

Рис. 9. Граф досяжності станів для підмережі гаражу розробленої моделі

Табл. 1. Вхідні дані для дослідження

	12	17	33	34	35	36	38	39	40	41	42	44	46
S1	1												
S2			1		1	1			1				
S3			1			1		1	1				
S4			1			1			1	1		1	
S5			1				1		1	1		1	
S6			1						1	1	1	1	1
S7	1		1						1	1	1	1	1
S8			2		1	1			2	1	1	1	1
S9			2			1			2	1	1	1	1
S10			2						2	1	1	1	1
S11		1	2						2	1	1	1	1
S12			2	1	1	1			2	1	1	1	1
S13			1		1	1			2	1	1	1	1
S14			1			1			2	1	1	1	1
S15			1						2	1	1	1	1
S16		1	1						2	1	1	1	1
S17			1	1	1	1			2	1	1	1	1
S18					1	1			2		1	1	1
S19					1	1	1		2		1	1	1
S20					1	1			2			1	1
S21						1		1	2			1	1
S22							1	1	2			1	1
S23							1		2	1		2	1
S24							1		2			2	1
S25									2		1	2	2
S26									2			2	2

Висновок. Розроблено схему модель підсистем освітлення та охорони для системного рівня автоматизованого проектування інтелектуальної будівлі, що включає в себе будинок, прибудинкову територію, гараж та кімнату в бу-

динку. Застосування ієрархічних мереж Петрі дає змогу пов'язати всі рівні та підсистеми в одну багаторівневу структуру на основі спільного рівня ієрархії. Наведено результати роботи підсистем охорони та освітлення будівлі, а також граф досяжності для цієї моделі.

Література

- Allen S.M. (2001). Receiving help at home: The interplay of human and technological assistance / S.M. Allen, A. Foster, K. Berg // Journal of Gerontology. – Vol. 56B, (November, 2001), S274-S382, ISSN 1079-5014.
- Clicks & Mortar: The costs and benefits of intelligent buildings, The Hammer Smith Group. – New York 10 c. [Electronic resource]. – Mode of access <http://nairaland.com/1148345/smart-homes-group>
- Kis Y.P. Methods and tools of authentication biometric data in information systems / Y.P. Kis, V.M. Teslyuk // Actual Problems of Economics. – 2012. – № 12(138). – Pp. 174-182.
- Гололобов В.Н. "Умный дом" своими руками / В.Н. Гололобов. – М.: ИТ Пресс, 2007. – 416 с.
- Роберт К. Элсенптер. Умный Дом строим сами : пер. з англ. / Роберт К. Элсенптер, Тоби Дж. Велт. – М.: Изд-во "Кудиц-образ", 2005. – 384 с.
- Kurt Jensen, Lars M. Kristensen Coloured Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. – 384 с.
- Джонс Дж. К. Методы проектирования : пер. с англ. / Дж.К. Джонс. – М.: Изд-во "Мир", 1986. – 326 с.
- Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования : учебник [для студ. ВУЗов]. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.
- Котов В.Е. Сети Петри / В.Е. Котов. – М.: Изд-во "Наука", 1984. – 160 с.
- Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Изд-во "Мир", 1984. – 264 с.
- Teslyuk Vasyi. Schematic Model of Protection and Lighting Subsystems for Analysis of Intellectual House / Vasyi Teslyuk, Cristina Beregovska // Proc. of the XII Intern. Conf. on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM '2013). – Lviv – Polyana, Ukraine, 2013. – Pp. 436-437.

Теслюк В.М., Береговская Х.В., Береговский В.В. Модель работы подсистем освещения и охраны интеллектуального дома

Разработана модель работы подсистем освещения и охраны интеллектуального здания на основании иерархических сетей Петри и приведены результаты исследования этой модели. Она позволит повысить эффективность автоматизированного проектирования интеллектуальных зданий.

Ключевые слова: модель, подсистема освещения, подсистема охраны, иерархические сети Петри.

Teslyuk V.M., Beregovska C.V., Beregovskiy V.V. Protection and lighting subsystems model for intellectual building work analysis

Protection and lighting subsystems model for intellectual building work analysis on the basis of hierarchical Petri nets is developed and the research results of this model are presented. It enables to enhance the efficiency of automated intellectual buildings design.

Keywords: model, lighting subsystem, security subsystem, hierarchical Petri nets.

УДК 614.843(075.32) Ст. помічник нач. зміни оперативно-координаційного центру О.М. Коваль, канд. техн. наук – Головне управління державної служби України з надзвичайних ситуацій у Львівській області

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ ТА ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖИ НА ВІДКРИТИХ СКЛАДАХ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

Розглянуто процес розвитку та поширення пожежі на відкритих складах пиломатеріалів деревообробних підприємств. Встановлено з використанням математичних моделей процес розповсюдження пожежі на штабелях та її перехід на сусідні штабелі де-

ривини за рахунок теплового випромінювання і розкидання конвективною колонкою головешок, що горять, з урахуванням швидкості вітру. На підставі результатів аналізу розповсюдження пожежі можна розробити систему заходів до зменшення ризику виникнення пожежі, а у випадку її виникнення – до зменшення площі її розповсюдження, що є дуже важливим для зменшення збитків від пожежі.

Ключові слова: пожежа, склад пиломатеріалів, штабель, процес поширення пожежі, конвективна колонка, теплове випромінювання.

Постановка проблеми. Найбільш небезпечними пожежами є пожежі на відкритих складах пиломатеріалів. Такі пожежі в більшості випадків мають вигляд масової пожежі. За даними роботи [1], для таких пожеж характерне розкидання іскор і головешок, що горять, в радіусі до 300 м, а за штормової швидкості вітру – в радіусі більш 1000 м. Вивчення пожеж на відкритих складах пиломатеріалів, наприклад у Росії, було розпочато в 50-60-ті роки минулого століття на результатах експериментальних досліджень з використанням натурних об'єктів. Було встановлено, що швидкість розповсюдження полум'я на складах пиломатеріалів в десятки разів більша від швидкості розповсюдження полум'я на складах круглого лісу [2]. Результати, які були отримані на підставі експериментальних досліджень, дали змогу отримати деякі кількісні оцінки за фізичними чинниками горіння штабелів, але по суті отримані результати є не відтворюваними. Тому процес горіння на відкритих складах пиломатеріалів почали розглядати на моделях. Але використання існуючих математичних моделей для розгляду розвитку та поширення пожежі на відкритих складах пиломатеріалів не дає змогу забезпечити всіх можливих пожежних ситуацій. Виходячи з цього, ставиться проблема розроблення удосконаленої математичної моделі розвитку та поширення пожежі на відкритих складах пиломатеріалів, а вирішення цієї проблеми є важливою і актуальною задачею сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одну з перших робіт стосовно розвитку та поширення пожеж на відкритих складах пиломатеріалів була оприлюднено на 10-му Симпозіумі з процесів горіння на пожежах у 1965 р. у м. Піттсбург (США) за результатами досліджень [3]. Механізм поширення пожежі був представлений у вигляді розповсюдження іскор і головешок, що горять, які розлітаються під дією конвективної колонки, що утворюється над осередком пожежі. Цей механізм поширення пожежі на відкритих складах розвинуто в кандидатській дисертації М.С. Артем'єва, яку було захищено у 1981 р. у Москві (ВІПТШ).

Заслужують уваги результати роботи П.П. Девлишева [4], в якій автор розглядав процеси горіння штабелів на моделях. Було встановлено вплив геометричних розмірів штабелів і окремих елементів пиломатеріалів, густини розподілу в певному об'ємі пожежного навантаження на фізичні чинники горіння. Результати роботи не дали змогу отримати критеріальних рівнянь, але було встановлено закономірності горіння штабелів.

За результатами роботи [4] отримано емпіричні залежності для визначення швидкості розповсюдження фронту пожежі по штабелям на складах пиломатеріалів [5]. Але ці залежності неможливо використовувати для розрахунку швидкості розповсюдження фронту пожежі по території складу пиломатеріалів, тому що вони не враховують протипожежних розривів між штабелями.

На сучасному етапі найбільш використовують математичні моделі процесу розповсюдження пожежі по території складу пиломатеріалів з використанням теплового випромінювання, яке нагріває поверхню деревини сусіднього штабеля від факелу полум'я штабеля, що горить. Крім цього, враховують перекидання вітром іскор і головешок, що горять, на деревину сусіднього штабеля, які також сприяють поширенню пожежі [6]. Як показали результати експериментальних досліджень, у процесі моделювання необхідно обов'язково враховувати вплив вітру на положення факела в просторі, тобто на його кут нахилу відносно вертикальної осі.

Аналіз основних робіт щодо сучасного стану в галузі математичного моделювання процесу поширення пожежі по території відкритого складу лісоматеріалів показує, що на сьогодні відсутні удосконалені методики для визначення швидкості її поширення. Тому поставлено мету, досягнення якої до деякої міри дасть змогу ліквідувати ці недоліки для того, щоб на підставі отриманих даних розробити додаткові заходи протипожежної безпеки на цих складах.

Мета роботи. Удосконалити на підставі математичного моделювання методику розвитку та поширення пожежі на відкритих складах пиломатеріалів.

Постановка задачі та її розв'язання. За основу для постановки задачі приймемо рекомендації [7], згідно з якими площа групи штабелів пиломатеріалів відкритого зберігання повинна бути не більше 1200 м². Групи штабелів необхідно відокремлювати між собою поздовжніми та поперечними розривами. Ширина поздовжніх розривів $b_{нов}$ повинна бути не менше 1,5 h (де h – висота штабеля), а поперечних – не менше $b_{non} = h$. За поздовжніми розривами передбачають тверде покриття шириною не менше 3 м для проїзду пожежних машин. Відстань від штабелів пиломатеріалів до середини вказаних доріг необхідно приймати з урахуванням розсипання штабелів при пожежі, але не менше 8 м. Весь склад поділяють на квартали із загальною площею не більше 4,5 га, а шириною не більше 100 м. Протипожежні розриви між кварталами b_k можна визначити за залежністю (найменше значення розриву $b_k = 40$ м при h до 7 м)

$$b_k = 22,638 \exp[0,0806h], \text{ м.} \quad (1)$$

На підставі рекомендацій [7] розглянемо план розташування штабелів одного кварталу складу пиломатеріалів (рис. 1). Основні параметри одного кварталу складу: штабелі розміром $b \times l \times h = 6 \times 6 \times 5$ м; ширина поздовжніх розривів між штабелями $b_{нов} = 16$ м; ширина поперечних розривів між штабелями $b_{non} = 5$ м; загальна кількість поздовжніх рядів кварталу 5 сумарною шириною 94 м; загальна кількість поперечних рядів 18 сумарною довжиною 193 м; загальна площа кварталу $18142 \text{ м}^2 \approx 1,8$ га; протипожежні розриви між кварталами за висоти штабелів 5 м дорівнюють 40 м.

Процес розвитку та поширення пожежі на відкритих складах пиломатеріалів проходить за декілька етапів: *перший* етап – виникнення та поширення пожежі штабелем пиломатеріалів; *другий* етап – у процесі вигорання деревини штабеля утворюється конвективна колонка, яка підносить догори іскири та головешки, що горять, які за наявності вітру переносяться на сусідні штабелі пиломатеріалів; *третій* етап – теплове випромінювання від факелу полум'я, розміри якого приймаються як поверхня однієї з бічних граней штабеля зі збільшенням

її висоти на висоту факела полум'я. За критерій займання полум'ям приймаємо температуру спалаху деревини за її певної вологості. Крім цього, необхідно врахувати кут нахилу факела (конвективної колонки) над поверхнею штабеля, який впливає на величину теплового випромінювання на сусідній штабель.

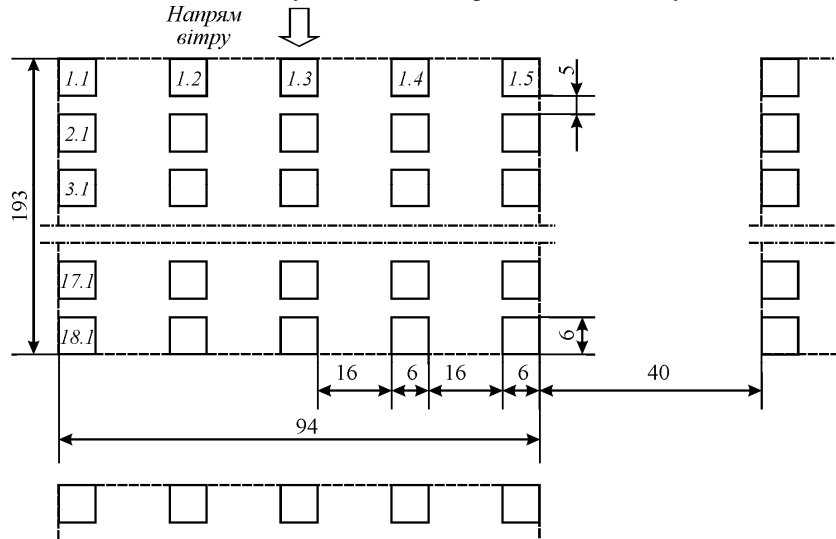


Рис. 1. План відкритого складу пиломатеріалів з розташуванням штабелів одного кварталу

Розглянемо наведені етапи розвитку та поширення пожежі на відкритих складах пиломатеріалів.

Перший етап. Для розгляду першого етапу розвитку та поширення пожежі скористаємося даними роботи [1]. На цьому етапі визначимо швидкість розповсюдження фронту полум'я V_{II} штабелем

$$V_{II} = \frac{7,5\psi_n}{K_p \omega (Kh)^{0,33} (KL_\phi)^{0,2}} \left[1 + \frac{0,016V_e K_p \omega (Kh)^{0,33} (KL_\phi)^{0,2}}{7,5\psi_n} \right], \text{ м/с}, \quad (2)$$

де: ψ_n – питома швидкість вигорання, $\text{кг/м}^2\text{с}$; K_p – густина укладки пиломатеріалів;

$$K_p = \frac{V_\phi}{V_{II}}; \quad (3)$$

де: V_ϕ – об'єм деревини в штабелі, м^3 ; V_{II} – об'єм штабеля пиломатеріалів ($b \times l \times h$), м^3 ; ω – вологість деревини, %; K – величина поверхні деревини в одиниці об'єму штабеля, м^2 ;

$$K = (1\text{м}^2)2zK_p, \text{ м}^2; \quad (4)$$

де: z – кількість рядів пиломатеріалу на висоті 1 м; h – висота штабеля, м; V_e – швидкість вітру, м/с; L_ϕ – довжина фронту полум'я, м.

Після визначення V_{II} визначаємо час τ_{II} , за який верхня площина штабеля буде охоплена полум'ям

$$\tau_{II} = \frac{l}{V_{II}}, \text{ с}. \quad (5)$$

Другий етап. На другому етапі необхідно спочатку визначити температуру T_ϕ факела за залежністю [8]

$$T_\phi = \frac{Q_{\min} \psi_n \tau_{II} K_{II}}{c_p G}, \text{ К} \quad (6)$$

де: Q_{\min} – значення найнижчої робочої теплоти згорання горючого навантаження, кДж/кг ; c_p – питома теплоємність штабеля, для якого розглядається пожежа, $\text{кДж/кг}\cdot\text{К}$; G – пожежне навантаження маси одного шару штабеля на відкриті для полум'я поверхні штабеля, кг/м^2 ; K_{II} – коефіцієнт, який враховує тривалість до повного охоплення горінням всіх поверхонь штабеля, за якої факел полум'я пожежі досягає максимальної температури з урахуванням, що одна бічна сторона вже горить

$$K_{II} = \frac{2(bh + lh) + bl}{bl} - 1.$$

Після цього визначаємо висоту осі конвективної колонки над штабелем за залежністю [1]

$$H = 1,323 \sqrt{x^2 \left(\frac{1,4Q_{\min} \psi_n S_{II}}{tV_e^3} \right)^5}, \text{ м}, \quad (7)$$

де: x – горизонтальна координата осі конвективної колонки, м (максимальне значення для одного штабеля $x = 0,5 l$); Q_{\min} – значення найнижчої робочої теплоти згорання горючого навантаження, кДж/кг ; S_{II} – площа пожежі на поверхні штабеля, м^2 (максимальне значення для одного штабеля $S_{II} = bl$); t – температура повітря, К .

Кут нахилу α_k конвективної колонки відносно вертикальної осі

$$\alpha_k = \arctg(H / x). \quad (8)$$

Визначаємо значення підйомної сили F конвективної колонки. Згідно зі законом Ньютона-Рихмана, кількість тепла, яка віддається одиницею поверхні тіла в одиницю часу, пропорційна різниці температур поверхні тіла, наприклад, T_ϕ і навколишнього середовища t . У цьому випадку густину теплового потоку можна визначити за залежністю

$$q = \alpha(T_\phi - t), \text{ Вт/м}^2, \quad (9)$$

де: α – коефіцієнт тепловіддачі при горінні штабеля від його верхньої площини, $\text{Вт/м}^2\text{К}$ (наприклад під час горіння штабеля пиломатеріалів $\alpha = 5 \text{ Вт/м}^2\text{К}$) [10].

Підйомна сила конвективної колонки буде становити

$$F = \frac{1,02qS_{II}\tau_q}{H}, \text{ Н}, \quad (10)$$

де τ_q – час підйому теплового потоку від верхньої площини штабеля на висоту H , с.

Враховуючи, що маса m однієї голівешки, що горить, помножена на прискорення вільного падіння g , є силою тяжіння голівешки F_g і ця сила значно менша

від підйомної сили конвективної колонки ($F \gg F_g$). У цьому випадку головешка, що горить, підніметься на висоту $h + H$, а потік вітру її віднесе на відстань L

$$L = V_{\phi} \sqrt{\frac{2(h+H)}{g}}, \text{ м.} \quad (11)$$

У випадку, коли $L > b_{\text{non}}$ або b_{nov} головешки, що горять, потрапляють на поверхні сусідніх штабелів, а це призводить до виникнення на них полум'я з імовірністю $P = 0,8 \dots 0,9$ через $10 \dots 15$ хв [1]. Крім цього, головешки та іскри падають на поверхні сусідніх штабелів, деревина яких вже попередньо отримала теплове випромінювання від факелу полум'я, а це скорочує час її займання.

Третій етап. Розглянемо можливість поширення пожежі по штабелі від теплового випромінювання факела полум'я одного штабеля. Для цього на першому етапі визначимо густину потоку q_p результуючого випромінювання [10] від штабеля, який горить

$$q_p = \frac{\sigma(T_{\phi}^4 - T_d^4)}{\frac{1}{A_{\phi}} + \frac{1}{A_d} - 1 + \frac{3\alpha x}{4}}, \text{ Вт/м}^2, \quad (12)$$

де: $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2\text{К}^4)$ – стала Стефана – Больцмана; T_d – температура займання деревини, К (згідно з даними [12], температура займання деревини сосни вологістю 8-9 % дорівнює 528 К, ялини – 487 К, дуба – 511 К); $A_{\phi} = 0,9$ – ступінь чорноти факела полум'я [1]; $A_d = 0,6$ – ступінь чорноти деревини штабеля [1]; $\bar{\alpha}$ – осереднений за спектром коефіцієнт поглинання середовища (за даними роботи [11] $\bar{\alpha} = 0,45/l_c$, де l_c – найбільша товщина шару середовища між сусідніми штабелями, м); x – дійсна відстань між штабелями, м.

На другому етапі визначаємо тепловий потік випромінювання від бокової поверхні штабеля, яку залежно від пожежної ситуації, можна розглядати вздовж поперечних або повздовжніх розривів. При цьому за площину випромінювання приймаємо бокову поверхню штабеля і площину, яка утворюється висотою конвективної колонки і довжиною бокової сторони штабеля. У цьому випадку площу поверхні, яка випромінює тепловий потік, можна визначити так:

- для поперечних розривів $S_{\phi, \text{non}} = b(h+H), \text{ м}^2, \quad (13)$

- для повздовжніх розривів $S_{\phi, \text{nov}} = l(h+H), \text{ м}^2, \quad (14)$

де $S_{\phi, \text{non}}, S_{\phi, \text{nov}}$ – площі випромінювання теплового потоку відповідно у поперечних і повздовжніх розривах між штабелями. Для спрощення позначень надалі площі випромінювання теплового потоку будемо позначати S_{ϕ} .

Визначаємо тепловий потік випромінювання

$$Q = q_p S_{\phi}, \text{ Вт.} \quad (15)$$

На третьому етапі визначаємо значення температури на боковій поверхні сусіднього штабеля, який знаходиться поряд зі штабелем, що горить. Для цього скористуємося рекомендаціями [13], згідно з якими

$$Q = \alpha_{\text{ш}} S_{\text{ш}} (T_{\text{ш}} - T_0), \text{ кВт,} \quad (16)$$

де: $\alpha_{\text{ш}}$ – коефіцієнт тепловіддачі для бічної площини штабеля, кВт/(м²К); $S_{\text{ш}}$ – площа бокової площини штабеля у поперечних або повздовжніх розривах між штабелями, м²; $T_{\text{ш}}$ – температура на боковій площині штабеля, К; T_0 – початкова температура на боковій площині штабеля, К.

Усереднене значення коефіцієнта тепловіддачі [13]

$$\alpha_{\text{ш}} = 0,0159 \left(\frac{blh\gamma_d K_{\rho}}{S_{\phi}} \right)^{0,222}, \text{ кВт/(м}^2\text{К)}, \quad (17)$$

де γ_d – густина деревини штабеля, кг/м³.

Тоді за залежністю (16) можна визначити $T_{\text{ш}}$

$$T_{\text{ш}} = \frac{Q}{\alpha_{\text{ш}} S_{\text{ш}}} + T_0, \text{ К.} \quad (18)$$

Після визначення $T_{\text{ш}}$, його значення порівнюють з температурою займання деревини T_d . У випадку коли $T_{\text{ш}} \geq T_d$ сусіднього штабеля, то пожежа переходить на цей штабель. На підставі отриманих математичних моделей розглянемо приклад поширення пожежі на відкритому складі пиломатеріалів.

Приклад. Визначити час і площу поширення пожежі на складі пиломатеріалів (рис. 1). У штабелях зберігаються бруски сосни густиною $\gamma_d = 540 \text{ кг/м}^3$, вологістю 8-9 % з температурою займання $T_d = 528 \text{ К}$. Кількість брусків на 1 м висоти штабеля $z = 10$ з густиною укладки пиломатеріалів $K_{\rho} = 0,6$. Основні параметри одного кварталу складу: штабелі розміром $b \times l \times h = 6 \times 6 \times 5 \text{ м}$; ширина повздовжніх розривів між штабелями $b_{\text{nov}} = 16 \text{ м}$; ширина поперечних розривів між штабелями $b_{\text{non}} = 5 \text{ м}$; загальна кількість повздовжніх рядів кварталу 5 сумарною шириною 94 м; загальна кількість поперечних рядів 18 сумарною довжиною 193 м; загальна площа кварталу $18142 \text{ м}^2 \approx 1,8 \text{ га}$; протипожежні розриви між кварталами за висоти штабелів 5 м дорівнюють 40 м. Пожежа виникла в першому поперечному ряді кварталу на штабелі № 1.3. Швидкість вітру $V_{\phi} = 4 \text{ м/с}$, температура навколишнього середовища $t = 293 \text{ К}$, а поверхонь штабеля $T_0 = 300 \text{ К}$. Час доїзду пожежно-рятувального підрозділу до місця виникнення пожежі та оперативного розгортання 20 хв. За даними роботи [1, 9, 13]: $Q_{\text{min}} = 13800 \text{ кДж/кг}$; $\psi_n = 0,0145 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$; $c_p = 1,7 \text{ кДж/кгК}$; $A_{\phi} = 0,9$; $A_d = 0,6$. Довжина фронту полум'я на штабелі $L_{\phi} = 6 \text{ м}$.

Розв'язок.

1. Визначаємо величину площі поверхні деревини в одиниці об'єму штабеля за залежністю (4)

$$K = (L_{\phi}^2) 2z K_{\rho} = (6^2) 2 \cdot 10 \cdot 0,6 = 12 \text{ м}^2.$$

2. Визначаємо швидкість поширення пожежі вздовж штабеля пиломатеріалів за вітром

$$V_{\text{ш}} = \frac{7,5 \cdot 0,0145}{0,6 \cdot 9(12 \cdot 5)^{0,33}(12 \cdot 6)^{0,2}} \left[1 + \frac{0,016 \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 9(12 \cdot 5)^{0,33}(12 \cdot 6)^{0,2}}{7,5 \cdot 0,0145} \right] = 0,06 \text{ м/с.}$$

3. Визначаємо час $\tau_{\text{ш}}$, за який весь штабель буде охоплено полум'ям

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{l}{V_{\text{ш}}} = \frac{6}{0,06} = 100 \text{ с.}$$

4. Визначасмо температуру T_{ϕ} факела за залежністю (6).

Пожежне навантаження маси одного шару штабеля на його верхню площину з урахуванням загальної кількості шарів $z_{ш}$ штабеля $z_{ш} = zh$

$$G = \frac{h\gamma_{\phi}K_{\rho}}{z_{ш}} = \frac{5 \cdot 540 \cdot 0,6}{50} = 32,4 \text{ кг} / \text{м}^2;$$

$$K_{ш} = \frac{2(bh + lh) + bl}{bl} - 1 = \frac{2(6 \cdot 5 + 6 \cdot 5) + 6 \cdot 6}{6 \cdot 6} - 1 = 3,3;$$

$$T_{\phi} = \frac{Q_{\min} \nu_n \tau_{ш} K_{ш}}{c_p G} = \frac{13800 \cdot 0,0145 \cdot 100 \cdot 3,3}{1,7 \cdot 32,4} = 1198 \text{ К}.$$

5. Визначасмо висоту осі конвективної колонки над штабелем за залежністю (7) при $x = 3 \text{ м}$ і $S_{II} = bl = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2$

$$H = 1,323 \sqrt{x^2 \left(\frac{1,4 Q_{\min} \nu_n S_{II}}{tV_e^3} \right)^5} = 1,323 \sqrt{3^2 \left(\frac{1,4 \cdot 13800 \cdot 0,0145 \cdot 36}{293 \cdot 4^3} \right)^5} = 0,98 \text{ м}.$$

6. Кут нахилу α_k конвективної колонки відносно вертикальної осі

$$\alpha_k = \arctg(0,98 / 3) = 72^{\circ}.$$

7. Визначасмо густину теплового потоку від конвективної колонки

$$q = 5(1198 - 293) = 4525 \text{ Вт/м}^2$$

8. Підйомна сила конвективної колонки

$$F = \frac{1,02 \cdot 4525 \cdot 36 \cdot 1}{0,98} = 169549 \text{ Н}.$$

Маса однієї головешки, що горить в середньому дорівнює 30 г (0,03 кг). У цьому випадку сила тяжіння буде $F_2 = 0,03 \cdot 9,81 = 0,294 \text{ Н}$, тобто головешки будуть підніматися над конвективною колонкою.

9. Визначасмо відстань на яку потік вітру віднесе головешку, що горить

$$L = 4 \sqrt{\frac{2(5 + 0,98)}{9,81}} = 4,42 \text{ м}.$$

Враховуючи, що $L < b_{non}$, пожежа головешками, які горять, може передаватися на сусідній штабель пиломатеріалів тільки за рахунок їх підскакування при ударі в момент падіння на дорогу поперечного розриву. В цьому випадку пожежа головешками, які горять, може передатися на сусідній штабель пиломатеріалів у випадку, коли швидкість вітру буде в межах 5...6 м/с.

10. Визначасмо густину потоку $q_{p,нов}$ результуючого випромінювання вздовж повздовжнього ряду до сусіднього штабеля, який знаходиться на відстані $x = 5 \text{ м}$, за залежністю (12)

$$q_{p,нов} = \frac{5,7 \cdot 10^{-8}(1198^4 - 528^4)}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,6} - 1 + \frac{3 \cdot 0,45}{4} \cdot 5} = 60000 \text{ Вт/м}^2.$$

За аналогією для повздовжнього ряду визначасмо густину потоку $q_{p,non}$ вздовж поперечного ряду до сусіднього штабеля, який знаходиться на відстані $x = 16 \text{ м} - q_{p,non} = 53392 \text{ Вт/м}^2$.

11. Враховуючи, що в нашому прикладі $b = l$ для всіх штабелів, то площа поверхні, яка випромінює тепловий потік на поперечні і повздовжні ряди сусідніх штабелів, може визначатися так:

$$S_{\phi} = 6(5 + 0,98) = 35,88 \text{ м}^2.$$

12. Визначасмо тепловий потік випромінювання вздовж повздовжніх і поперечних рядів штабелів:

$$Q_{нов} = 10^{-3} q_{p,нов} S_{\phi} = 10^{-3} \cdot 60000 \cdot 35,88 = 2152,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{non} = 10^{-3} q_{p,non} S_{\phi} = 10^{-3} \cdot 53392 \cdot 35,88 = 1915,7 \text{ кВт}.$$

13. Визначасмо усереднене значення коефіцієнта тепловіддачі за залежністю (17)

$$\alpha_{ш} = 0,0159 \left(\frac{6 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 540 \cdot 0,6}{35,88} \right)^{0,222} = 0,082 \text{ кВт/(м}^2\text{К)}.$$

14. Визначасмо температуру на бокових поверхнях сусідніх штабелів вздовж повздовжніх $T_{ш,нов}$ і поперечних $T_{ш,non}$ рядів:

$$T_{ш,нов} = \frac{2152,8}{0,082 \cdot 30} + 300 = 1175 \text{ К};$$

$$T_{ш,non} = \frac{1915,7}{0,082 \cdot 30} + 300 = 1078 \text{ К}.$$

15. Визначасмо час поширення пожежі на сусідні штабелі від штабеля № 1.3 в першому поперечному ряді, на якому виникла пожежа. Час охоплення полум'ям штабеля № 1.3 становить 100 с або 1,67 хв. Після цього часу теплове випромінювання діє на штабелі № 1.2 і № 1.4 першого ряду та на штабель № 2.3 другого ряду. Температура, яка діє на бокові поверхні штабелів № 1.2 і № 1.4 першого ряду, дорівнює $T_{ш,non} = 1078 \text{ К}$, а на штабель № 2.3 другого ряду – $T_{ш,нов} = 1175 \text{ К}$, що значно перевищує температуру займання деревини штабеля, яка дорівнює $T_{\phi} = 528 \text{ К}$. Але займання сусідніх штабелів буде проходити з деякою затримкою. Згідно з даними роботи [11], час затримки спалаху враховують коефіцієнтом $k = 0,4 \dots 0,6$. У нашому прикладі при $k = 0,4$ час займання τ_3 сусідніх штабелів після охоплення полум'ям штабеля № 3 буде через час, який дорівнює

$$\tau_3 = \frac{\tau_{ш}}{k} - \tau_{ш} = \frac{1,67}{0,4} - 1,67 = 2,5 \text{ хв}.$$

На підставі цих даних можна стверджувати, що від початку пожежі за час $\tau_{II} = \tau_{ш} + \tau_3 = 1,67 + 2,5 = 4,17 \text{ хв}$ площа пожежі на складі пиломатеріалів буде $S_{II} = 36 \text{ м}^2$, а через час $2\tau_{II} = 8,34 \text{ хв} - S_{II2} = 144 \text{ м}^2$ (горять штабелі № 1.2, 1.3, 1.4 першого ряду і № 2.3 другого ряду). Відповідно час $3\tau_{II} = 12,51 \text{ хв} - S_{II3} = 288 \text{ м}^2$ (горять всі п'ять штабелів першого ряду і штабелі №2.2, 2.3, 2.4 другого ряду). Протягом часу $4\tau_{II} = 16,68 \text{ хв} - S_{II4} = 468 \text{ м}^2$ (горять всі п'ять штабелів першого і другого рядів і штабелі №3.2, 3.3, 3.4 третього ряду) і т. д. На рис. 2 зображено за умов прикладу, який розглядається, вплив часу вільного горіння на площу пожежі.

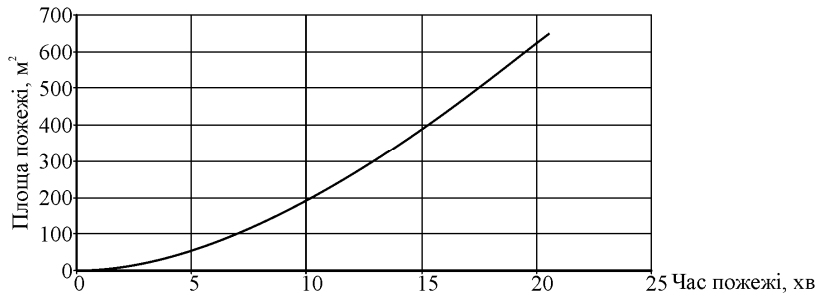


Рис. 2. Залежність площі пожежі на складі пиломатеріалів від часу її вільного горіння за швидкості вітру $V_{\text{в}} = 4 \text{ м/с}$

На підставі отриманих результатів можна визначити для наведеного прикладу швидкість поширення фронту пожежі. Для цього скористаємося залежністю для прямокутної форми пожежі

$$S_{\text{П}} = b_{\text{кв}} V_{\text{ф}} \tau_{\text{П}}, \text{ м}^2$$

де $b_{\text{кв}} = 94 \text{ м}$ – ширина кварталу.

Тоді швидкість фронту пожежі при $V_{\text{в}} = 4 \text{ м/с}$ буде

$$V_{\text{ф}} = \frac{S_{\text{П}}}{b_{\text{кв}} \tau_{\text{П}}} = \frac{648}{94 \cdot 20,58} = 0,335 \text{ м/хв.}$$

16. За час від виникнення пожежі до часу доїзду пожежно-рятувального підрозділу до місця виникнення пожежі та виконання оперативного розгортання і початку ліквідації пожежі (згідно з умовами цей час дорівнює 20 хв) на складі пиломатеріалів буде знищено пожежею 18 штабелів пиломатеріалів, або 1944 м^3 деревини.

Висновки:

1. Розроблено математичну модель розвитку та поширення пожежі на відкритих складах пиломатеріалів, яка дає змогу визначити всі необхідні чинники розвитку та поширення пожежі, що можуть сприяти розробленню оперативних планів ліквідації пожеж на цих об'єктах.
2. Найбільше впливає на швидкість поширення фронту пожежі теплове випромінювання від штабеля, який горить, до сусідніх штабелів пиломатеріалів. Крім цього, ця швидкість підсилюється швидкістю вітру. Наприклад, за швидкості вітру більше 5 м/с швидкість поширення фронту пожежі може збільшитися майже в два рази за рахунок розкидування на сусідні штабелі головешок, що горять.
3. На швидкість поширення фронту пожежі на складі пиломатеріалів також впливає місце виникнення пожежі на відповідному кварталі. Наприклад, якщо пожежа виникне в центрі кварталу, то в цьому випадку ми отримаємо кругову форму пожежі, що приведе до збільшення швидкості поширення фронту пожежі.

Література

1. Копылов Н.П. Моделирование пожаров на складах лесоматериалов / Н.П. Копылов // Моделирование пожаров и взрывов. – М. : Изд. дом "Пожнаука", 2000. – С. 189-197.

2. Курбатский О.М. Тушение пожаров на складах лесопиломатериалов / О.М. Курбатский, И.И. Петров // Успехи пожарной науки и техники : сб. науч. тр. – М. : Стройиздат, 1967. – С. 60-66.
 3. Tarifa C.S. On the flight path and the lifetime of burning patches of wood / C.S. Tarifa, P.P. Notario, F.G. // 10-th Symposium (int.) on Combustion. – Pittsburgh, 1965. – Pp. 1021-1037.
 4. Девлишев П.П. Исследование кинетики пожара на моделях / П.П. Девлишев // Пожарная наука и техника : сб. науч. тр. – М. : Изд-во ВНИИПО, 1977. – С. 178-208.
 5. Иванов И.А. Определение скорости распространения пламени по штабелям лесобирж / И.А. Иванов // Пожарная профилактика : информ. сб. – М. : Стройиздат. – 1977. – Вып. 11. – С. 84-92.
 6. Копылов Н.П. О влиянии ветра на величину тепловых потоков от пламени открытого пожара / Н.П. Копылов, Г.М. Гроздов // Пожарная профилактика : сб. науч. тр. – М. : Изд-во ВНИИПО, 1980. – Вып. 16. – С. 68-73.
 7. СНиП 21-03-2003. Склады лесных материалов. Противопожарные нормы РФ. – М. : Изд-во "Пожарный Центр", 2003. – 18 с.
 8. Гуліда Е.М. Метод статистичного моделювання пожежі в приміщенні / Е.М. Гуліда, О.В. Меньшикова // Проблеми пожарной безопасности. – Харьков : Изд-во НУГЗУ. – 2010. – Вып. 28. – С. 65-73.
 9. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожарозврьвобезопасности / С.В. Пузач. – М. : Изд-во Академии ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
 10. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М. : Изд-во "Энергия", 1975. – 488 с.
 11. Гуліда Е.М. Математична модель розповсюдження лісової пожежі за рахунок теплового випромінювання / Е.М. Гуліда, О.О. Карабин, О.О. Смотри // Науковий вісник УкрНДІПБ : зб. наук. праць. – 2006. – № 1 (13). – С. 24-30.
 12. Цапка Ю.В. Визначення ефективності вогнезахисту целюлозовмісних матеріалів / Ю.В. Цапка // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во ЛПБ, 2005. – № 7. – С. 132-134.
 13. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю.А. Кошмаров. – М. : Изд-во Академии ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

Коваль А.М. Моделирование развития и распространения пожара на открытых складах пиломатериалов

Рассмотрен процесс развития и распространения пожара на открытых складах пиломатериалов деревообрабатывающих предприятий. Установлен, с использованием математических моделей, процесс распространения пожара на штабелях и ее переход на соседние штабеля древесины за счет теплового излучения и разбрасывания конвективной колонкой головешек, которые горят, с учетом скорости ветра. На основании результатов анализа распространения пожара становится возможным разработать систему мероприятий с целью уменьшения риска возникновения пожара, а в случае ее возникновения – к уменьшению площади ее распространения, что очень важно для уменьшения убытков от пожара.

Ключевые слова: пожар, состав пиломатериалов, штабель, процесс распространения пожара, конвективная колонка, тепловое излучение.

Koval O.M. Modeling and distribution of fire on the open storage lumber

The process of development and distribution of fire is considered on the open storage of lumber wood processing enterprises. The process of spread of fire on stacks and its passing is set with the use of mathematical models to the nearby stacks of wood due to thermal radiation and convection column spreading embers that burn with the wind speed. Based on the analysis of the spread of fire is possible to develop guidelines for forecasting activities to reduce the risk of fire, and in the case of its occurrence – to reduce the area of its distribution, which is important to reduce losses from fire.

Keywords: fire, the composition of lumber, pile, the spread of fire, convective column, thermal radiation.