

нию вопроса обеспыливания и транспортировки отходов на деревообрабатывающих предприятиях. Проанализированы основные типы аспирационных систем и на основе анализа доказано, что существующие конструкции не обеспечивают комплексного подхода к вопросу сбалансирования экологических и энергетических факторов. Предложен термин "экологическая энергоэффективность", который определяет целесообразность межотраслевого решения вопроса экологической эффективности в процессах обеспыливания на предприятиях деревообрабатывающей отрасли.

Ключевые слова: пыль древесины, аспирационная система, обеспыливание, санитарные условия труда, энергопотребление, энергетическая эффективность, треугольник компромиссов, экологическая энергоэффективность.

Dadak Yu.R., Lyashenyk A.V. The Components of Comprehensive Solution to the Problem of Environmental Efficiency of Dust Control at Wood-Processing Enterprises

The authors determine the factors affecting the environmental efficiency of dust control processes at wood-processing enterprises and establish their relationship to take effective decisions based on the proposed "triangle of compromises". They validate relevance of the intersectoral approach to the problem of dust control and transportation of wood waste at enterprises. Also, they analyze the basic types of aspiration systems and prove that existing structures fail to provide a comprehensive approach to balancing environmental and energy factors. The authors suggest the term of environmental efficiency to determine feasibility of intersectoral efforts aimed at improving the environmental efficiency of dust control at wood-processing enterprises.

Keywords: wood dust, aspiration system, dust control, sanitary conditions of work, energy consumption, energy efficiency, triangle of compromises, environmental efficiency.

УДК 614.843(075.32)

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД НАГРІВАННЯ ШТАБЕЛІВ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ НА ВІДКРИТИХ СКЛАДАХ ЛІСОМАТЕРІАЛІВ

О.М. Коваль¹

Для визначення ефективності використання води для захисту від нагрівання штабелів під час пожежі на відкритих складах лісоматеріалів проведено експериментальні дослідження цього процесу. Дослідження виконано за різних кутів напрямку подачі пожежним стволом типу Б суцільного струменя до охолоджувальної поверхні штабеля. З'ясовано, що для забезпечення якісного охолодження поверхонь штабелів, які розміщені зі сторони фронту пожежі, потрібно виконувати подачу суцільного струменя води під кутом не більше 20° до поверхні штабеля у вигляді коливних маятникових рухів. Для кращих умов охолодження потрібно повторно наносити охолоджувальну рідину для захисту поверхні штабеля від загоряння з циклом не більше 5...10 с.

Ключові слова: пожежа, штабель лісоматеріалів, експериментальні дослідження, пожежний ствол, суцільний струмінь води.

Постановка проблеми. На деревообробних підприємствах найбільш пожежонебезпечними спорудами є відкриті склади лісоматеріалів штабельного зберігання. У разі виникнення пожежі та її ліквідації на складі лісоматеріалів головним завданням пожежно-рятувальних підрозділів є забезпечення припинення розповсюдження фронту пожежі по штабелях лісоматеріалів. З цієї ме-

тою насамперед потрібно виконувати захист штабелів, які не горять і знаходяться перед фронтом пожежі, від їх нагрівання до температури займання деревини. Одним із відомих способів охолодження поверхонь деревини штабельного зберігання є інтенсивне обливання цих поверхонь водою.

Розглянемо основні види бокових поверхонь штабелів лісоматеріалів, які зберігаються на відкритих складах. Бокові поверхні штабеля круглого лісоматеріалу зображено на рис. 1.



Рис. 1. Фрагмент поверхонь штабеля круглого лісоматеріалу

Штабелі пиломатеріалів можуть бути укладені двома способами: 1) з утворенням зазорів між шарами пиломатеріалів (рис. 2, а); 2) без зазорів між шарами пиломатеріалів (рис. 2, б).



Рис. 2. Фрагменти поверхонь штабелів пиломатеріалів: а) з утворенням зазорів між шарами; б) без утворення зазорів (торцева поверхня штабеля)

Для охолодження поверхонь штабеля використовують пожежні стволи Б з насадкою діаметром 13 мм. Суцільний струмінь води, який виходить із насадки ствола, розпилюється і падає на бокову поверхню у диспергованому вигляді. Після зіткнення з поверхнею штабеля вода розбризкується в різні боки, частково заходить в середину штабеля, а залишок води стікає вниз по боковій поверхні штабеля. Під час ліквідації пожеж на відкритих складах лісоматеріалів штабельного зберігання зовсім не проводили дослідження стосовно ефективного використання води для захисту від нагрівання штабелів. Також відсутні рекомендації в цьому напрямі в технічній і довідниковій літературі. Тому виникає проблема у встановленні методів ефективного використання води для захисту від нагрівання штабелів, які не горять і знаходяться перед фронтом пожежі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші дослідження з охолодження металевих стінок резервуарів для зберігання нафтопродуктів виконано і наведено в роботах [1-3]. У них наведено методику проведення експеримен-

¹ докторант О.М. Коваль, канд. техн. наук – НУ цивільного захисту України

тальних досліджень та отримані результати. Під час потрапляння води із пожежного ствола на охолоджувану поверхню, вона утворює гравітаційно стікаючу плівку, для якої процес теплопередачі відрізняється від процесу з використанням великого об'єму рідини. Ці зауваження наведено в роботах [4-5]. Але для охолодження деревини штабельного зберігання результати досліджень відсутні. Тому поставлено мету – дослідити процес охолодження деревини штабельного зберігання і розробити методику її охолодження з ефективним використанням охолоджувальної рідини.

Мета роботи. На підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень розробити методику ефективного використання води для захисту від нагрівання штабелів під час пожежі на відкритих складах лісоматеріалів.

Постановка задачі та її розв'язання. Для вирішення поставленої мети потрібно розв'язати такі задачі:

1. Визначити довжину шляху водної смуги за її опускання з найвищої точки штабеля h до початку кипіння.
2. Розглянути вплив інтенсивності подачі води на охолодження бокових поверхонь штабеля.
3. За результатами експерименту визначити ефективність використання води прийд час охолодження бокових поверхонь штабелів.
4. Розробити метод охолодження водою бокових поверхонь штабелів з використанням пожежного ствола Б.

Розв'язок поставлених задач почнемо з визначення ширини смуги стікання води по боковій поверхні штабеля. Наближено будемо вважати, що вода під час стікання утворює смугу шириною b_{ox} , яка і охолоджує зовнішню поверхню деревини штабеля. Зовнішній нагляд за сходженням смуги води показав, що її ширина змінюється в межах $0,7 \dots 1,2$ м. Для виконання розрахунків приймаємо ширину водної смуги стікання для охолодження поверхонь штабеля $b_{ox} = 0,8$ м. Позначимо ординату для відліку довжини стікання водної смуги через y_k .

На першому етапі визначимо довжину шляху водної смуги за її опускання з найвищої точки штабеля до початку кипіння. Для цього потрібно визначити товщину водяної смуги δ , швидкість її опускання v_{gn} та коефіцієнт тепловіддачі α_m . Товщину водяної смуги δ визначаємо за залежністю [2]

$$\delta = 0,3076 \left(\frac{v^2}{g} \right)^{1/3} \text{Re}^{0,6}, \quad (1)$$

де: v – кінематична в'язкість води за температури 20°C ; $v = 1,006 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; g – пришвидшення вільного падіння; $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$; Re – число Рейнольдса; для Б число $\text{Re} = 4226$. Після підстановки числових значень у залежність (1) товщина плівки сягає $\delta = 2,2 \dots 3,5$ мм.

Швидкість опускання водної смуги визначаємо за залежністю [2]

$$v_{gn} = \frac{V_c k_e}{b_{ox} \delta}, \quad (2)$$

де: V_c – розхід води стволом, $\text{м}^3/\text{с}$; k_e – коефіцієнт, який враховує ефективність використання води, тобто яка частина води іде на утворення водяної смуги (по-

передньо приймаємо $k_e = 0,5$). Після підстановки у залежність (2) числових значень отримуємо $v_{gn} = 0,77 \dots 1,54 \text{ м}/\text{с}$.

Коефіцієнт тепловіддачі визначаємо за залежністю [3]

$$\alpha_m = 0,0946 \lambda \left(\frac{g}{v^2} \right)^{1/3} \text{Re}^{0,2} \text{Pr}^{0,4}, \quad (3)$$

де: λ – коефіцієнт теплопровідності для води за температури 20°C ; $\lambda = 5990 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$; Pr – число Прандтля (для води за температури 20°C $\text{Pr} = 7,02$).

Після підстановки у залежність (3) числових значень отримуємо $\alpha_m = 14,8 \text{ кВт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$ для ствола Б. Довжину шляху водної смуги до початку кипіння визначаємо за залежністю [2]

$$y_k = v_{gn} \frac{\delta \rho c_p}{\alpha_m} \ln \frac{T_c - T_0}{T_c - T_k}, \quad (4)$$

де: ρ – густина води, $\text{кг}/\text{м}^3$; ($\rho = 998,2 \text{ кг}/\text{м}^3$); c_p – теплоємність води, $\text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{К}$ ($c_p = 4,183 \text{ кДж}/\text{кг}\cdot\text{К}$); T_c – температура зовнішньої поверхні деревини штабеля, К ; T_0 – температура зовнішнього середовища, К ; T_k – температура кипіння води, К . Після підстановки у залежність (4) числових значень отримуємо $y_k = 0,8$ м за $T_c = 150^\circ \text{C}$ та $y_k = 0,5$ м за $T_c = 200^\circ \text{C}$ під час охолодження стволом Б.

На другому етапі розглянемо вплив інтенсивності подачі води на охолодження бокових поверхонь штабеля. Інтенсивність охолодження визначаємо за залежністю

$$I_c = \frac{V_c k_e}{b_{ox}}. \quad (5)$$

Аналізуючи залежність (5), можна зауважити, що за збільшення подачі стволами води на бокові поверхні штабелів і за збільшення коефіцієнта, який враховує ефективність використання води, ефективність охолодження зростає. Це можна пояснити тим, що збільшується передача кількості тепла більшої кількості води, що стікає. Тому ставиться задача встановити можливість збільшити насамперед значення коефіцієнта k_e до максимально можливого значення за рахунок визначення оптимального кута напрямку подачі суцільного струменя пожежного ствола на охолодження бокових поверхонь штабеля.

На третьому етапі розглянемо ефективність використання води для охолодження бокових поверхонь штабелів. У процесі охолодження вода, яка спрямована зі ствола на бокові поверхні штабеля, частково входить в середину штабеля, частково відскакує від поверхні, а залишок стікає по боковій поверхні штабеля і охолоджує її. Ставимо задачу визначити оптимальний кут напрямку подачі струменя води на бокову поверхню штабеля, який би забезпечив найбільше значення коефіцієнта k_e . Для розв'язування цієї задачі виконано комплекс експериментальних досліджень з використанням штабелів круглого лісоматеріалу та пиломатеріалів. Подачу води на поверхню штабеля виконували за допомогою ручного ствола Б з насадкою 13 мм за напору 0,4 МПа з відстані $l_c = 5$ м. Для збирання води, яка стікала з бокової поверхні штабеля і охолоджувала її, використовували спеціальну ємність, ширина якої забезпечувала тільки

прийом води з поверхні штабеля, а довжина забезпечувала утримання об'єму води тільки на охолодження поверхні штабеля впродовж часу $\tau = 20$ с до 70 л. Схему проведення експериментальних досліджень зображено на рис. 3.

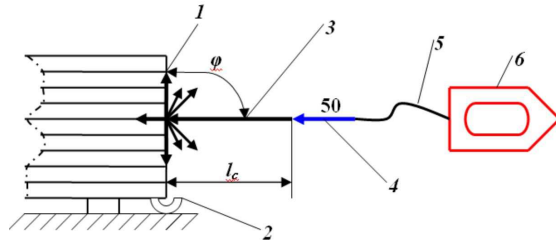


Рис. 3. Схема проведення експериментальних досліджень для визначення коефіцієнта ефективності використання води для охолодження: 1) торець штабеля пиломатеріалів (див. рис. 2, б) (вид збоку); 2) ємність для збирання води; 3) суцільний струмінь води; 4) пожежний ствол; 5) пожежний рукав; 6) пожежна автоцистерна

Виконання експерименту полягає в такому. Струмінь води 3 (рис. 3) від ствола 4 ударяється об вертикальну торцеву поверхню штабеля 1. Вода, яка стікає по поверхні штабеля, розміщується в ємності 2 та частково входить в щілини між лісоматеріалом штабеля, а вся інша розлітається навколо ємності і штабеля. Вода, яка вийшла із пожежного ствола об'ємом V_c ($V_c = 3,7 \cdot \tau$, л), більша за об'єм води, що пішла на охолодження стінки штабеля, тобто її ефективного об'єму V_e , який збирається в ємності 2. Тоді коефіцієнт ефективності використання води для захисту від нагрівання штабелів будемо визначати так:

$$k_e = \frac{V_e}{V_c}. \quad (6)$$

Визначення коефіцієнта ефективності використання води для захисту від нагрівання штабелів будемо виконувати за різних кутів φ подачі струменя на бокову поверхню штабеля, а також з урахуванням штабелів круглого лісоматеріалу та штабелів пиломатеріалів без зазорів між шарами деревини і з зазорами. Крім цього, будемо визначати значення k_e для кожного виду лісоматеріалу як з торцевої сторони штабеля, так і з боку штабеля, на якій лісоматеріал розміщений вздовж осі своєї конструктивної форми.

Досліди проводили за значень кута $\varphi = 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ, 90^\circ$. Кількість повторень кожного дослідження 3 рази. Тривалість подачі суцільного струменя із пожежного ствола на кожному досліді $\tau = 10$ с. Об'єм води із ємності 2 (див. рис. 3) вимірювали за допомогою тарируваних відер. За результатами кожного із трьох експериментів визначали середнє значення, яке використовували для побудови графічних залежностей та їх аналізу.

Результати досліджень для визначення впливу кута φ подачі суцільного струменя на коефіцієнт k_e ефективності використання води для захисту від нагрівання штабелів круглого лісоматеріалу зображено на рис. 4. Результати аналізу отриманих експериментальних досліджень свідчать, що найбільшу ефективність використання води для охолодження бокових поверхонь штабеля кругло-

го лісоматеріалу було досягнуто при за розміщення ствола під кутом $\varphi = 20^\circ$ до бічної поверхні штабеля.

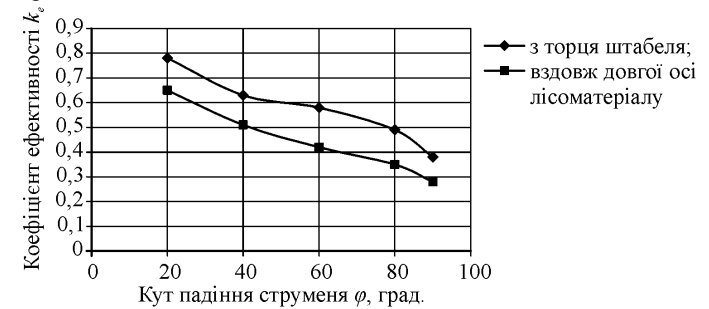


Рис. 4. Вплив кута φ подачі суцільного струменя на коефіцієнт k_e ефективності використання води під час охолодження бокових поверхонь штабеля круглого лісоматеріалу

Більше значення коефіцієнта $k_e = 0,78$ за розміщення ствола під кутом $\varphi = 20^\circ$ отримано під час охолодження торцевої поверхні штабеля і $k_e = 0,65$ – під час охолодження поверхні штабеля вздовж довгої осі лісоматеріалу. Різницю у значеннях коефіцієнтів ефективності використання води можна пояснити тим, що під час охолодження торцевої поверхні штабеля плоскі поверхні зрізу круглого лісоматеріалу утворюють кращі умови для створення водяної смуги. Під час охолодження бічної поверхні штабеля вздовж довгої осі лісоматеріалу його конструктивна особливість сприяє умовам для розливу води в середину штабеля, що зменшує злив води по водяній смугі.

Наступні дослідження проводили на штабелях пиломатеріалів. Результати цих досліджень для визначення впливу кута φ подачі суцільного струменя на коефіцієнт k_e ефективності використання води для захисту від нагрівання штабелів пиломатеріалів, які складені без утворення зазорів між шарами деревини, зображено на рис. 5.

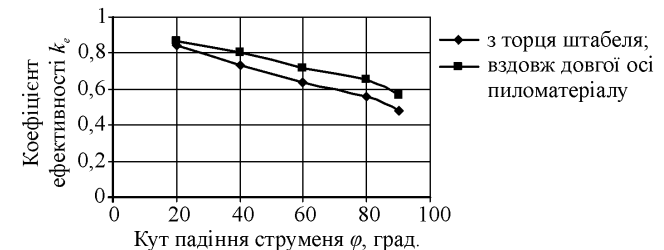


Рис. 5. Вплив кута φ подачі суцільного струменя на коефіцієнт k_e ефективності використання води під час охолодження бокових поверхонь штабеля пиломатеріалів, які складені без утворення зазорів між шарами деревини

Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень показує, що найбільше значення коефіцієнта k_e відповідає куту між струменем води і бічною поверхнею штабеля $\varphi = 20^\circ$. Це можна пояснити тим, що за зменшення кута φ виникають кращі умови для переміщення води по поверхні завдяки ковзан-

ню з одночасним зменшенням її розбризкування. Одночасно значення коефіцієнта k_e є більшим під час охолодження штабеля зі сторони довгої осі пиломатеріалу. Пояснення такого явища полягає в тому, що на торцевій поверхні знаходиться більша кількість щілин для проходження води в середину штабеля (див. рис. 2, б), ніж на стороні штабеля довгої осі пиломатеріалу.

Під час дослідження процесу охолодження штабелів пиломатеріалу, в яких деревина укладена із зазорами між її шарами (див. рис. 2, а), встановлено, що значення коефіцієнта k_e є меншим, порівняно із штабелями, які укладені без зазорів між шарами деревини (рис. 6). Пояснення цього результату полягає в тому, що наявність зазорів дає змогу значній кількості води надходити в середину штабеля.

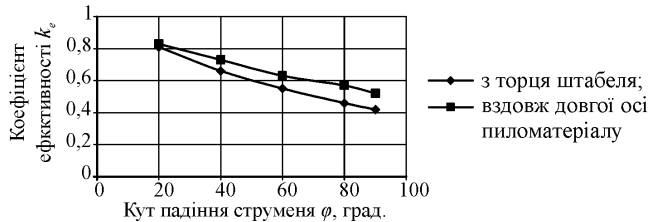


Рис. 6. Вплив кута ϕ подачі суцільного струменя на коефіцієнт k_e ефективності використання води під час охолодження бокових поверхонь штабеля пиломатеріалів, які складені з утворенням зазорів між шарами деревини.

Підсумовуючи отримані результати теоретичних і експериментальних досліджень, можна зробити такі висновки у вигляді рекомендаційного методу охолодження.

Висновки:

1. Для забезпечення якісного охолодження поверхонь штабелів, які розміщені зі сторони фронту пожежі, потрібно виконувати подачу суцільного струменя води під кутом не більше 20° до поверхні штабеля у вигляді коливних маятникових рухів.
2. Охолодження потрібно починати з верхньої частини штабеля і по всій довжині його охолоджувальної сторони, а також враховувати той чинник, що кипіння стікаючої водяної смуги починається на довжині її шляху в межах 0,5...0,8 м.
3. Для кращих умов охолодження потрібно повторно наносити охолоджувальну рідину для захисту поверхні штабеля від загоряння з циклом не більше 5...10 с.

Література

1. Басманов О.С. Теоретичні основи попередження каскадного розповсюдження пожежі в резервуарних парках з нафтопродуктами і підвищення ефективності її ліквідації : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 21.06.02 – "Пожежна безпека" / О.С. Басманов – Харків : Вид-во УЦЗ України, 2006. – 36 с.
2. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Моделирование охлаждения нагревающегося резервуара с нефтепродуктом / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. – Харьков : Вид-во ХНАДУ. – 2005. – Вып. 17. – С. 96-98.
3. Басманов А.Е. Моделирование струйного охлаждения резервуара / А.Е. Басманов // Научный вестник будівництва : зб. наук. праць. – Харків : Вид-во ХДТУБА. – 2006. – Вып. 35. – С. 205-209.

4. Кутателадзе С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / С.С. Кутателадзе, М.А. Стрыкович. – М. : Изд-во "Энергия", 1976. – 296 с.
5. Лабунцов Д.А. Теплообмен при пузырьковом кипении жидкостей / Д.А. Лабунцов // Теплоэнергетика : сб. науч. тр. – 1959. – № 12. – С. 19-26.

Надійшла до редакції 29.08.2016 р.

Коваль А.М. Эффективность использования воды для защиты от нагрева штабелей при пожаре на открытых складах лесоматериалов

Для определения эффективности использования воды для защиты от нагрева штабелей при пожаре на открытых складах лесоматериалов проведены экспериментальные исследования этого процесса. Исследования выполнены при различных углах направления подачи пожарным стволом типа Б сплошной струи к охлаждающей поверхности штабеля. Уяснено, что для обеспечения качественного охлаждения поверхности штабелей, расположенных со стороны фронта пожара, необходимо выполнять подачу сплошной струи воды под углом не более 20° к поверхности штабеля в виде колеблющихся маятниковых движений. Для лучших условий охлаждения необходимо повторно наносить охлаждающую жидкость для защиты поверхности штабеля от возгорания с циклом не более 5... 10 с.

Ключевые слова: пожар, штабель лесоматериалов, экспериментальные исследования, пожарный ствол, сплошной поток воды.

Koval O.M. Water Use Efficiency against Heat Stacks Open Fire on Timber Warehouse

To determine the effectiveness of the use of water for protection from heat stacks in a fire on the open storage timber experimental studies have been carried out in this process. Investigations were carried out at different angles of the direction of feed the fire barrel type B continuous stream to the cooling surface of the stack. The results showed that for quality cooling surfaces piles arranged by the fire front, it is necessary to perform a continuous supply of water jets at an angle of less than 20° to the surface of the stack in the form of oscillating pendulum movements. For the best cooling conditions need to re-apply the cooling liquid for surface protection against fire stack with the cycle of not more than 5... 10 seconds.

Keywords: fire, stack wood, experimental study, fire barrel, a continuous flow of water.

УДК 004.942

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОДИНАМІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗА НАЯВНОСТІ АКУМУЛЮВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

В.С. Кравчишин¹, М.О. Медиковський², Р.В. Мельник³, О.Б. Шуневич⁴

Обґрунтовано ефективність використання керованих акумуляторних батарей у структурі вітрової електричної станції, з метою підвищення ефективності використання виробленої потужності. Встановлено, що застосування керованих акумуляторних батарей у структурі вітрової електричної станції розширює можливості оптимізації режимів енергоспоживання, а також істотно підвищує ефективність вітроенергетичного обладнання. Використання енергоакумулятивного елемента у структурі вітрової електричної станції забезпечує пом'якшення перехідних енергодинамічних процесів у періоди критичних погодних умов (в умовах недостатньої або надлишкової швидкості вітру) та навантажень споживачів.

Ключові слова: вітрова електрична станція, акумуляторна батарея, структура ВЕС.

¹ аспір. В.С. Кравчишин – НУ "Львівська політехніка";
² проф. М.О. Медиковський, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";
³ студ. Р.В. Мельник – НУ "Львівська політехніка";
⁴ підприємець О.Б. Шуневич, канд. техн. наук