

УДК 543.3:620.91(075.8):621.314:630*

Мачуга О.С., к.ф.-м.н., доц.

Національний лісотехнічний університет України, м.Львів, Україна

ІНТЕГРОВАНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ГІДРО- ТА БІОРЕСУРСІВ У ЛІСОЗАГОТІВЛІ

Machuga O.

National Forestry University of Ukraine, Lviv, Ukraine (oleg_mach@ukr.net)

INTEGRATED HYDRAULIC AND BIOLOGICAL RESOURCES ENERGY USAGE IN HARVESTING

Класифіковано технологічні процеси лісозаготівлі, транспортування та первинного перероблення деревини з огляду можливості використання енергії, отриманої із відновних джерел. Оцінено витрати механічної роботи, необхідної для виконання виробничих операцій відповідних технологічних процесів. Сформульовано висновок про достатність розглянутих енергоресурсів не тільки для виконання технологічних операцій, а також і для заготівлі некондиційної деревини для інших енергетичних цілей. Запропоновано принципову схему установки для інтегрованого використання енергії відновних джерел у лісозаготівлі та методику її проектування для конкретних випадків.

Ключові слова: енергія відновних джерел, лісозаготівля, інтегроване використання.

Вступ. Енергозабезпечення технологічних процесів лісозаготівлі та первинного перероблення деревини базується на використанні рідких палив та електроенергії, що відповідним чином впливає на величину теплових викидів у навколишнє середовище. Інтегральне використання енергії відновних джерел уможливить у лісовій галузі часткову або повну відмову від класичних джерел енергії. Для виконання досліджень, пов'язаних із такою проблематикою, необхідне використання досвіду держав Центральної Європи у розробленні схем комплексного використання відновних джерел механічної енергії – мінігідротурбін, сонячних колекторів та теплових машин на біопаливі тощо. Для гірських заліснених районів можливе пряме використання енергії відновних джерел без перетворення її в електроенергію. Широке використання гідроенергії, пов'язане із зведенням гідротехнічних споруд на гірських ріках, призведе до збільшення зарегульованості їх стоку та відповідного зниження негативних наслідків повеней. Використання відходів лісозаготівлі та первинного перероблення деревини у енергетичних цілях вплине на загальне покращення екологічного стану навколишнього середовища, зокрема лісових масивів.

Лісозаготівля, транспортування деревини та її первинне перероблення пов'язане з використанням паливо-мастильних матеріалів та електроенергії у приводах машин і механізмів. Ці енергетичні засоби суттєвим чином формують ціну пиломатеріалів і в певній мірі узалежнюють виробництво від постачання енергоресурсів. У той же час усі операції лісозаготівлі відбуваються у безпосередній близькості до відновних джерел енергії, використання яких суттєвим чином може зменшити вартість заготовлюваної деревини.

Споживання енергії відновних джерел [1, 2] та нетрадиційне перетворення її в механічну роботу може стати важливим фактором екологічної стабілізації та шляхом уникнення природних катастроф, які передбачаються внаслідок глобального потепління [3, 4]. Актуальний еколого - економічний стан народного господарства України потребує всебічного використання енергії відновних джерел для зменшення енергетичної залежності. Впровадження передового досвіду Європейських країн [5, 6] та вітчизняні дослідження [7, 8] повинні у великій мірі сприяти цьому.

Мета роботи - розроблення рекомендацій для технології комплексного використання енергії відновних джерел в інтегрованих системах енергозабезпечення технологічних процесів лісозаготівлі та первинної переробки деревини з урахуванням екологічних вимог

Дослідження. Сформулюємо наступні гіпотези. Енергоресурсів з відновних джерел є достатньо для забезпечення виробничих потреб процесів лісозаготівлі, транспортування та первинного перероблення деревини. Існує можливість переобладнання технічних засобів лісової галузі для використання їх із приводом, що живиться енергією відновних джерел. Ці припущення ґрунтуються на використанні результатів, викладених в [9, 10]. Для їх підтвердження потрібно виконати наступні дослідження:

- типізувати відновні джерела енергії, які доступні для використання у лісозаготівельній галузі з огляду на їх економічну доцільність;

- визначити технологічні процеси лісозаготівлі, первинної переробки та транспортування деревини, у яких можливе використання енергії відновних джерел;
- порівняти доцільність використання різних відновних джерел енергії;
- оцінити величину витрати механічної енергії, яку потрібно витратити для виготовлення одиниці об'єму пиломатеріалів та відповідне питома тепловиділення, яке супроводжує технологічні операції;
- побудувати принципову схему інтегрованого використання енергії різнорідних відновних джерел для потреб лісозаготівлі, транспортування та первинної переробки деревини;

У виробничих цілях використовується механічна енергія приводів технологічного обладнання, ланцюгових пил, транспортних засобів тощо. Використання енергії різнорідних відновних джерел у таких приводах пов'язане з аналізом локалізації та потужності джерел енергії, можливості передачі енергії на відстань із мінімальними втратами, здатність її до акумуляції та до перетворення у інші види енергії, зокрема у механічну енергію. Для лісового комплексу порівняльну класифікацію відновних джерел енергії поряд із традиційними енергоносіями та технологічні процеси лісозаготівлі, транспортування й первинного перероблення деревини з огляду на застосування машин та механізмів, що використовують енергію рідких палив і електроенергію, подано в [11]. Інтегроване використання різнорідних відновних джерел енергії у технологічних процесах можливе шляхом заміни приводів машин та механізмів на приводи, які забезпечуються механічною енергією, отриманою із таких джерел. Типізацію технологічних процесів з альтернативними приводами наведено в таблиці 1. Пропоновані або аналогічні до них машини і механізми слід розробляти та впроваджувати для реалізації можливості широкого використання енергії відновних джерел.

Таблиця 1

Технологічні процеси лісозаготівлі, що базуватимуться на використанні енергії відновних джерел

Лісозаготівля	Транспортування	Перероблення деревини.
Механізми та машини Ланцюгові пили, сучкорізи та інші механізми з гідро- чи пневмоприводом	Підвісні ланцюгові дороги з гідро- чи пневмоприводом	Верстати і лінії від магістрального гідро- чи пневмоприводу з гідропневмоакумулятором, пряма механічна передача

Для забезпечення роботи двигунів внутрішнього згорання та електродвигунів, які використовуються у перерахованих вище виробничих процесах, потрібна певна кількість палива та електроенергії. Теплові втрати складають $Q_1 = E_{ВТР}$, де $E_{ВТР}$ - енергія втрат під час виробництва такої кількості енергоносіїв – електроенергії, рідких палив тощо. Транспортування цих енергоносіїв до споживачів лісової галузі пов'язується із тепловими втратами у лініях електропередач та технологічному транспорті для рідких палив: $Q_2 = E_{ТР}$. Під час роботи приводів машин та устаткування виділяється тепло $Q_3 = E_{ПР}$. Виробничі операції супроводжуються тепловими втратами $Q_4 = E_{ВО}$. Отже для заготівлі, під час транспортування та виготовлення об'єму V м³ пиломатеріалів, в природне середовище виділяється теплота

$$Q = \sum_{i=1}^4 Q_i. \quad (1)$$

Введемо показник питомого тепловиділення на одиницю продукції, який є мірою її теплової неефективності

$$K_Q = Q / V, [\text{ккал} / \text{м}^3]. \quad (2)$$

Зменшення величини K_Q призведе до зменшення теплових втрат і, відповідно, питомої вартості пиломатеріалів та навпаки. Впровадження технологічних процесів, у яких передбачене сумарне використання енергії локальних відновних джерел, спричинить суттєве зменшення величин Q_1, Q_2 у порівнянні із традиційними енергоносіями. Для цього випадку показник питомого тепловиділення:

$$K_Q = \sum_{i=3,4} Q_i / V. \quad (3)$$

Впровадимо показник питомої енергомисткості заготовленої деревини, як суму корисної роботи усіх механічних процесів лісозаготівлі, транспортування та первинної переробки деревини

$$K_E = \sum E_{МЕХ} / V, [\text{ккал} / \text{м}^3]. \quad (4)$$

Зазначимо, що величина K_E не повинна залежати від виду енергозабезпечення механізмів лісозаготівлі, а тільки від ступеню обробки деревини та відстані, на яку цю деревину транспортують.

Співставляючи величини K_Q, K_E з величиною енергопотенціалу лісосіки, який залежить від площі, питомої кількості деревини та тривалості рубання лісу, оцінимо обсяги пиломатеріалів, які можна виробити за використання відновних джерел енергії та величину зменшення тепловиділення в зовнішнє середовище.

За даними Львівського обласного управління лісового та мисливського господарства (ОУЛМГ) проаналізовано обсяги споживання енергоресурсів деякими лісовими господарствами Львівщини. В таблиці 2 наведено дані стосовно величин K_Q , K_E для таких господарств.

Таблиця 2

Показники питомої тепло- та енергомісткості заготовленої деревини

ДП ЛОУЛМГ	Q , 10 ⁶ МДж	Q , 10 ⁹ ккал	K_Q , 10 ³ ккал/м ³ річного обсягу заготівлі	K_E , кВт·год/м ³ річного обсягу заготівлі
Борислав	7,039	1,695	55,56	27,31
Дрогобич	13,992	3,344	70,33	35,71
Сколе	11,700	2,796	45,25	21,77
Славське	17,492	4,181	51,19	25,34
Ст.Самбір	9,686	2,315	56,06	27,90
Турка	6,612	1,580	58,67	28,55
РАЗОМ	66,521	15,899	54,87	27,15

Аналізуючи отримані результати зауважимо, що величини K_Q , K_E для різних господарств відрізняються між собою незначно, за невеликим винятком. Це свідчить про доцільність використання пропонованого підходу для вивчення енергетичної ефективності процесів лісозаготівлі, транспортування та первинного перероблення деревини, а також відповідних теплових викидів й економічної та екологічної ефективності роботи лісозаготівельних підприємств.

Для прикладу співставлено потенційну потужність малих рік басейну р. Опір $N = 80\ 141,19$ кВт [12], потенційний річний гідроресурс яких $E = 24\ 365 \cdot N = 702 \cdot 10^6$ кВт · год з енергетичними потребами деяких господарств. Як виявляється незначної кількості енергії відновних джерел, гідроенергії малих гірських рік, є достатньо для нормального функціонування ДП Сколівського та Славського лісових господарств. Використання прямого відбору енергії та її передачі за допомогою гідро-, пневмо- чи механічного приводу дозволить зменшити викиди теплової енергії в атмосферу у цих господарствах на 6 977 Гкал в рік.

Схема технологічного процесу лісозаготівлі у разі інтегрованого використання енергії відновних джерел у комбінації із гідроприводом наведена в [9]. Зазначимо, що монтаж мінігідротурбін доцільно виконувати в місцях розташування лісосплавних гребель – клявз [13]. Розчистка залишків таких гідроспоруд та спорудження на їх місці нових кам'яних чи дерев'яних гребель з турбінними установками різних типів сприятиме розвитку місцевої малої енергетики, забезпечення берегів рік від розмивання та зменшення негативних наслідків повеней на довкілля.

Енергія різних видів відновних джерел характеризуються певною потужністю та способом локалізації. Для їх інтегрованого використання потрібно перетворювати кожен із видів енергії в один вид енергії, придатний для передачі до об'єктів живлення. Виконання такого перетворення передбачається здійснювати в накопичувальному пристрої (інтеграторі). Подальше живлення енергією технологічного обладнання здійснюється від інтегратора. Зазначимо, що енергія відновних джерел може передаватись на інтегратор різними способами: у вигляді потоку гарячої води утепленими трубопроводами, постійного чи змінного електроструму, механічними передачами (пасовими, лінкованими, карданными тощо), пневмо- та гідролініями у залежності від типу джерела, величини втрат енергії під час передачі, взаємного розташування джерел енергії і її споживачів. Живлення споживачів енергією від інтегратора доцільно здійснювати механічною передачею, або гідро- та пневматичними передачами. Схему процесу запропоновано в [7].

Відходи лісозаготівельних робіт [14] можуть складати до 21% від усієї маси деревини і до 14% запасу лісосічного фонду. Зокрема вихід для відходів крони - хвоя, листя, гілки, тонкомірні верхівки - залежить від породи деревини (таблиця 3). Пні складають 3% від об'єму стовбура, коріння – 18% наземної частини стовбура та крони. У той же час у літературних джерелах відсутня інформація про утилізацію великої кількості деревини, пов'язаної з різноманітними пошкодженнями лісового фонду: вітровальна та перестигла деревина, сухостій, хворі дерева, затоплені стовбури, деревина, пошкоджена лісовими пожежами та інше.

Таблиця 3

Відносна кількість відходів до стовбурів деревини (у відсотках до об'єму стовбурної деревини)

соснові, кедрові і листяних ліси	11-14
ялинові ліси	14-17
березові, осикові та інші м'яколистяні ліси	8-10
дубові ліси	10-20

Джерелом гідроресурсів є гідропотенціал малих річок, для яких верхня межа потужності гідроенергетичного обладнання становить 30 МВт. Згідно міжнародної класифікації за нормативом ООН, до малих гідроелектростанцій (МГЕС) відносять гідроелектростанції потужністю від 1 до 30 МВт, до мініГЕС - від 100 до 1000 кВт, до мікроГЕС - не більше ніж 100 кВт. Відзначимо, що близько 40% гідропотенціалу України міститься у малих ріках Карпатського регіону [15]. Визначення гідропотенціалу окремих територій здійснюється за допомогою методики, викладеної в [16].

Виробничі процеси зрубання стовбурів, очищення їх від гілок та розкрязування стовбурів на сортименти, які виконуються в умовах лісосіки, описано в [17]. Під час зрубання стовбура дерева ручною ланцюговою пилюкою виконуються механічна робота, яка дорівнює добутку потужності знаряддя праці N_1 та часу t_1 спилування одного стовбура: $E_1 = N_1 \cdot t_1$. Очищення стовбура від гілок потребує виконання роботи $E_2 = N_1 \cdot t_2$, де t_2 – час на виконання операції очищення стовбура від гілок. Для розкрязування стовбура на сортименти необхідно виконати механічну роботу $E_3 = N_1 t_3$, де t_3 – час, необхідний для роботи ланцюгової пилюки на таку операцію. Час t_1 для заданої потужності N_1 залежить від діаметра стовбура в площині зрубання D_{3P} , час t_2 – від цього ж діаметра D_{3P} та від густоти крони. Операція розкрязування стовбура на сортименти виконується за необхідності, час t_3 на її виконання є функцією величин D_{3P} , та довжини сортименту L . Тоді механічна робота, що витрачається на зрубання та первинне перероблення стовбура визначається наступними співвідношеннями:

$$\begin{aligned} E_{3P}^1 &= N_1 [t_1(D_{3P}) + t_2(k_{KP}, D_{3P})], \\ E_{3P}^2 &= N_1 [t_1(D_{3P}) + t_2(k_{KP}, D_{3P}) + t_3(D_{3P}, L)], \end{aligned} \quad (5)$$

де E_{3P}^1, E_{3P}^2 – робота що витрачається для зрубання та первинного перероблення стовбура відповідно без розкрязування на сортименти та з розкрязуванням; k_{KP} – коефіцієнт що визначає відношення сумарної площі поперечного перерізу усіх гілок та верхньої частини з діаметром d_B до площі перерізу стовбура з діаметром на зрізі D_{3P} . Завдання полягає у встановленні залежності між E_{3P}^1, E_{3P}^2 та об'ємом зрубаного стовбура V_{CT} . З цією метою використаємо емпіричні залежності об'єму стовбура та висоти дерева від діаметра стовбура $D = d_{1,3}$ на висоті грудей ($h_{1,3} = 1,3$ м) [18,19] та визначимо зв'язок між D_{3P} та V_{CT} .

Час t_1 на зрубання стовбура діаметром на зрізі D_{3P} , площею перерізу S_{3P} визначаємо, виходячи із величини $\Pi = S_{3P}/t$ [см²/с] – продуктивності чистого пиляння. Використаємо приведену до потужності продуктивність пиляння $\Pi_N = 30 - 40$ см²/(с·кВт) у залежності від типу ланцюга [17]: $\Pi_N = \frac{S_{3P}/t}{N}$. Після нескладних перетворень, нехтуючи площами пропилю та недопилю, отримаємо вираз для механічної енергії:

$$E_1 = N_1 \frac{S_{3P}}{\Pi} = \frac{S_{3P}}{\Pi_N} = \frac{\pi D_{3P}^2}{4 \Pi_N} = N_1 \frac{\pi D_{3P}^2}{4 \Pi} \quad (6)$$

Для визначення механічної роботи, необхідної для обрізання гілок крони дерева та його верхньої частини, розглядатимемо їх як окремі стовбури з відповідними кронами. Припустимо що сумарна площа зрізів гілок та верхньої частини $S_{СУМ}$ є пропорційна до площі S_{3P} з коефіцієнтом пропорційності, який рівний відношенню маси крони $m_{кр}$ до маси дерева m_D (для хвойних порід дерев) або відношенню об'єму гілля (дрів) $V_{Г}$ до об'єму стовбура без кори V_{CT}^0 (для твердолистяних порід):

$$S_{СУМ} = \frac{m_{кр}}{m_D} S_{3P}, \quad S_{СУМ} = \frac{V_{Г}}{V_{CT}^0} S_{3P} \quad (7)$$

Величини $m_D, m_{кр}$ визначаються відношенням [18]:

$$m_{кр} = 1000 [k_0 + k_1 (D_{3P}/\theta_{1,3} - 0,16)], \quad m_D = \rho_D V_{cm} + 1000 [k_0 + k_1 (D_{3P}/\theta_{1,3} - 0,16)], \quad (8)$$

де k_0, k_1 – масові коефіцієнти крони (таблиця 1 ст. 19 [18]) залежно від типу дерева; ρ_D – густина деревини. У відношеннях (8) діаметр D_{3P} слід брати у сантиметрах, $\theta_{1,3} = 1,25$. Об'єми гілля та стовбура $V_{Г}, V_{CT}^0$ визначається із [19].

Механічну роботу з очищення стовбура від гілок E_2 визначаємо аналогічно до співвідношення (6):

$$E_2 = \frac{\pi D_{СУМ}^2}{4 \cdot \Pi_N}$$

де $D_{СУМ}$ – умовний сумарний діаметр гілок та верхньої частини, сумарна площа яких $S_{СУМ}$. Після перетворень:

$$E_2 = \frac{\pi D_{3P}^2}{4 \Pi_N} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\rho_D V_{cm}}{1000 [k_0 + k_1 (D_{3P}/\theta_{1,3} - 0,16)]}} \quad (9.1)$$

для хвойних порід дерев, а для твердолистяних -

$$E_2 = \frac{\pi D_{3P}^2}{4\Pi_N} \cdot \frac{V_\Gamma}{V_{CT}^0}. \quad (9.2)$$

Для оцінювання величини E_3 – механічної роботи, необхідної для розкрязування стовбура на сортименти довжиною L , визначимо кількість розпилів:

$$n = \frac{H-h}{L} \quad (10)$$

заокруглюючи n в меншу сторону до цілого значення; тут $h = 2 - 3$ метри – висота вершинної частини дерева. З геометричних міркувань (рис. 1) можемо записати:

$$D_1 = D_{3P} \cdot \frac{H-h-L}{H-h}, \quad D_2 = D_{3P} \cdot \frac{H-h-2L}{H-h}, \quad D_i = D_{3P} \cdot \frac{H-h-i \cdot L}{H-h}, \quad i = 1 \dots n. \quad (11)$$

Вираз механічної роботи E_3 , виходячи із відношення (6) із урахуванням (11) набуде вигляду:

$$E_3 = \sum_{i=1}^n \frac{\pi D_i^2}{4\Pi_N} = \frac{\pi D_{3P}^2}{4\Pi_N} \left(\sum_{i=1}^n \frac{H-h-i \cdot L}{H-h} \right)^2 = \frac{\pi D_{3P}^2}{4\Pi_N} \left[n - \frac{L}{H-h} \sum_{i=1}^n i \right]^2. \quad (12)$$

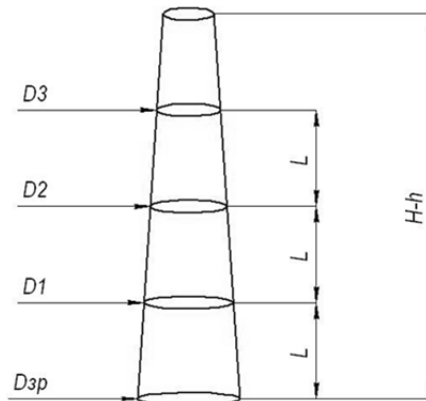


Рис. 1. Схема розкрязування стовбура на сортименти

Таким чином для зрубання дерева з діаметром D_{3P} в площині зрубання та очищення стовбура від гілок необхідно виконати механічну роботу

$$E_{3P}^1 = E_1 + E_2 = \frac{\pi D_{3P}^2}{4\Pi_N} \left[1 + \frac{1}{1 + \frac{\rho_d V_{cm}}{1000 \left[k_0 + k_1 \left(\frac{D_{3P}}{\theta_{1,3}} - 0,16 \right) \right]}} \right], \quad E_{3P}^1 = \frac{D_{3P}^2}{4\Pi_N} \left[1 + \frac{V_\Gamma}{V_{CT}^0} \right] \quad (13)$$

для хвойних та твердолистяних порід відповідно.

Коли ж, крім перерахованих операцій необхідно розкрязувати стовбур на сортименти довжиною L , вираз для механічної роботи набуде вигляду:

$$E_{3P}^2 = E_1 + E_2 + E_3 = \frac{\pi D_{3P}^2}{4\Pi_N} \left[1 + \frac{1}{1 + \frac{\rho_d V_{cm}}{1000 \left[k_0 + k_1 \left(\frac{D_{3P}}{\theta_{1,3}} - 0,16 \right) \right]}} + \left(n - \frac{L}{H-h} \sum_{i=1}^n i \right)^2 \right]$$

$$E_{3P}^2 = \frac{\pi D_{3P}^2}{4\Pi_N} \left[1 + \frac{V_\Gamma}{V_{CT}^0} + \left(n - \frac{L}{H-h} \sum_{i=1}^n i \right)^2 \right]. \quad (14)$$

За допомогою (13), (14) побудовано залежності величин K_E^1 , K_E^2 для різних порід дерев від від'ємів їх стовбурів (рис. 2).

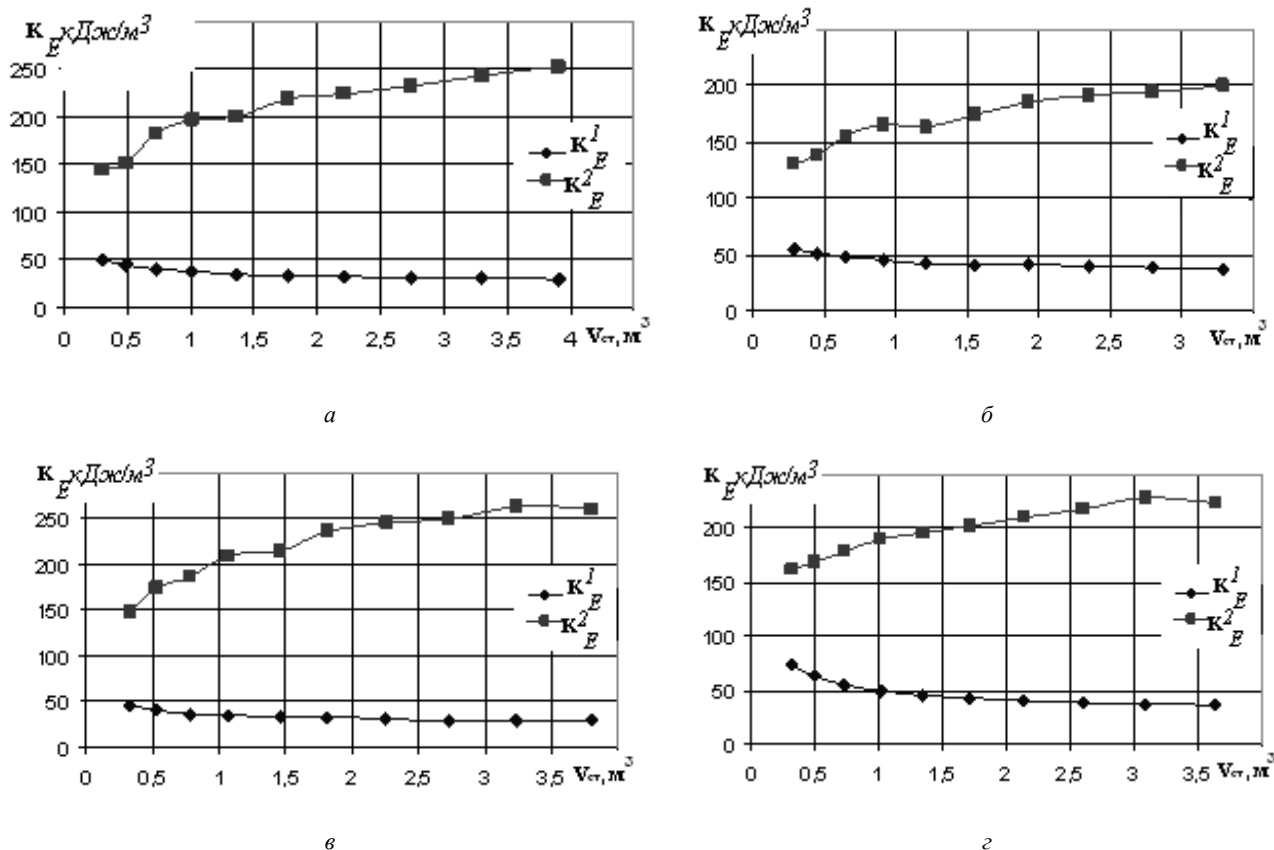


Рис. 2. Графіки залежності питомої енергомосткості K_E^1 - операцій без розкрязування та K_E^2 - із розкрязуванням на сортименти в залежності від породи та об'єму стовбура деревини: а – бук; б – дуб; в – ялина; г – смерека

Із аналізу графіків випливає практично важливий результат. Питома енергомосткість операцій лісозаготівлі ділової деревини без розкрязування на сортименти практично не залежить від об'єму стовбурів заготовленої деревини та може служити характеристикою операцій обробленої деревини, з якої можна отримувати величину енергоресурсів, необхідних для зрубання деревини на лісосіці у відповідності до її лісистості. Крім того за допомогою K_E^1, K_E^2 можна визначати величини теплових викидів у залежності від обсягу лісозаготівлі, виходячи із коефіцієнта корисної дії ланцюгових пилок з приводом від двигунів внутрішнього згорання. Питома енергомосткість K_E^2 із збільшенням об'єму стовбура зростає, оскільки необхідно додатково витратити енергію для розкрязування на сортименти. Якщо ж в умовах лісосіки розкрязування не відбувається, то ця енергія витрачається на лісопереробному підприємстві.

Використання енергії відновних джерел для транспортування деревини можливе лише в приводах мобільних ливових лісотранспортних установок, які є нерухомими під час експлуатації механізму. Усереднені показники мобільних канатних установок наведено в [20]. Введемо в розгляд величину E_4 – механічну роботу, яку виконує привід ливової лісотранспортної установки протягом однієї години: $E_4 = N_{\text{линов}} \cdot 3600 = 180 \div 540 \div 900 \text{МДж}$ у залежності від потужності двигуна приводу. Ця робота витрачається на переміщення певного об'єму деревини на довжину транспортування. Розглядатимемо питому механічну роботу $E_4^0 = \frac{E_4}{V \cdot l}$, де V – об'єм деревини, транспортованої протягом однієї години роботи мобільної ливової лісотранспортної установки, l – відстань, на яку ця деревина транспортується. Використовуючи дані [20] отримано: для канатних установок малої потужності: $E_4^0 = (0,064 \div 0,17) \text{МДж}/\text{м}^3 \cdot \text{м}$, для канатних установок середньої потужності: $E_4^0 = (0,072 \div 0,27) \text{МДж}/\text{м}^3 \cdot \text{м}$, а для канатних установок великої потужності: $E_4^0 = (0,045 \div 0,14) \text{МДж}/\text{м}^3 \cdot \text{м}$. Умовну залежність питомої механічної роботи E_4^0 від потужності двигуна приводу канатної установки показано на рисунку 3. Із рисунка зрозуміло, що установки з приводом середніх величин потужності – 100 – 200 кВт та з показниками питомої механічної роботи E_4^0 , що знаходяться у межах: $E_4^0 = (0,07 \div 0,25) \text{МДж}/\text{м}^3 \cdot \text{м}$, можуть бути найбільш енергозатратними з огляду на питому енергомосткість

транспортованої деревини. Тому під час застосування мобільних ливових лісотранспортних установок необхідно докладно обґрунтувати їх вибір шляхом мінімізації величини E_4^0 .

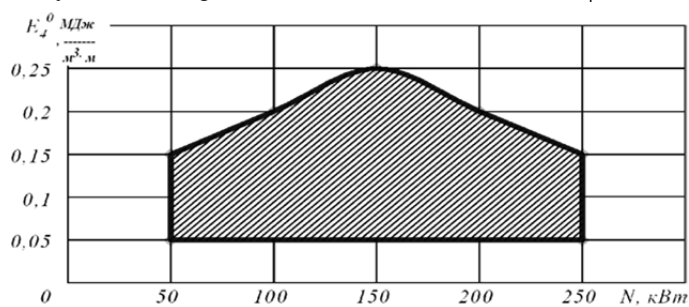


Рис. 3. Залежність питомої механічної роботи E_4^0 на транспортування 1 м^3 деревини на довжину метрів у залежності від потужності приводу канатної установки. Штрихована зона – зона допустимих значень механічної роботи

Сумарна питома енергомідкість K_E^{3T} на одиницю об'єму заготовленої та транспортованої на відстань l мобільними лісотранспортними установками та переробленої деревини визначається співвідношенням

$$K_E^{3T} = K_E^2 + E_4^0 \cdot l. \quad (15)$$

У (15) закладено енергомідкість розкрязування на сортименти, оскільки перед розпилюванням стовбура на дошки, він повинен бути розкрязованим – в умовах лісосіки чи підприємства, яке здійснює первинне перероблення деревини. Сумарна питома енергомідкість K_E^{3T} лінійно залежить від довжини транспортування. У випадку, коли така довжина перевищує довжину тягової линви установки, можливо використання двох або більше установок з місцями перевантаження деревини.

Транспортування деревини не призводить до утворення відходів, тому забезпечення відповідною потужністю приводу мобільної канатної установки передбачається за інтегрованого використання енергії відходів заготівлі деревини, а також енергії річкових потоків, які знаходяться в безпосередній близькості.

Первинне перероблення деревини відбувається в умовах лісопереробних підприємств та цехів дисковими та стрічковими пилами із електроприводом. Для оцінювання величини енергії, що витрачається на оброблення деревини на таких підприємствах, введемо величину $K_E^3 = \frac{E_3}{V_{ст}}$ – питому енергомідкість на одиницю об'єму

переробленої деревини, де E_3 – електроенергія, використана лісозаготівельним підприємством на виробничі потреби за певний проміжок часу; $V_{ст}$ – об'єм деревини (стовбурів чи сортиментів), яку переробляє підприємство, за цей час. За даними Львівського ОУЛМГ для окремих господарств розраховано величини K_E^3 , в припущенні що на виробничі потреби використовується 90% усієї спожитої електричної енергії (таблиця 4).

Таблиця 4

Значення питомої енергії яка витрачається на перероблення одиниці об'єму деревини

Назва господарства	E_3 , МДж	$V_{ст}$, м^3	K_E^3 , МДж/ м^3
Бродівський лісгосп	28929600	34505	838,4
Буський лісгосп	691200	5369	128,74
Жовківський лісгосп	460800	1374	335,4
Золочівський лісгосп	749520	5241	143
Рава-Руський лісгосп	623520	8569	72,76
Радехівський лісгосп	2106000	13332	158
Сколівський лісгосп	1864800	14844	125,63
Славський лісгосп	1148400	15299	75,1

Загальна величина питомої енергії що, витрачається на одиницю об'єму заготовленої і транспортованої на відстань l та переробленої деревини:

$$K_E = K_E^2 + K_E^3 + E_4^0 \cdot l. \quad (16)$$

Значимо, що величина K_E обчислена за співвідношенням (16) є питомою енергією на одиницю об'єму заготовленої деревини. Якщо ж перераховувати цю величину на одиницю об'єму отриманих пиломатеріалів чи готової продукції, її слід помножити на відповідний коефіцієнт для врахування відходів деревини під час її перероблення.

Енергозабезпечення процесів лісозаготівлі, транспортування та первинного перероблення деревини з використанням відновних джерел енергії пропонується здійснювати шляхом експлуатації установки для відбору, перетворення, акумулювання та передавання механічної енергії до споживачів - приводів відповідних

знарядь. Особливістю установки є можливість сумування енергій різнорідних відновних джерел, зокрема – енергії річкових потоків та енергії, акумульованої у відходах лісозаготівлі і первинного перероблення деревини. Інтегрування та акумулювання енергії пропонується шляхом подачі стисненого повітря у накопичувач - ресивер відповідними компресорними установками. Принципова схема енергетичної установки подана на рисунку 4.

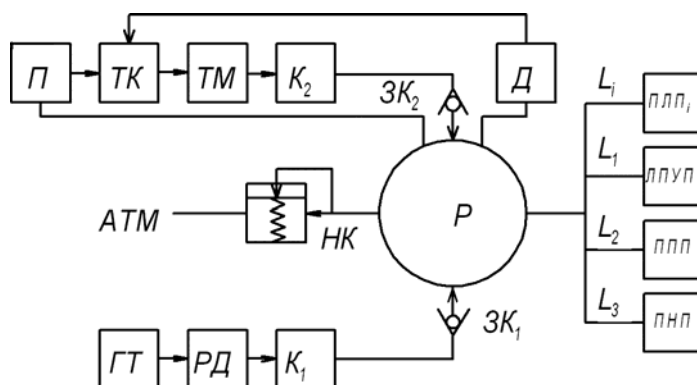


Рис. 4. Принципова схема енергетичної установки

Гідротурбіна ГТ обертається потоком річкової води з постійним напором, який задається висотою відповідної гідроспороди; витрата води може коливатися у залежності від пори року, кількості опадів. Обертний механічний рух гідротурбіни передається на редуктор РД, який узгоджує кутову швидкість обертання гідротурбіни та кутову швидкість вала компресора К₁, що подає стиснене повітря у ресивер Р через зворотній клапан ЗК₁. У випадку, коли потужності гідротурбіни недостатньо для забезпечення повноцінної роботи компресора К₁ (мала витрата води у потоці), зворотній клапан ЗК₁ запобігає втраті стисненого повітря через компресор К₁.

Подрібнювач П, який приводиться до руху пневмодвигуном, що живиться від ресивера Р, подрібнює гілки та інші відходи лісозаготівлі й дозовано подає їх у твердопаливний котел ТК відповідної потужності з електронним регулюванням тяги - давачем тиску Д. Збільшення тиску у ресивері понад допустиме значення, призводить до зменшення тяги в котлі, що зумовлює припинення горіння подрібнених дров та зменшення виробництва тепла.

Передбачається зблокування топки котла з нагрівальним елементом теплової машини, зокрема двигуна Стірлінга, яке перетворює теплову енергію в обертний рух відповідної потужності. Теплова машина приводить в рух компресор К₂, який поповнює запас стисненого повітря в ресивері Р. Зворотній клапан ЗК₂ призначений для запобігання втрат стисненого повітря під час зупинки теплової машини, програмованого давачем Д. Регулювання тиску у ресивері Р відбувається також за посередництвом напірного клапану НК, який стравлює надлишковий тиск з ресивера у атмосферу АТМ. Такий стан може виникнути під час зупинки теплової машини ТМ, за випадку продовження роботи компресора К₁, коли його потужність більша за сумарну потужність відповідного пневмоінструменту та пневмоприводів.

Ресивер одночасно служить одночасно акумулятором та інтегратором енергії, яка витрачається на приведення до руху пневмодвигунів ланцюгових пил - ПЛП, кількість яких визначається планом лісозаготівлі. Крім цього енергія стисненого повітря може приводити до руху привідні вали ливових підвісних установок з пневмодвигунами - ЛПУП, механізмів первинного перероблення деревини з пневмоприводами ППП лісопилних рам та іншого обладнання, а також пристроїв та обладнання для навантажувально - розвантажувальних робіт з пневмоприводом ПНП.

Пропонована установка може проектуватись із врахуванням отриманих в роботі результатів та рекомендацій, легко компонується із стандартних малогабаритних механізмів. Унаслідок невеликої ваги, установка може розміщуватись на лісовозній техніці або спеціально обладнаних міні - тракторах типу «Прикарпатець» для доставки її на лісосіку. В умовах лісопереробних підприємств установка може бути стаціонарною.

Висновки. В роботі отримано наступні важливі результати. Вказано види відновних джерел енергії, які доступні для використання у лісозаготівлі з огляду на економічну доцільність. Визначено технологічні процеси, у яких можливе використання енергії, отриманої із відновних джерел. Проаналізовано обсяги та енергоефективність відходів лісозаготівлі й первинного перероблення деревини, а також гідропотенціал малих річок. Виконано порівняльний аналіз витрат механічної енергії для забезпечення виробничих операцій енергетичними ресурсами з базових відновних джерел за використання механічного, гідро- або пневмоприводу. Запропоновано принципову схему установки для інтегрованого використання енергії відновних джерел у лісозаготівлі. Результати роботи можуть бути використані для розроблення методики інтегрованого використання енергії відновних джерел у системах енергозабезпечення технологічних процесів лісозаготівлі, транспортування та первинного перероблення деревини з урахуванням екологічних вимог.

Аннотация. Классифицированы технологические процессы лесозаготовки, транспортировки и первичной переработки древесины с позиции возможности использования энергии, полученной из возобновляемых источников. Определен расход механической работы, необходимой для выполнения производственных операций соответствующих технологических процессов. Сформулирован вывод о достаточности рассматриваемых энергоресурсов не только для выполнения технологических операций, а также и для заготовки некондиционной древесины для других энергетических целей. Предложена принципиальная схема установки для интегрированного использования энергии возобновляемых источников в лесозаготовке и методика ее проектирования для конкретных случаев.

Ключевые слова: энергия возобновляемых источников, лесозаготовка, интегральное использование.

Abstract. Purpose. The developing of the recommendations for the renewable energy sources integrated usage technology in logging processes, timber transporting and primary wood processing, with the environmental requirements account.

Methodology of this work was the logging processes system's energetic analyzing, looking to the field of renewable sources.

Main results. The types of renewable energy sources, that are available for usage in logging due to economic feasibility are identified. The technological processes of harvesting and timber transporting for which it is possible the usage of energy derived from renewable sources are determined. Volume and energy efficiency of the harvesting and wood primary processing waste are analyze, such us small rivers hydropotential depending on the amount of the harvest timber volumes is examined. A comparative analysis of mechanical energy for performing manufacturing operations with energy renewable resource is proposed. A schematic diagram of the settings for the integrated usage of renewable energy sources in logging is presented.

Conclusion. The methodology of the integrated renewable energy sources usage in the energy supply system of the logging processes, transportation and primary processing of wood, taking into account environmental requirements may be developed.

Keywords: Renewable Energy Sources, Logging, Integrated Usage.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Сиротюк М. І. Поновлювані джерела енергії: Навчальний посібник/ М. І. Сиротюк. - Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. – 248 с.
2. Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання: II Міжнар. наук.-практ. конф.// Львів. - 15 - 16 травня 2003. - Зб.наук.статей. – Львів: ЛьвЦНТЕІ, 2003 – 251 с.
3. Туниця Ю.Ю. Екологічна конституція Землі. Ідеї, концепції, проблеми. – Ч.1/ Ю. Ю. Туниця. - Львів: Видавництво ЛНУ ім. Івана Франка, 2002. – 362 с.
4. Браун Л.Р. Стан світу 2000: Доповідь Інституту Всесвітнього Спостереження про прогрес до сталого суспільства/ Л.Р.Браун та інші. - Київ: «Інтелсфера», 2000. - 285 с.
5. Krasowski E. Motoryzacja i energetyka rolnictwa / E. Krasowski // Motrol.- Lyblin: Kmer Pan Od. Lublin. – 2011. - Tom 13D. – 310 st.
6. Mobilne energetické prostriedky – Hydraulika – Zivotne prostredie – Ergonomia mobilnych strojov: Zbornik vedeckych recenzovanych prac/ M. Kuchera // Zvolen: Technicka univerzita vo Zvolene. - 2011 , ISBN 978-80-228-2265-7. - Vydanie I. - 257 stran.
7. Мачуга О. С. Засади інтегрованого використання енергії відновних джерел у лісозаготівлі/ О. С. Мачуга// Науковий вісник НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць. - Львів: РВВ НЛТУ України. - 2010. - Вип. 20.7. - с. 58 - 64.
8. Библюк Н. Деякі аспекти енергетичного потенціалу Гуцульщини. Історія та сучасність/ Н. Библюк, О. Мачуга // Праці наукового товариства ім. Шевченка, Матеріали Косівського осередку НТШ, т. III Краєзнавство. - Косів: Центр громадських ініціатив, 2011. – 258 – 266 с.
9. Byblyuk N. The prospects of heat emission decrease to the environment in logging and wood processing/ N. Byblyuk, R. Byblyuk, O. Machuga // In: Logging and wood processing in central Europe. Proceedings. - Kostelec nad Cernymi Lesy 20 - 21 June 2007.- CULF Prague, 2007.- P.149 - 150.
10. Byblyuk N. About the direct use of renovated sources of energy in logging. / N. Byblyuk, R. Byblyuk, O. Machuga // Mobilne energetické prostriedky – Hydraulika – Zivotne prostredie – Ergonomia mobilnych strojov Zborn. z medz. ved. konferencie.- Zvolen, 20 september 2007. - TU vo Zvolene, 2007, ISBN 978-80-228-1750-9.- P. 23 – 29.
11. Мачуга О. Інтегроване використання енергії відновних джерел у сільському господарстві та лісозаготівлі / Олег Мачуга // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – 2010. – 12 D. – С. 245 – 249.
12. Гнатяк І. С. Оцінка гідроенергетичних ресурсів басейну р. Опір та можливостей їх використання. / І. С. Гнатяк, І. П. Ковальчук // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні: Матеріали II науково-практичної конференції. Львів 2003 р. - Зб.наук.статей.- Львів, ЛьвЦНТЕІ, 2003. - С. 6 - 10.
13. Библюк Н.І. Лісотранспортні засоби : Теорія. Підручник / Н. І. Библюк. - Львів: Видавничий дім «Панорама», 2004. – 453 с.
14. Сенякевич І. Економіка галузей лісового комплексу/ І. Сенякевич. – Київ: Знання, 1992. – 243 с.
15. Кудря С. О. Атлас енергетичного потенціалу відновних джерел енергії України/ С. О. Кудря, В. Ф. Резцов, Т. В. Суржик, Л.В. Яценко, Г. П. Душина, П. Ф. Васько, Ю. П. Морозов, Г. М. Забарний. - Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2010. – 71 с.
16. Рудько Г.І. Наукові основи екологічної оцінки та оптимального використання гідроресурсів Карпатського регіону України/ Г.І. Рудько, Л.М. Консевич.- Київ: Т-во «Знання» України. – 138 с.
17. Шкиря Т.М. Технология и машины лесосечных работ / Т. М. Шкиря. - Львов: Выща школа, Изд. Львов. ун-та, 1988. – 264 с.
18. Баринов К. Н. Проектирование лесопромышленного оборудования: Уч. Пособие / К. Н. Баринов, В. А. Александров. - Л.: Издательство Ленинградского университета, 1988. - 240 с.
19. Сортиментные таблицы для таксации сосны, ели, пихты, дуба, бука, ясена, клена, граба, осины, березы, ольхи, липы, и акации белой. - К.: "Будівельник", 1973. - 443 с.

20. *Рекомендації із застосування мобільних канатних лісотранспортних установок на гірській лісозаготівлі.* – Івано – Франківськ, 2006. – 35 с.

References

1. *Syrotjuk M. I. Ponovljuvani dzherela energii': Navchal'nyj posibnyk (Renewable energy sources: Study guide)* Lviv: Vydavnychyj centr LNU im. Ivana Franka, 2008, 248 p.
2. *Resursy pryrodnyh vod Karpats'kogo regionu. Problemy ohorony ta racional'nogo vykorystannja: II Mizhnar. nauk.-prakt. konf. L'viv. 15 - 16 travnja 2003. Zb.nauk.statej [Carpathian Region Natural Water Resources. The Problems of Protection and Rational Usage: Second International Scientific and Practical Conf. Lviv. 15 – 16 May, 2003: Collection of the articles]* Lviv: LvCNTEI, 2003.
3. *Tynycja Ju.Ju. Ekologichna konstytucija Zemli. Idei', koncepcii', problemy. Ch.1 [Ecological Earth Constitution. Ideas, concepts, problems. Part 1]* Lviv: Vydavnyctvo LNU im. Ivana Franka, 2002, 362 p.
4. *Braun L.R. Stan svitu 2000: Dopovid' Instytutu Vsesvitn'ogo Sposterezhennja pro progres do stalogo suspil'stva [World Condition 2000: Global Monitoring of progress towards stabilized society Institute Report]* Kyiv: «Intelsfera», 2000, 285 p.
5. *Krasowski E. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. E. Krasowski. Motrol. Lyblin: Kmer Pan Od. Lublin. 2011. Tom 13 D. 310 p.*
6. *Mobilne energeticke prostriedky. Hydraulika. Zivotne prostredie. Ergonomia mobilnych strojov: Zbornik vedeckych recenzovanych prac. Zvolen: Technicka univerzita vo Zvolene, 2011, ISBN 978-80-228-2265-7, Vydanie I, 257 p.*
7. *Machuga O.S. Naukovyj visnyk NLTU Ukrai'ny: Zbirnyk nauково-tehnicnyh prac' (Scientific Bulletin NLTU Ukraine: Collection of scientific works)* Lviv: RVV NLTU Ukrai'ny, 2010, Vol. 20.7, pp. 58 - 64.
8. *Bybljuk N., Machuga O. Praci naukovogo tovarystva im. Shevchenka, Materialy Kosivs'kogo osередku NTSh, t. III Krajeznavstvo [Proceedings of the Shevchenko Scientific Society. Articles of SSS Kosiv center Vol. III Regional studies]* Kosiv: Centr gromad'skyh iniciatyv, 2011, pp. 258 – 266.
9. *Byblyuk N. Machuga O. Logging and wood processing in central Europe. Proceedings. Kostelec nad Cernymi Lesy 20 - 21 June 2007. Prague: CULF, 2007, pp.149 - 150.*
10. *Byblyuk N., Machuga O. Mobilne energetické prostriedky – Hydraulika – Zivotné prostredie – Ergonomia mobilných strojov Zborn. z medz. ved. konferencie. Zvolen, 20 september 2007. TU vo Zvolene, 2007, ISBN 978-80-228-1750-9, pp. 23 – 29.*
11. *Machuga O. MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa, 2010, vol. 12 D, pp. 245 – 249.*
12. *Gnatjak I. S., Koval'chuk I.P. Netradycijni i ponovljuvani dzherela energii' jak al'ternatyvni pervynnym dzherelam energii' v regioni: Materialy II nauково-praktychnoi' konferencii'. L'viv 2003 r. - Zb.nauk.statej [Non-traditional and renewable energy sources as alternative for primary energy sources in the region: Proceedings of the Second Scientific - Practecal Conference. Lviv 2003. Collection of the Articles]* Lviv, L'vCNTEI, 2003, pp. 6 - 10.
13. *Bybljuk N.I. Lisotransportni zasoby: Teorija. Pidručnyk [Logging tools: Theory. Textbook]* Lviv: Vydavnychyj dim «Panorama», 2004, 453 p.
14. *Senjakevych I. Ekonomika galuzej lisovogo kompleksu [Economics of the forestry industries]* Kyiv: Znannja, 1992, 243 p.
15. *Kudrja S. O., Rjezcov V. F., Surzhyk T. V., Jacenko L.V., Dushyna G. P., Vas'ko P. F., Morozov Ju. P., Zabarnyj G. M. Atlas energetychnogo potencialu vidnovnyh dzherel energii' Ukrai'ny [Atlas of the energy potential of renewable energy sources in Ukraine]* Kyiv: Instytut vidnovljuvanoi' energetyky NAN Ukrai'ny, 2010, 71 p.
16. *Rud'ko G.I. Konsevyh L.M. Naukovi osnovy ekologichnoi' ocinky ta optymal'nogo vykorystannja gidroresursiv Karpats'kogo regionu Ukrai'ny [Scientific basis of environmental assessment and optimal use of water resources in the Carpathian region of Ukraine]* Kyiv: T-vo «Znannja» Ukrai'ny, 138 p.
17. *Shkirja T.M. Tehnologija i mashyny lesechnyh robot [Technology and machines for logging operations]* Lviv: Vyscha shkola, Izd. L'vov. un-ta, 1988, 264 p.
18. *Barinov K. N., Aleksandrov V. A. Proektirovanie lesopromyshlennogo oborudovanyija: Uch. Posobie [Forestry Equipment Design: Study guide]* Leningrad: Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta, 1988, 240 p.
19. *Sortimentnye tablicy dlja taksacii sosny, eli, pihty, duba, buka, jasena, klena, graba, osiny, berezy, ol'hi, lipy, i akacii beloј [Assortment tables for inventory of pine, spruce, fir, oak, beech, Yaseen, maple, hornbeam, aspen, birch, alder, linden and acacia]* Kyiv: "Budivel'nyk", 1973, 443 p.
20. *Rekomendacii iz zastosuvannja mobil'nyh kanatnyh lisotransportnyh ustanovok na girs'kij lisozagotivli [Recommendations for mobile rope Logging setting usage on a mountain logging]* Ivano – Frankivs'k, 2006. 35 p.