

де: С, О, CO₂, СО – відповідний вміст вуглецю, кисню та названих газів, %; Q₄ – витрати теплоти від механічної неповноти згорання палива (від провалів та винесення попелу), тобто

$$Q_4 = 32,7A \left(\alpha_A' \frac{Q_A'}{100 - Q_A'} + \alpha_A'' \frac{Q_A''}{100 - Q_A''} \right), \text{ кДж/кг}, \quad (13)$$

де: A – кількість золи після згорання палива; α_A' , α_A'' – відповідно коефіцієнт теплообміну попелу, що потрапив через колосники та винесеного з димом; Q_A' , Q_A'' – кількість горючих речовин, що потрапили через колосники та винесених із димом. Питомі витрати теплоти

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_\Sigma} \cdot 100\%,$$

де Q₅ – витрата тепла через огородження, кДж/кг. Втрати (Q₅) визначаються експериментальним шляхом або приймають за нормативними даними.

Коефіцієнт корисної дії теплогенератора визначають за формулою

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_\Sigma} \cdot 100\%. \quad (14)$$

Висновки. Теорія горіння палива відтворена в теплотехнічній моделі (формули 6, 7) процесу горіння дрібнодисперсного палива з деревини в теплогенераторі. Складено методику розрахунку теплового балансу на прикладі водогрійного котла, визначено коефіцієнт корисної дії теплогенератора.

Література

1. Андрийчук І.В. Ефективність використання енергії деревної біомаси на деревообробних та лісозаготівельних підприємствах (на прикладі Івано-Франківської області) / І.В. Андрийчук // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету. – Сер.: Економіка: проблеми теорії та практики. – Дніпропетровськ. – 2004. – Вип. 194, т. II. – С. 602-608.
2. Гнатишин Я.М. Теплотехніка : навч. посібн. / Я.М. Гнатишин, В.І. Криштапович. – К.: Вид-во "Знання", 2008. – 364 с.
3. Семенишин І.В. Энерготехнологія хіміко-технологічних процесів : навч. посібн. / І.В. Семенишин, М.С. Мальований. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2005. – 420 с.

Билей П.В., Приставский Б.И. Теплотехническая модель теплогенератора для сжигания древесного сырья

Древесное сырье является наиболее эффективным обновительным источником энергии, а запасы древесного сырья, как топлива, формируются из лесосечных отходов, отходов лесопильных, мебельных и деревообрабатывающих производств, а также из употребляемой древесины. Рассмотрены процессы горения, описаны теплотехнические характеристики древесного топлива, продуктов сгорания и методика составления теплового баланса.

Ключевые слова: древесина, топливо, теплота сгорания, теплоёмкость, теплопроводность, влажность, топочные газы, теплогенератор.

Bilej P.V., Pristavskyy B.I. Heating engineering model warm generator for incineration of arboreal raw material

It is shown that arboreal raw material is the most effective renovation energy source, and the supplies of arboreal raw material, as fuels, are formed from lapwoods, wastes of sawing, furniture and woodworking productions, and also from the used wood. The proces-

ses of burning are considered, it is described heating engineering descriptions of fuelwood of foods of combustion and methodology of stowage of thermal balance.

Keywords: wood, fuel, warmth of combustion, heat capacity, heat-conducting, humidity, fire-box gases, warmly generator.

УДК 674.053:621.935 Доц. Л.Ф. Дзюба¹, канд. техн. наук; викл. О.І. Хитряк²; доц. І.Т. Ребезнюк³, д-р техн. наук

ПОПЕРЕЧНІ КОЛИВАННЯ ПОЛОТНА СТІЧКОВОЇ ПИЛКИ

Досліджено поперечні коливання полотна стрічкової пилки. Нелінійне диференціальне рівняння поперечних коливань розв'язано методом Бубнова-Гальоркіна, використавши основні ідеї методів збурень. Отримано амплітудно-частотні характеристики ділянок полотна стрічкової пилки.

Ключові слова: стрічкова пилка, сила натягу, швидкість, амплітудно-частотна характеристика.

Актуальність і огляд основних результатів. Якість розпилювання деревини на горизонтальних стрічкопилкових верстатах із вузькими пилками визначають за хвилястістю пропилу. За [1] ця хвилястість утворюється внаслідок поперечних згинальних коливань полотна стрічкової пилки. Якщо натягнута вузька стрічкова пилка, що рухається з достатньо великою швидкістю різання (30-50 м/с), входить, коливаючись у площині найменшої жорсткості (у поперечному напрямку), у деревину, то, як наслідок, утворюється хвилястий пропил. Тому явище поперечних коливань полотна вузької стрічкової пилки, що виникає внаслідок: дії несталого обертового моменту від електродвигуна на тяговому пилковому шківі; дисбалансу пилкових шківів; зазорів чи перекосів в опорах валів чи осей механізму різання; незначного ексцентриситету напрямних роликів, – потрібно враховувати як під час проектування стрічкопилкових верстатів, так і під час їхнього експлуатування. На сьогодні відомо невелику кількість робіт, автори яких досліджували коливні процеси в стрічкових пилках. У роботі [2], на підставі розв'язку диференціальних рівнянь згинальних та крутильних коливань полотна стрічкової пилки з урахуванням змінної сили натягу полотна, визначають власні частоти згинальних та крутильних коливань стрічкової пилки та прогнозують її динамічну стійкість. У [3] теоретично досліджено власні коливання розтягнутого полотна стрічкової пилки, коли його моделюють балкою на двох шарнірних опорах, не враховуючи швидкості її поздовжнього руху. Розвиток упорядкованого останнього десятиліття динаміки поздовжньо-рухомих гнучких пружних елементів [4-6] дає змогу дослідити змушені поперечні коливання полотна вузької стрічкової пилки з урахуванням швидкості її поздовжнього руху, тобто швидкості різання.

Постановка задачі та методика її розв'язування. Змушені поперечні коливання полотна стрічкової пилки, що рухається у поздовжньому напрям-

¹ Львівський ДУ безпеки життєдіяльності;

² Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного;

³ НЛТУ України, м. Львів

ку зі швидкістю v , у змінних Ейлера описують диференціальним рівнянням із частинними похідними [4-6]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2v \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial t} - (\alpha^2 - v^2) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \beta^2 \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} = \varepsilon f(x, t), \quad (1)$$

де: $u(x, t)$ – поперечне переміщення полотна стрічкової пилки з координатою x у довільний момент часу t ; ε – малий параметр, який у правій частині рівняння означає малу величину збурювальної сили $f(x, t)$, порівняно з відновлювальною силою; α , β – сталі, що залежать від силових, геометричних та фізико-механічних параметрів полотна стрічкової пилки. Залежності для визначення цих сталей такі:

$$\alpha^2 = \frac{N}{m}; \quad \beta^2 = \frac{EI}{m},$$

де: N , m – статична сила натягу та маса одиниці довжини полотна пилки; E – модуль пружності матеріалу (сталь); $I = \frac{B_1 \cdot s^3}{12}$ – момент інерції прямокутного поперечного перерізу полотна пилки завширшки B_1 та завтовшки s відносно недеформованої осі.

Поперечні згинальні коливання полотна стрічкової пилки виникатимуть передусім на тих його ділянках, де сила натягу полотна під час передавання тягового зусилля зменшуватиметься. Відповідно до [7-8], це ділянка між тяговим шківом та ближчим до нього напрямним роликком і ділянка між напрямними роликками. Зважаючи на умову безвідривного контактування полотна стрічкової пилки з пилковими шківом та напрямними роликками, для розв'язування диференціального рівняння (1) долучимо крайові умови:

$$u|_{x=0} = u|_{x=l} = 0; \quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}|_{x=0} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}|_{x=l} = 0, \quad (2)$$

де l – довжина ділянки полотна стрічкової пилки між тяговим шківом та ближчим до нього напрямним роликком чи ділянки між напрямними роликками. У разі ексцентриситету пилкових шківів чи напрямних роликків дію збурювальної сили задамо у вигляді:

$$f(x, t) = H \sin(\Omega t), \quad (3)$$

де: H , Ω – амплітуда та частота зовнішнього збурення.

Найнебезпечнішим під час коливання є випадок резонансу, коли стрімко збільшується амплітуда поперечних змусених коливань полотна стрічкової пилки. Розглянемо найважливіший випадок головного резонансу, який виникає на першій формі коливань. Вважаємо, що частота зовнішнього збурення Ω збігається з власною частотою полотна ω . До того ж вважатимемо, що збурення, які виникають у точках контакту полотна стрічкової пилки з пилковими шківом чи напрямними роликками, є малі, що обґрунтовує введення малого параметра ε у рівняння (1). Це дає змогу, розв'язуючи диференціальне рівняння (1) за крайових умов (2), використати загальні ідеї методів збурень [9, 10] у поєднанні з методом Бубнова-Гальоркіна [11, 12].

Застосувати основну ідею методів збурень безпосередньо для розв'язування нелінійної крайової задачі (1), (2) не вдається, оскільки навіть під час розв'язування її лінійних аналогів ($\varepsilon = 0$) виникають значні труднощі. Вони полягають у неможливості застосувати відомі методи інтегрування рівнянь із частинними похідними. Тому пропонуємо спосіб розв'язування, що базується на побудові асимптотичного розв'язку, використовуючи метод Бубнова-Гальоркіна. Відповідно до нього, функцію $u(x, t)$ шукатимемо у вигляді

$$u(x, t) = \sum_{k=1}^n X_k(x) T_k(t),$$

де $X_k(x)$ – функції, що задовольняють крайові умови (2): $X_k(0) = X_k'(0) = X_k(l) = X_k'(l)$. Ці функції утворюють повну ортонормовану систему:

$$\{X_k(x)\} = \left\{ \sin\left(\frac{k\pi}{l} x\right) \right\}_{k=1, 2, \dots}$$

Щоб отримати одночастотний розв'язок диференціального рівняння (1), формально підставимо в нього:

$$u(x, t) = T(t) \sin\left(\frac{k\pi}{l} x\right), \quad k = 1, 2, \dots \quad (3)$$

Ураховуючи повноту й ортонормованість системи функцій $\{X_k(x)\}$, з (1) та (3) після нескладних перетворень отримуємо звичайне нелінійне диференціальне рівняння для визначення невідомих функцій $T(t)$:

$$\ddot{T} + \omega^2 T = \varepsilon \bar{f}(\Omega t), \quad (4)$$

$$\text{де} \quad \omega^2 = \left(\frac{k\pi}{l}\right)^2 \left[\left(\frac{k\pi}{l}\right)^2 \beta^2 + (\alpha^2 - v^2) \right], \quad \bar{f}(\Omega t) = \frac{2H}{l} \int_0^l \sin(\Omega t) \sin\left(\frac{k\pi}{l} x\right) dx. \quad (5)$$

Використовуючи загальну ідею методу Крилова-Боголюбова-Митропольського [11, 12], одночастотний розв'язок рівняння (4) у першому наближенні запишемо у вигляді

$$T(t) = a \cos(\vartheta + \Omega t) + \varepsilon T_1(a, \vartheta, \Omega t), \quad (6)$$

де амплітуда a та різниця фаз між власними коливаннями й зовнішнім збуренням ϑ є змінними в часі величинами. Ці величини відповідно до методу Крилова-Боголюбова-Митропольського визначають із системи диференціальних рівнянь:

$$\frac{da}{dt} = - \frac{\varepsilon 2H(1 - \cos k\pi)}{k\pi \left(k\pi l^{-1} \sqrt{[k^2 \pi^2 l^{-2} \beta^2 + (\alpha^2 - v^2)]} + \Omega \right)} \cos \vartheta, \quad (7)$$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = k\pi l^{-1} \sqrt{[k^2 \pi^2 l^{-2} \beta^2 + (\alpha^2 - v^2)]} - \Omega + \frac{\varepsilon 2H(1 - \cos k\pi)}{ak\pi \left(k\pi l^{-1} \sqrt{[k^2 \pi^2 l^{-2} \beta^2 + (\alpha^2 - v^2)]} + \Omega \right)} \sin \vartheta. \quad (8)$$

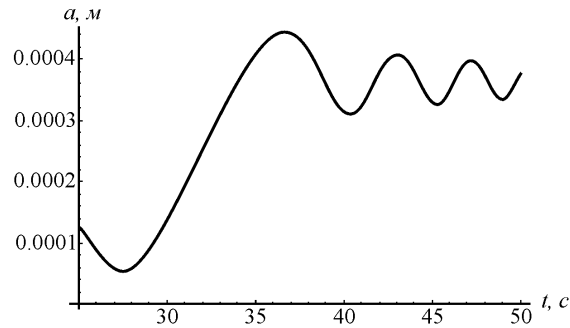


Рис. 1. Амплітуда резонансних коливань полотна стрічкової пилки

Побудовану за (7) залежність амплітуди від часу для полотна стрічкової пилки зображено на рис. 1. Параметри полотна пилки: $B=26$ мм, $s=1$ мм, $l=0,5$ м. Швидкість різання $v=30$ м/с. Матеріал стрічкової пилки – сталь, фізико-механічні характеристики якої: модуль пружності $E=2,1 \cdot 10^6$ МПа, густина $\rho=7850$ кг/м³. Величина сили натягу дорівнює $N=4090$ Н, що відповідає напруженню попереднього натягу $\sigma_0=160$ МПа в разі тягового зусилля $F_t=459$ Н [8].

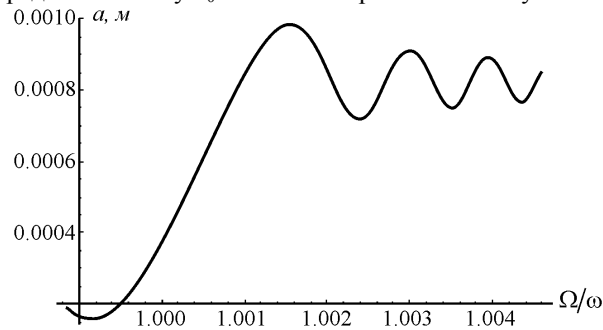


Рис. 2. Амплітудно-частотна характеристика полотна стрічкової пилки

На рис. 2 зображено амплітудно-частотну характеристику полотна цієї ж стрічкової пилки завдовжки $l=0,5$ м. Амплітудне значення збурювальної сили дорівнює 0, 2 Н. Як видно з рис. 1 та рис. 2, збільшення довжини полотна пилки в два рази зумовлює зростання амплітуди резонансних коливань у 2,5 рази. Значення амплітуд резонансних коливань для ділянок полотен стрічкових пилкоз для різних напружень попереднього натягу в разі передавання однакового тягового зусилля $F_t=459$ Н наведено в таблиці.

Як видно з таблиці, зі збільшенням довжини ділянки полотна пилки між тяговим шківом та ближчим до нього напрямним роликком чи ділянки між напрямними роликками в 2 рази амплітуда резонансних коливань зростає в 2,17-2,23 рази за незмінного напруження попереднього натягу полотна. Зі збільшенням напруження попереднього натягу полотна пилки від 120 до 200 МПа амплітуда резонансних коливань спадає на 26-30 %. Збільшення ширини полотна стрічкової пилки від 26 до 44 мм істотно не позначається на амплітуді коливань. Збільшення швидкості різання від 30 до 50 м/с призводить до зростання амплітуди резонансних коливань на 6-7 %.

Табл. Значення резонансних амплітуд коливань ділянок полотна стрічкової пилки

Ширина полотна B_1 , мм	Швидкість різання v , м/с	Напруження попереднього натягу σ_0 , МПа	Сила натягу N , Н	Амплітуда резонансних коливань a , м	
				довжина ділянки полотна l , м	$0,5$
26	30	120	2890	0,00055	0,00120
		160	3930	0,00045	0,00100
		200	4970	0,00039	0,00088
44	30	120	5050	0,00054	0,00118
		160	6810	0,00045	0,00099
		200	8570	0,00039	0,00087
26	50	120	2890	0,00059	0,00128
		160	3930	0,00048	0,00106
		200	4970	0,00041	0,00091
44	50	120	5050	0,00058	0,00126
		160	6810	0,00047	0,00104
		200	8570	0,00040	0,00090

Висновки. На підставі отриманих співвідношень для амплітудно-частотної характеристики під час поперечних коливань полотна стрічкової пилки проведено дослідження його резонансних коливань на першій формі. За результатами теоретичного дослідження встановлено:

1. Полотно стрічкової пилки під час руху коливається резонансно в поперечному напрямку в площині найменшої жорсткості тоді, коли частота власних коливань полотна збігається з частотою невеликої збурювальної сили, що виникає через наявність навіть незначного ексцентриситету шківів чи напрямних роликків. Наслідком цього може бути хвилястий пропил.
2. Коли збільшувати довжину ділянки полотна пилки між тяговим шківом та ближчим до нього напрямним роликком чи ділянки між напрямними роликками в 2 рази, тоді амплітуда резонансних коливань зростає в 2,17-2,23 рази.
3. Збільшення ширини полотна пилки за умови зберігання напруження попереднього натягу істотно не позначається на величині амплітуди резонансних коливань.
4. Якщо збільшувати напруження попереднього натягу в 1,7 рази, то амплітуда резонансних коливань спадає на 26-30 %.
5. Змінення швидкості різання істотно не впливає на амплітуду резонансних коливань полотна стрічкової пилки.

Література

1. Феоктистов А.Е. Ленточнопильные станки : монография / А.Е. Феоктистов. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1976. – 152 с.
2. Иеупова Т.С. Прогнозирование работоспособности ленточных пил / Т.С. Иеупова // Лесной журнал : Известия ВУЗов России. – 1981. – № 5. – С. 75-78.
3. Малышев Ю.В. Теоретическое определение собственных частот полотна ленточной пилы в станке / Ю.В. Малышев // Лесной журнал : Известия ВУЗов России. – 1977. – № 2. – С. 92-96.
4. Chen L.Q. Dynamic stability of an axially moving viscoelastic beam / L.Q. Chen, X.D. Yang, C.J. Cheng // European journal of mechanics a solids. – 2004. – Vol. 23. – P. 659-666.

5. Sze K.Y. The incremental harmonic balance method for nonlinear vibration of axially moving beams / K.Y. Sze, S.H. Chen, J.L. Huang // Journal of Sound and Vibration. – 2005. – Vol. 281. – P. 611-626.

6. Сокіл М.Б. Згинні коливання гнучких елементів систем приводів і структура розв'язку їх математичних моделей / М.Б. Сокіл // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.1. – С. 141-147.

7. Дешевой М.А. Механическая технология дерева. – Ч. 2. Орудия и инструменты для обработки дерева / М.А. Дешевой. – Л.-М. : Изд-во ОНТИ, 1936. – 429 с.

8. Дзюба Л.Ф. Сила натягу у вітках стрічкової пилки під час розпилування деревини / Л.Ф. Дзюба, І.Т. Ребезнюк, О.В. Меньшикова // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.7. – С. 89-94.

9. Боголюбов Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. – М. : Изд-во "Наука", 1974. – 501 с.

10. Найфе А.Х. Методы возмущений / А.Х. Найфе. – М. : Изд-во "Мир", 1976. – 456 с.

11. Бабаков И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков. – М. : Изд-во "Наука", 1965. – 560 с.

12. Василенко Н.В. Теория колебаний / Н.В. Василенко. – К. : Вид-во "Вища шк.", 1992. – 430 с.

Дзюба Л.Ф., Хытряк О.И., Ребезнюк И.Т. Поперечные колебания полотна ленточной пилы

Исследованы поперечные колебания полотна ленточной пилы. Нелинейное дифференциальное уравнение поперечных колебаний решено методом Бубнова-Галёркина с использованием основных идей методов возмущений. Получены амплитудно-частотные характеристики участков полотна ленточной пилы.

Ключевые слова: ленточная пила, сила натяжения, скорость, амплитудно-частотная характеристика.

Dzjuba L.F., Khytriak O.I., Rebeznyuk I.T. The transverse oscillation of blade of band saw

In this article we researched the transverse vibrations of blade of band saw. We solved the Nonlinear differential equation of transverse vibrations by Bubnov-Galerkin method, using the basic idea of perturbation methods. We received the amplitude-frequency plots conditions of blade of band saw.

Keywords: band saw, power tension, speed, amplitude-frequency characteristic.

УДК 574(477)

Доц. В.В. Гомонай, канд. техн. наук; ст. викл.

М.В. Гомонай-Стрижко, канд. екон. наук – НЛТУ України, м. Львів

МОЖЛИВОСТІ БЕЗПЕЧНОЇ ЗАГОТІВЛІ ТА ПЕРЕРОБЛЕННЯ ДЕРЕВИНИ НА ЗАБРУДНЕНІЙ ТЕРИТОРІЇ РАДІОАКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Розглянуто можливості безпечної заготовки та перероблення деревини на забрудненій території радіоактивними елементами із застосуванням сучасних технологій та машин, що можуть виконувати таку роботу.

Ключові слова: забруднена деревина радіоактивними елементами, заготовка і переробка, технології і машини.

У лісових масивах, що зазнали радіаційного впливу внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, нагромадилось більше радіоактивних елементів, ніж на відкритих площах. Під радіоактивне забруднення потрапило близько 3,5 млн га лісів, із яких 157 тис. га виведено з господарського обігу внаслідок високих рівнів радіоактивного забруднення цезієм-137 (понад 15 Кі/Км²). Із

загальної площі забруднених лісів 39 % мають щільність забруднення цезієм-137 понад 1 Кі/Км² [1]. Це, своєю чергою, визначило ліси як "критичну територію" з огляду можливих радіаційних дозових навантажень від перебування у них людини або від використання продукції лісового господарства. Радіоактивні елементи у таких лісах характеризуються значною міграційною здатністю та подальшим їх нагромадженням.

Особливу екологічну небезпеку забруднені ліси становлять в пожежо-небезпечний період. У разі виникнення пожежі можливе повторне перенесення радіонуклідів з димом, газами на населені пункти, що розташовані поза відселеними територіями. Тому у таких лісах необхідно вести належне лісокористування, з проведенням протипожежних рубок і доглядових рубань, безпечних для людини.

Станом на 2008 р., в умовах радіоактивного забруднення господарську діяльність здійснювали 52 лісогосподарських підприємства із загальною чисельністю 26 тис. осіб (третина працюючих у галузі). На додаткові заходи, зумовлені Чорнобильською катастрофою, підприємства забрудненої зони за 2006-2008 рр. витратили 31,6 млн грн, а з державного бюджету за розділом "Ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення" МНС за згаданий період профінансувало лише 1,04 млн грн [2].

Радіоактивне забруднення території лісів призвело до зміни способу життя людей, діяльність яких була безпосередньо пов'язана з лісом. У зв'язку з необхідністю фінансування додаткових робіт, пов'язаних зі забезпеченням радіаційної безпеки працівників і забезпеченням виробництва чистої продукції, фінансові витрати лісогосподарських підприємств щорічно зростають, а самим підприємствам доводиться максимально мобілізувати власні ресурси і спрямовувати їх на вирішення проблем. Прямі збитки, яких зазнали лісогосподарські підприємства внаслідок радіоактивного забруднення, станом на 31.12.1986 р. оцінювались у 65 млн дол. США, а щорічні збитки через скорочення обсягів лісозаготівель та побічного користування лісом становлять 7,15 млн дол. США [2].

В умовах радіоактивного забруднення вагомою перешкодою для ефективного ведення лісового господарства є законодавча неврегульованість низки питань. Зокрема, повна заборона лісогосподарської діяльності у лісах за щільності забруднення ґрунту 137Cs вище 15 Кі/км², яка міститься в Законі "Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи", не дає змоги проводити вкрай необхідні лісогосподарські заходи для підтримання екологічної стабільності лісових екосистем (наприклад рубки догляду в молодняках; санітарні рубки) та господарське облаштування забрудненої території (будівництво доріг і мостів, пожежних водойм, розрубка кварталних просік, вирубка підросту під лініями електропередач тощо).

Отже, особливо актуальним постає питання внесення відповідних змін у згаданий вище Закон та відновлення господарської діяльності на лісових площах, уражених аварійними викидами на ЧАЕС, які у разі потреби давали б змогу диференційовано здійснювати лісогосподарську діяльність за спеці-