 100°C). In such cases thermal moisture conductivity of wood occurs. The cases of compatible and opposing actions of moisture conductivity and thermal moisture conductivity phenomena are studied. A physical-mathematical model describing non-stationary field of moisture content for the material that has a spherical shape and constant coefficients of moisture conductivity and thermal moisture conductivity is synthesized.

Keywords: drying of shredded wood, moisture content, moisture, density, thermal conductivity, drying rate, moisture conductivity, thermal conductivity.

УДК 614.841

*Проф. Е.М. Гуліда, д-р техн. наук;
доц. В.Б. Лойк, канд. техн. наук; курсант Н.Л. Шерстниук;
курсант Ю.С. Дмитрук – Львівський ДУ БЖД*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВОГНЕЗАХИСНОГО ЕФЕКТУ ВЕРМИКУЛІТО-СИЛІКАТНИХ ПЛИТ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ НЕСНИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Запропоновано використання вермикуліто-силікатних плит для підвищення вогнезахисту металевих конструкцій. На основі проведеного експерименту виявлено якісну оцінку вогнезахисного ефекту вермикуліто-силікатних плит за рахунок хімічно-зв'язаної води у вермикуліті. Проаналізовано позитивні та негативні сторони вогнезахисного ефекту пароповітряної суміші внаслідок впливу стандартного температурного режиму пожежі. Створенно передумови для подальшого дослідження впливу температурного режиму пожежі на масотеплообмін пароповітряних сумішей вермикуліто-силікатної плити з використанням числового моделювання фізичних процесів.

Ключові слова: вермикуліто-силікатні плити, пасивне вогнезахисне покриття, вогнезахисний ефект, хімічно-зв'язана вода, будівельні несні металеві конструкції.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток будівництва на території України стимулював розроблення різноманітних проектних рішень та конструктивних схем будівель та споруд, здатних задовольняти необхідні проектно-технічні потреби. Однією із таких пріоритетних потреб у сучасному будівництві є забезпечення будівельних конструкцій необхідною межею вогнестійкості, від якої залежить ступінь вогнестійкості будівлі [1].

До найпоширеніших матеріалів, що використовуються в будівництві, належить метал. Висока міцність, стійкість до механічних навантажень, технологічність, а також простота під час реконструкцій та будівництва зумовило масове використання металевих конструкцій у поєднанні із бетоном, цеглою та іншими конструкційними будівельними матеріалами. Проте металеві конструкції, як будь-які інші, мають свої недоліки. Метал характеризується високою теплопровідністю. Це призводить до того, що в умовах пожежі метал швидко прогрівається до температури, що перевищує 400-500 °С, а внаслідок навантаження у металевих конструкціях розвиваються температурні деформації [2, 8]. Межа вогнестійкості незахищених металевих конструкцій становить R1 10-15. Тривалість вільного розвитку пожежі в середньому становить 25-30 хв. Тому виникає необхідність створення нових видів конструкційно-оздоблювальних виробів з метою підвищення межі їх вогнестійкості.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. З метою підвищення вогнестійкості металевих конструкцій застосовують вогнезахисні екрани. Основною функціональною вимогою до захисного екрану є здатність витримувати високі температури та ізолювати поверхню матеріалу від прямої дії факторів пожежі, для забезпечення конструкції необхідної межі вогнестійкості. До найефективніших способів підвищення вогнестійкості металевих конструкцій належать вогнезахисні покриття та облицювання, які поділяють на реактивні та пасивні [3]. На теперішній час спостерігається розширення ринку вогнезахисних покриттів, натомість перед проектними організаціями постає вибір оптимального вогнезахисного покриття.

Одним із методів вогнезахисту металлоконструкцій є вогнезахист конструкцій жорсткими екранами [4]: вогнестійкими листами, плитами, панелями тощо, що надає, окрім вогнезахисту, ще й декоративні властивості. Питання вогнестійкості та вогнезахисту будівельних конструкцій упродовж останнього десятиліття досліджували Б.Г. Демчина, М.М. Гивлюд, А.В. Довбиш, С.В. Новак, А.І. Яковлев, В.М. Ройтман, С.Я. Вовк, В.В. Артеменко та ін. Запропоновані вогнезахисні покриття збільшують межу вогнестійкості металевих конструкцій за певної товщини нанесення до RI 30-45, але в умовах виникнення пожеж цього недостатньо [16].

На теперішній час як будівельні огорожувальні конструкції використовують конструкційні матеріали з металевого каркасу і внутрішнім теплоізоляційним шаром, виготовленого з пінопластів і волокнистих та азбестовмісних матеріалів з межею вогнестійкості до REI 45 [9]. Поверхню негорючого теплоізоляційного шару декорують фанерою, пластиком або фарбою, що є самі по собі легкозаймистими. Вироби на основі азбесту і неорганічних в'язучих, що характеризуються достатньо високою міцністю, мають обмежене використання з причини їхньої високої густини і певною мірою канцерогенності. Останнім часом за кордоном розроблено і впроваджено у виробництво екологічно чисті конструкційні тепло- і вогнезахисні неорганічні матеріали на основі спучених мінералів, а саме перліту і вермикуліту, в яких армуючим компонентом використовують волокнисті неорганічні матеріали з межею вогнестійкості до RI 60 [9].

Для потреб будівництва широко пропонують матеріали на основі спучених мінералів та силікатних в'язучих. Особливий інтерес має можливість використання вогнезахисних вермикуліто-силікатних плит (далі – ВСП). Основним компонентом ВСП є спучений вермикуліт. Вермикуліт має високі тепло-і звукоізоляційні властивості, не токсичний, не схильний до гниття і перешкоджає поширенню цвілі. Унікальні його технічні характеристики – це температуростійкість, вогнестійкість, хімічна інертність. Вермикуліт є екологічно чистим і біостійким продуктом. За підвищеної температури, що виникає під час пожеж, не виділяє ніяких газів, що є важливою перевагою, порівняно з іншими відомими матеріалами неорганічного походження.

Обпалені маси вермикуліту характеризуються підвищеною вогнестійкістю, високою звукопоглинальною здатністю, низькою теплопровідністю, вермикуліт не піддається вивітрюванню, не конденсує вологу, характеризується малим коефіцієнтом температурного розширення. На відміну від інших видів теплоізоляційних матеріалів (перліту, керамзиту), вермикуліт володіє пружною деформацією, а також наявною хімічно-зв'язною водою. Межа вогнестійкості вермикуліту, залежно від приведеної товщини, становить у межах REI 180-240 [12]. Таким чином, дослідження вогнестійкості будівельних огорожувальних конструкцій вермикуліто-силікатними плитами є актуальним завданням. Проведення досліджень, які пов'язані з розробленням нових огорожувальних будівельних конструкцій із підвищеною межею вогнестійкості, має велике практичне значення.

Мета роботи. Визначення межі вогнестійкості ВСП на підставі результатів експериментальних досліджень для будівельних несних металевих конструкцій.

Методика проведення досліджень. Згідно з [5, 10, 12] випробування полягає у нагріві за стандартним температурним режимом дослідних фрагментів, до настання нормованих станів для відповідної конструкції з вогнестійкості. Для проведення випробування виготовлено два фрагменти дослідного зразка конструкції. Зразок, який необхідно захистити – листову сталь Ст-5 товщиною 4 мм, як вогнезахисний шар використано ВСП товщиною 20 мм загальними розмірами конструкції 220×160×24 мм (рис. 1).

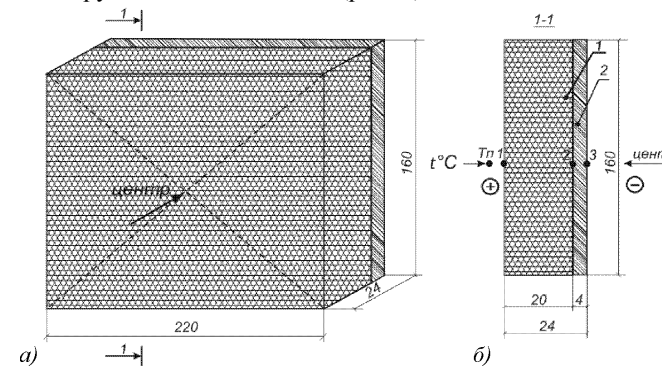


Рис. 1. Загальні розміри дослідного зразка та схема розташування термопар: а) габаритні розміри; б) розріз: 1 – вермикуліто-силікатна плита; 2 – листова сталь Ст-5; T_n – термопара в печі; 1 – на обігрівальній поверхні, 2 – між шарами конструкції, 3 – на необігрівальній поверхні

Перед проведенням випробування фрагменти кондиціонуються у термошафі, яка вентильована за температури 60^{±5} °С протягом 24 год. Вогневе випробування фрагментів проведено в електропечі СНОЛ-1,6,2,0,0,8/9-М1 УХЛ4,2 [6]. Для фіксування температури під час експериментальних досліджень підібрано комплект ТХА довжиною 1-1,5 м з ізоляцією із керамічного намиста. Термопары в печі та термопары у дослідному зразку під'єднали до регулятора-вимірювача РТ 0102-8-К [7], які було підключено до персонального комп'ютера.

Експериментальні дослідження. Випробування фрагментів № 1, 2 вогнезахисного металу ВСП проводили протягом 205 хв. Результати показників термопар представлено на рис. 2.

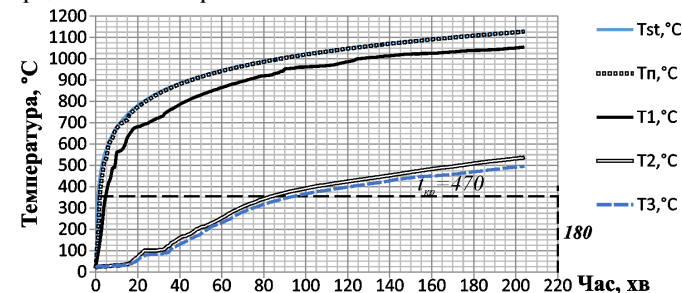


Рис. 2. Зміна температури по товщині фрагмента № 1 вогнезахисної металеві пластины ВСП: T_{st} – стандартна температурна крива, T_n – температура в печі; $T_{1,2,3}$ – показники термопар

Проведення вогневого випробування фрагмента № 1 показало, що втрата вогнестійкості за ознакою теплоізоляційної здатності була на 180 хв, зовнішня необігрівальна поверхня металевої пластини прогрілася до температури 470 °С, тобто температура досягну критичного значення. Проведення вогневого випробування фрагмента № 2 показало, що втрата вогнестійкості за ознакою теплоізоляційної здатності була на 185 хв, зовнішня необігрівальна поверхня металевої пластини прогрілася до температури 473 °С, тобто температура на зовнішній перевищила критичну температуру. Під час проведення випробувань було максимальне відхилення від стандартного температурного режиму пожежі до 2,5 %, що є допустимо.

Із зміни температурної кривої показників термопари Т2, очевидними є два згини на графіку, які свідчать про наявність хімічно-зв'язної води в ВСП. Перший згин – характеризується малим прогріванням для ВСП, що триває приблизно 10-13 хв, за рахунок прихованої теплоти пароутворення. Наступний згин свідчить про припинення випаровування хімічно-зв'язної води, тобто закінчення вогнезахисного ефекту, після закінчення його темп нагрівання збільшується (рис. 3).

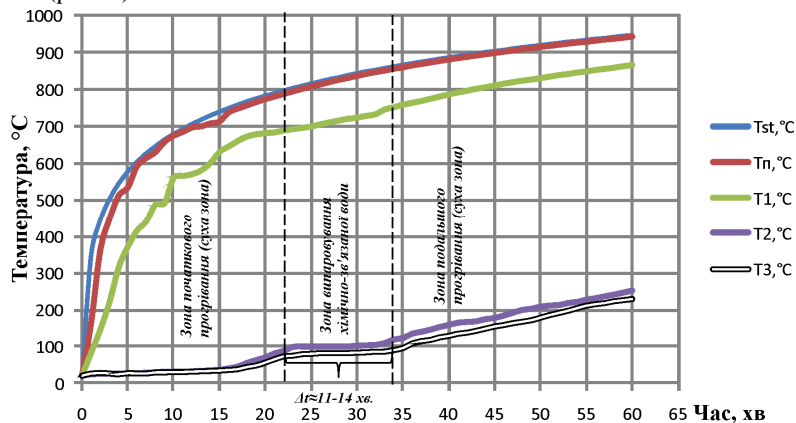


Рис. 3. Вогнезахисний ефект хімічно-зв'язної води ВСП під час вогневого випробування

У зв'язку із впливом температури під час вогневого випробування на розглянуту конструкцію, збільшується температура вогнезахисного шару ВСП, що прилягає до отвору теплофізичної печі. У момент досягнення у шарах ВСП температури 95-100⁰С розпочинається процес переходу хімічно-зв'язної води у пару. Внаслідок цього у конструкції виникає зона випаровування води, на яку затрачається велика кількість теплової енергії, таким чином збільшується час захисної дії для металевої конструкції. Під час випаровування збільшується тиск пароповітряного середовища у структурі ВСП, створюється процес масо-теплообміну пари у бік нагрівання, але більшість пари переміщується у протилежну необігрівальну сторону. Зона випаровування зміщується в глибину ВСП. А оскільки металева пластинка перешкоджає випаровуванню із необігрівального боку, то пара змушена рухатися по капілярах проти теплового потоку, спричи-

няючи при цьому додатковий ефект гальмування передачі тепла захищеної металевої конструкції.

Виходячи із наведеного вище можна сформулювати такі висновки:

1. Проведене випробування підтверджує ефективність використання ВСП як вогнезахисного шару для підвищення вогнестійкості металевих конструкцій.
2. Вогнестійкість металевої плити вогнезахисною ВСП товщиною 20 мм за втратою теплоізоляційної здатності становить RI 180 (приблизно більше у десять разів, порівняно з незахищеною).
3. Наявність хімічно-зв'язної води у ВСП позитивно впливає на підвищення вогнезахисту металевих конструкцій, гальмуючи при цьому теплопередачу внаслідок вивільнення пари із вермикуліту, але зумовлює при цьому надлишковий тиск пароповітряної суміші з боку обігрівання конструкції, що за великої кількості може мати вибухонебезпечний характер.
4. Створено передумови для подальшого дослідження впливу температурного режиму пожежі на масо-теплообмін пароповітряних сумішей у ВСП з використанням числового моделювання фізичних процесів.

Література

1. ДБН В.1.1-7-2002 "Пожежна безпека об'єктів будівництва". – К. : Вид-во "Держбуд України", 2003. – 42 с.
2. Ройтман М.Я. Пожарная профилактика в строительном деле / М.Я. Ройтман. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – М. : Изд-во министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1961. – 368 с.
3. ДСТУ Б В.1.1-17:2007 "Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Методи визначення вогнезахисної здатності" (EN 13381 4: 2002, NEQ).
4. Беликов А.С. Повышение огнестойкости строительных конструкций / А.С. Беликов, Г.Н. Крикунов, В.А. Шаломов и др. // Сборник научных трудов ИГАСА. – Вып. 2, ч. 1. – 1997. – С. 44-47.
5. ДСТУ Б В.1.1-4-98* "Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні положення".
6. Муфельна електропіч ШОЛ-1,6.2.0.0.8/9-М1 УХЛ4,2. Настанова з експлуатації.
7. Петровічовач вимірювальний інтелектуальний РТ 0102-8-К. Настанова з експлуатації.
8. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман // Ассоциация "Пожарная безопасность и наука", 2001. – 382 с.
9. Патент 54666 А Україна, МПК⁷ С 04В 28/24. Склад для виготовлення теплоізоляційного матеріалу / Л.Г. Шараніна, І.Б. Поноарьова, Ю.М. Зубкова (Україна); власник Донецький нац. ун-т, № 2001117498; заявл. 02.11.01; опубл. 17.03.03. – К. : Вид-во "Промислова власність". – 2003. – № 3.
10. ДСТУ Б В.1.1-15: 2007 "Перегородки. Метод випробування на вогнестійкість" (EN 1364 1:1999, NEQ).
11. ДБН В.1.1-7-2002 "Пожежна безпека об'єктів будівництва". – К. : Вид-во "Держбуд України", 2003. – 42 с.
12. EN 1363-1: 1999 "Pire resistanse test-Part 1: General requirements" (Випробування на вогнестійкість. – Ч. 1: Загальні вимоги).
13. ГОСТ 30247.1-94 "Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции".
14. EN 1992-1-1: 2004 (E) Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. – 225 p.
15. ДСТУ Б.В.1.2-3: 2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогни і переміщення. – К. : Вид-во Мінбуд України, 2006. – 14 с.
16. Лоїк В.Б. Вогнезахисні покриття на основі наповнених карборансиліоксанів / В.Б. Лоїк, М.М. Гивлод, С.Я. Вовк // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Д., 2008. – Вып. 52. – С. 60-65.

Гулида Э.Н., Лоик В.Б., Шерстинюк Н.Л., Дмитрук Ю.С. Экспериментальная оценка огнезащитного эффекта вермикулит-силикатных плит для строительных несущих металлических конструкций

Предложено использование вермикулито-силикатных плит для повышения огнезащиты металлических конструкций. На основе проведенного эксперимента обоснована качественная оценка огнезащитного эффекта вермикулито-силикатных плит за счет химически-связанной воды в вермикулите. Проанализированы положительные и отрицательные стороны огнезащитного эффекта паровоздушной смеси в результате воздействия стандартного температурного режима пожара. Созданы предпосылки для дальнейшего исследования влияния температурного режима пожара на массо-теплоперенос паровоздушных смесей вермикулито-силикатной плиты с использованием численного моделирования физических процессов.

Ключевые слова: вермикулито-силикатные плиты, пассивное огнезащитное покрытие, огнезащитный эффект, химически-связанная вода, строительные несущие металлические конструкции.

Gulida E.M., Loik V.B., Sherstyniuk N.L., Dmytruk Yu.S. Experimental Evaluation of the Effect of Fire-retardant Vermiculite – Silicate Plates for Bearing Metal Building Structures

The use of vermiculite-silicate plates to improve fire protection of metal structures is proposed. Qualitative assessment of the effect of flame retardant vermiculite-silicate plates by chemically-bound water in vermiculite is described based on the experiment conducted. Some positive and negative aspects of fire retardant effect of vapor from exposure standard temperature fire control are analysed. Preconditions for further study of the effect of temperature regime on fire heat exchange on mass vapour vermiculite-silicate plates using numerical modeling of physical processes are designed.

Keywords: vermiculite-silicate plate, passive fire protective coatings, fireproof effect, chemically-bound water, building bearing metal structures.

УДК 674.047 Президент Є.П. Кунинець, канд. техн. наук – "Ено меблі ЛТД", м. Мукачево; доц. О.О. Шепелюк, канд. техн. наук; асист. І.Р. Шепелюк – НЛТУ України, м. Львів

ФІЗИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КОНДУКТИВНОГО НАГРІВАННЯ ТА СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

Розглянуто фізичні особливості кондуктивного нагрівання і сушіння деревини. Під час нагрівання деревини відбуваються всі елементарні види теплообміну: теплопровідність, конвекція, теплове випромінювання. Описано способи нагрівання деревини і визначено найбільш придатні для різних видів деревинних матеріалів. Подано фізичні основи кондуктивного нагрівання і сушіння деревини. Визначено вплив температури нагрівної поверхні на динаміку процесу нагрівання і кінетику процесу сушіння. Досліджено, що на початку кондуктивного нагрівання деревини тепло в матеріалі переноситься шляхом теплопровідності, а в подальшому основна частина тепла передається потоком пари, ентальпія якої є більшою за ентальпію рідини. Розглянуто вплив на інтенсивність кондуктивного нагрівання і сушіння сили притискання нагрівної поверхні до матеріалу та товщини матеріалу.

Ключові слова: деревина, теплопровідність, конвекція, пароутворення, випаровування, температура, ентальпія, температурний градієнт, теплове оброблення, сушіння, теплообмінність.

Виклад основного матеріалу. Теплове оброблення і сушіння деревини використовують у виробництві шпону і фанери, пиломатеріалів і заготовок та

різних композиційних матеріалів, у процесах гнуття, пресування та склеювання. Теплове оброблення і сушіння є складними теплофізичними процесами. Під час нагрівання деревини відбуваються елементарні види теплообміну: конвекція, теплопровідність та теплове випромінювання, які в поєднанні з фізичними властивостями деревини та її структурною будовою утворюють складну фізичну модель. Серед способів нагрівання деревини найбільш поширеним є конвективний за його доступністю та широким спектром використання для нагрівання масивної деревини (круглих лісоматеріалів, пиломатеріалів і заготовок різноманітного призначення). Радіаційний та кондуктивний способи нагрівання і сушіння доцільно використовувати у виробництві тонких листових матеріалів: шпону, паперу, картону тощо [1-3].

Кондуктивне нагрівання і сушіння деревини характеризується передачею теплової енергії на процес нагрівання деревини і випаровування з неї вологи завдяки контакту матеріалу з нагрівною поверхнею. У цьому випадку основними параметрами, що визначають динаміку процесу нагрівання на кінетику процесу сушіння, є температура нагрівної поверхні, ступінь (сила) її притискання до поверхні матеріалу, товщина матеріалу та характер його поверхні (в основному, шорсткість) та параметри середовища, в якому відбувається процес нагрівання і сушіння.

Температура нагрівної поверхні ($t_{\text{н}}$), наприклад плит преса, є основним технічним і технологічним параметром, що впливає на тривалість процесів нагрівання і сушіння деревини. Вплив температури нагрівної поверхні на динаміку процесу нагрівання і кінетику процесу сушіння спостерігається протягом всього часу цих процесів.

Ступінь (сила) притискання контактної поверхні до матеріалу мало впливає на теплофізичний аспект нагрівання та сушіння, але має істотний вплив на стан поверхні матеріалу. Чим меншою є шорсткість поверхні матеріалу, тим щільнішим є контакт поверхні матеріалу з нагрівною поверхнею й ефективнішою є передача тепла за рахунок теплопровідності, що описується відповідним рівнянням

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}, \text{ Вт/м}^2, \tag{1}$$

де: λ – коефіцієнт теплопровідності деревини, Вт/(м·°C); dt – різниця температур в деревині ($dt=t_1-t_2$, де t_1 – температура поверхні деревини, яка контактує з нагрівною поверхнею, а t_2 – температура поверхні деревини, що омивається середовищем), °C; dx – товщина матеріалу ($dx=S_1$), м; q – площа поверхні, через яку передається тепло, м².

Однак передача тепла теплопровідністю наявна тільки на початку процесу нагрівання, коли температура деревини є малою ($t_0 < 100^\circ\text{C}$), тобто коли в середині матеріалу не відбувається пароутворення. Тепло від нагрівної поверхні передається контактом до матеріалу, в якому воно переноситься до відкритої поверхні. У першому періоді процесу основна кількість тепла, що передається від нагрівної поверхні, йде на випаровування вологи, а частина втрачається у вигляді теплового випромінювання з вільної поверхні та на конвекцію.