# 3. ЛІСОВА ТАКСАЦІЯ ТА ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/ 411710
Article received 2017.10.03
Article accepted 2017.11.15

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
R. D. Vasylyshyn
rvasylys@ukr.net

*УДК 630*[64+5+(23)]*

## Теоретико-методологічні основи оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів на засадах сталого лісоуправління

Р. Д. Василишин[1]

*Опрацьовано термінологічно-поняттєвий інструментарій та теоретико-методологічний базис для розроблення методики оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів, що відповідає концептуальним засадам сталого розвитку.*

*Розраховано показники енергоємності основних компонентів деревної біомаси. Для їх встановлення використано якісні характеристики компонентів біомаси та кількісні параметри енергоємності однієї тонни вуглецю, депонованого у фітомасі дерев.*

*Встановлено, що найвищою енергоємністю характеризується деревина граба звичайного. Найнижчу енергоємність виявлено у компонентів біомаси хвойних деревних видів, які дещо поступаються перед м'яколистяними.*

*У ході опрацювання методологічних основ оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів її диференційовано на три основні складові частини: дров'яна стовбурова деревина, лісові деревні відходи та лісопромислові деревні відходи. Для цих складників запропоновано математичні залежності для оцінювання їх загального енергетичного потенціалу.*

*Для забезпечення оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси на засадах сталого лісоуправління, запропоновано виокремити п'ять його типів: теоретично можливий, технічно доступний, екологічно безпечний, економічно доцільний та соціально зумовлений. Це дасть змогу гармонійно поєднувати питання екологічної безпеки та економічного розвитку регіонів, а також враховувати соціальні особливості життя місцевих громад.*

***Ключові слова**: деревна біомаса, енергія, стале лісоуправління, енергетичний потенціал, енергоємність, методологія, відходи, лісові ресурси*

**Вступ.** Сучасна епоха розвитку світової науки характеризується домінуванням міждисциплінарних досліджень, що покликані вирішити глобальні виклики для існування людства. У цьому контексті, поняття «енергія», запроваджене фізиками для опису різних явищ, пов'язаних з теплотою і роботою, набуло фундаментального значення для вирішення проблеми пошуку екологічної рівноваги у

[1] *Василишин Роман Дмитрович* – дійсний член Лісівничої академії наук України, професор кафедри лісового менеджменту, директор НДІ лісівництва та декоративного садівництва Навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства, доктор сільськогосподарських наук, професор. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 15, м. Київ, Україна. Тел.: +38-095-345-27-22. E-mail: rvasylys@ukr.net

взаємозв'язках людської цивілізації з навколишнім природним середовищем. Значення лісових екосистем для забезпечення згаданої рівноваги важко переоцінити, оскільки вони відіграють важливу біосферну роль та слугують певним стабілізатором стану довкілля, зменшуючи негативний вплив наслідків нераціонального та надмірного використання природних ресурсів (Vasylyshyn, 2014).

Нині у межах загальноприйнятої концепції сталого розвитку, що ґрунтується на принципах взаємодії суспільства і природи та передбачає гармонізацію економічного й соціального розвитку та збереження довкілля, приділено значну увагу вимогам переходу до сталого ведення лісового господарства в рамках багатофункціонального використання лісів. Наразі питання впровадження принципів та реалізації механізмів сталого лісоуправління широко дискутується на вітчизняному (Myklush, 2011, Soloviy, Nijnik, Deyneka & Melnykovych, 2017, Synyakevych, 2005, Tunytsya & Tunytsya, 2017) та міжнародному рівнях (Abdul-Rahim & Mohd-Shahwahid, 2012, Angelstam et al., 2015, Blicharska et al., 2012, Deal, Cochran & LaRocco, 2011, Daniels et al., 2010, Makela et al., 2012, Maker, Germain & Anderson, 2014, Rahim et al., 2012).

На думку Shvidenko et al. (2014, 2017), стале управління лісами – основа сучасної парадигми екоеволюції людини і лісу та принципово важлива частина інтегрального управління земельними ресурсами. Варто зазначити, що чинна Лісова стратегія Європейського Союзу, у цьому контексті, виділяє три базових принципи: 1) визначальне значення сталого управління лісами і багатофункціональної ролі лісів, що забезпечують збалансоване використання всього різноманіття ресурсів і корисностей лісів, за гарантії забезпечення їх невиснажливості; 2) ефективне використання ресурсів, оптимізацію внеску лісів і лісового сектору в розвиток сільських територій, розширене відтворення і створення робочих місць; 3) глобальну відповідальність за ліси, сприяння сталому продукуванню і споживанню лісових продуктів (New Forest Strategy for the European Union, 2013).

Дієвий в Україні принцип безперервного і невиснажливого багатоцільового лісокористування, хоча й відповідає філософії сталого лісоуправління, однак напрям багатоцільового використання лісових ресурсів потребує значної інтенсифікації щодо використання екосистемних послуг лісів, серед яких важливе місце належить енергетичній функції.

Враховуючи дуже низьку ефективність використання енергії в Україні і неминучу необхідність прискореного розвитку національної економіки, ліси можуть і повинні відігравати важливу роль джерела відновлюваної енергії як у близькій, так і далекій перспективі (Shvidenko, Nilsson & Obersteiner, 2004, Vasylyshyn, 2014).

**Об'єкти та методика досліджень.** *Об'єкт дослідження* – методологічні та теоретико-методичні основи лісової біоенергетики в Україні.

*Предмет дослідження* – теоретико-методологічні основи оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів на засадах сталого лісоуправління.

*Мета дослідження* – запропонувати термінологічно-поняттєвий інструментарій та теоретико-методологічний базис для розроблення методики оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів, що відповідає концептуальним засадам сталого розвитку.

Методологічний рівень досліджень у межах наукової роботи реалізовували із застосуванням системного підходу, який передбачає необхідність комплексного вивчення явищ і базується на теорії систем (Shvidenko, Schepaschenko & Dolman, 2010). Цей підхід дав змогу забезпечити розв'язання поставлених задач.

Враховуючи, що українські ліси є важливою структурною складовою частиною економічної компоненти регіонального сталого розвитку, де лісове господарство повинно базуватися на збалансуванні охорони навколишнього природного середовища та соціально-економічного розвитку місцевих громад, це дослідження має домінантне екологічне спрямування. Теоретичною основою методологічного базису оцінювання енергетичного потенціалу лісів є концепція сталого лісоуправління, яка передбачає екосистемно організоване, комплексне, екологічно збалансоване та законодавчо врегульоване відповідними природоохоронними нормами та обмеженнями, використання лісових ресурсів.

Для оцінювання усереднених параметрів енергоємності компонентів надземної біомаси дерев використані отримані раніше дослідні дані (Lakyda, Vasylyshyn, Lashchenko & Terentiev, 2011), кількісну характеристику яких відображено у табл. 1.

Загальний обсяг використаних для досліджень енергоємності дослідних даних становить 3035 модельних дерев, 1743 дослідних зрізів стовбурів дерев та 809 зразків гілок крони.

*Таблиця 1*

**Кількісна характеристика вихідних дослідних даних**

| Деревний вид | Кількість, шт. | | |
|---|---|---|---|
| | модельних дерев | дослідних зрізів | |
| | | стовбура | гілок крони |
| Сосна звичайна | 803 | 210 | 54 |
| Сосна кримська | 196 | 108 | 54 |
| Ялина європейська | 279 | 150 | 99 |
| Ялиця біла | 200 | 243 | 99 |
| Дуб звичайний | 342 | 354 | 123 |
| Бук лісовий | 167 | 96 | 36 |
| Граб звичайний | 37 | 27 | 8 |
| Ясен звичайний | 64 | 124 | 62 |
| Береза повисла | 198 | 42 | 79 |
| Осика | 635 | 217 | 108 |
| Вільха клейка | 114 | 172 | 87 |

**Результати дослідження.** Ключовим етапом у процесі опрацювання теоретико-методологічних засад лісової біоенергетики є дослідження її базових біофізичних параметрів як основи для кількісної та якісної оцінки енергетичного потенціалу деревної біомаси.

Кількість енергії, яка виробляється чи споживається, незалежно від її форми (теплова, електрична, механічна), вимірюють у Міжнародній системі одиниць (СІ) однією одиницею – *джоулем* (1 Дж) та похідними від нього одиницями: $10^3$ Дж = 1 КДж (кілоджоуль); $10^6$ Дж = 1 МДж (мегаджоуль); $10^9$ Дж = 1 ГДж (гігаджоуль); $10^{12}$ Дж = 1 ТДж (тераджоуль); $10^{15}$ Дж = 1 ПДж (петаджоуль); $10^{18}$ Дж = 1 ЕДж (ексаджоуль) (Shvidenko, Nilsson & Obersteiner, 2004, Vasylyshyn, 2014).

Нині в Україні одним із основних напрямів енергетичного використання деревної біомаси є пряме її спалювання для отримання теплової енергії. У цьому контексті деревну біомасу розглядають як альтернативу природному газу, оскільки саме цей енергоресурс займає домінантне становище у структурі національного енергоспоживання (Vasylyshyn, 2014). Для кількісного зіставлення згаданих джерел енергії варто використовувати такі залежності: внаслідок спалювання 1 м$^3$ природного газу (ПГ) виділяється енергія у кількості 31,736 МДж, 7580 кКал або 8,816 кВт·год. Також, за енергоємністю 1 м$^3$ ПГ відповідає 0,758 кг нафтового та 1,082 кг вугільного еквіваленту.

У лісовій біоенергетиці правильне оперування зазначеними термінами досить важливе для оцінювання, прогнозування і кількісного та якісного аналізу енергетичного потенціалу деревної біомаси, як альтернативи викопним видам енергетичних ресурсів.

Для здійснення кількісної оцінки загального вмісту енергії, акумульованої у надземній біомасі дерев та деревостанів головних лісотвірних деревних видів України, насамперед необхідні показники енергоємності основних компонентів деревної біомаси. Для встановлення кількісних показників зазначених компонентів використано їх якісні характеристики (Lakyda, Vasylyshyn, Lashchenko & Terentiev, 2011) та кількісні параметри енергоємності однієї тонни вуглецю, депонованого у фітомасі дерев (Shvidenko, Nilsson & Obersteiner, 2004). Запропоновані значення показників енергоємності наведено у табл. 2.

Отже, найвищою енергоємністю характеризується деревина граба звичайного, один кубічний метр якої, в абсолютно сухому стані, за цим показником еквівалентний 362 м$^3$ природного газу. Найнижча енергоємність властива компонентам біомаси хвойних деревних видів, які дещо поступаються перед м'яколистяними. Серед м'яколистяних за вмістом енергії в абсолютно сухій речовині компонентів біомаси домінує береза повисла. Енергоємність її кори перевищує відповідні показники твердолистяних деревних видів.

Нині в багатьох європейських країнах деревину гілок визнано важливим додатковим джерелом сировини, яку широко використовують не тільки в целюлозно-паперовій промисловості, а й в біоенергетичному виробництві. В Україні деревину та кору гілок вважають неліквідною сировиною, її практично не використовують і, зазвичай, залишають у лісі після виконання лісозаготівельних робіт. Враховуючи світові тенденції до розвитку альтернативних джерел енергії та беручи до уваги досвід таких європейських країн, як Фінляндія й Австрія (Vasylyshyn, 2014), в Україні деревина і кора гілок може бути одним із джерел одержання теплової енергії, що потребує відповідного нормативно-інформаційного забезпечення для оцінки їх енергоємності.

*Таблиця 2*

**Енергоємність компонентів біомаси стовбура дерев головних лісотвірних видів**

| Деревний вид | Вміст енергії в абсолютно сухій речовині компонентів біомаси, ГДж·(м$^3$)$^{-1}$ | | |
|---|---|---|---|
| | деревина | кора | деревина + кора |
| Сосна звичайна | 7,635 | 4,953 | 7,331 |
| Ялина європейська | 6,186 | 5,346 | 6,151 |
| Ялиця біла | 7,009 | 8,046 | 7,080 |
| Дуб звичайний | 10,585 | 7,706 | 9,637 |
| Бук лісовий | 10,782 | 8,690 | 10,621 |
| Граб звичайний | 11,497 | 9,119 | 11,300 |
| Ясен звичайний | 11,443 | 8,976 | 11,103 |
| Береза повисла | 9,315 | 9,423 | 9,351 |
| Осика | 7,438 | 8,421 | 7,635 |
| Вільха клейка | 8,028 | 6,937 | 7,849 |

Кількісні значення питомої енергоємності компонентів біомаси гілок крони дерев головних лісотвірних видів наведено у табл. 3.

*Таблиця 3*

**Енергоємність компонентів біомаси гілок крони дерев головних лісотвірних видів**

| Деревний вид | Вміст енергії в абсолютно сухій речовині компонентів біомаси, ГДж·(м$^3$)$^{-1}$ | | |
|---|---|---|---|
| | деревина | кора | деревина +кора |
| Сосна звичайна | 7,080 | 6,151 | 6,848 |
| Ялина європейська | 9,959 | 7,653 | 9,351 |
| Ялиця біла | 9,476 | 8,511 | 9,083 |
| Дуб звичайний | 10,138 | 7,152 | 9,405 |
| Бук лісовий | 10,156 | 8,547 | 9,852 |
| Граб звичайний | 10,138 | 11,854 | 10,335 |
| Ясен звичайний | 11,640 | 8,868 | 11,032 |
| Береза повисла | 8,725 | 10,353 | 9,172 |
| Осика | 9,065 | 8,565 | 8,815 |
| Вільха клейка | 7,724 | 8,958 | 7,885 |

Так, найвищі показники вмісту енергії в абсолютно сухій речовині характерні для деревини і деревини у корі гілок ясена звичайного – 11,6 ГДж·(м$^3$)$^{-1}$ та кори гілок граба звичайного – 11,9 ГДж·(м$^3$)$^{-1}$. При цьому найнижчий вміст енергії в 1 м$^3$ властивий компонентам біомаси крони дерев сосни звичайної.

Важливою передумовою процесу опрацювання теоретико-методологічних засад лісової біоенергетики є формування її поняттєво-термінологічного апарату. У цьому контексті варто зазначити, що оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів передбачає її диференціацію на три основні складові частиниі: дров'яна стовбурова деревина, лісові деревні відходи та лісопромислові деревні відходи (Vasylyshyn, 2014).

Запропонована термінологічна основа зазначених складників деревної біомаси базується на такому змісті:

– *дров'яна стовбурова деревина* – частина стовбура дерева у корі від місця спилювання до верхівки (без гілок), яка під час проведення рубок головного користування і рубок формування й оздоровлення лісів (окрім освітлення, прочищення та частково проріджения) за встановленими лісівничо-таксаційними критеріями належить до категорії «дров'яна» (зокрема дров'яна частина ділових дерев);

– *лісові деревні відходи* – змістовно об'єднують декілька структурних видових одиниць деревної біомаси. Це насамперед деревна сировина, що заготовлюється в процесі рубок догляду (освітлення, прочищення і частково проріджения) у вигляді цілого дерева, а також лісосічні відходи, порубкові залишки (частини стовбура, гілля, вершини дерев тощо), пні та корені, які утворюються після проведення рубок головного користування та рубок формування й оздоровлення лісів (окрім зазначених рубок догляду);

– *лісопромислові деревні відходи* (відходи переробки деревини) – різні структурні видові одиниці деревної біомаси, що утворюються у процесі промислового (господарського) перероблення (оброблення) деревини. Сюди належать відходи виробництва (зіпсовані (забраковані) під час виготовлення вироби), кускові залишки деревини, кора, тирса, тріска тощо.

Як результат, загальний енергетичний потенціал деревної біомаси лісів запропоновано описати таким виразом:

$$ПЛДВ^{заг}_{a,j} = ПЛП_рд_{a,j} + ПЛВ_{a,j} + ПСЗП_{a,j}, \quad (1)$$

де $ПДБ_{a,j}$ – загальний енергетичний потенціал деревної біомаси *a*-го року на території *j*, м$^3$·рік$^{-1}$ або Дж·рік$^{-1}$; $ПДСД_{a,j}$ – енергетичний потенціал дров'яної стовбурової деревини *a*-го року на території *j*; $ПЛДВ_{a,j}$ – енергетичний потенціал лісових деревних відходів *a*-го року на території *j*; $ПЛПДВ_{a,j}$ – енергетичний потенціал лісопромислових деревних відходів *a*-го року на території *j*.

Загальний енергетичний потенціал деревної біомаси можна оцінити як в одиницях об'єму, так і в одиницях маси або первинної енергії (Дж, МВт·год, Гкал, т у.п. та ін.). Для перетворення різних одиниць виміру первинної енергії можна використати такі співвідношення: 1 ГДж = 0,271 МВт·год. = 0,239 Гкал = 0,0239 т н.е. = 0,0341 т у.п. (Vasylyshyn, 2014). При цьому треба врахувати, що перехід на альтернативні одиниці вимірювання завжди додає невизначеності у результати та має бути реалізований з урахуванням багатьох специфічних аспектів, наприклад, деревного виду, вологості деревини, виду біомаси, стану і типу технологій перетворення деревини у енергію і т. ін.

У цій роботі не досліджуємо деревні відходи, які є частиною побутових органічних відходів життєдіяльності населення (старі меблі, непридатні дерев'яні будівельні матеріли, старі столярні вироби тощо). Використання останніх для енергетичних потреб дуже обмежене через наявність покрівельних матеріалів, які містять шкідливі хімічні речовини (клеї, фарби, лаки) та незначну просторову концентрацію. Крім того, наразі немає будь-якої достовірної інформації щодо їх обсягів і територіального поширення в Україні.

Стовбурова деревина – це основний продукт, який надходить із лісу. Її розмірно-якісні характеристики та попит на неї є основними параметрами, які визначають майбутнє використання деревини, зокрема і для енергетичних потреб. Отже, загальний енергетичний потенціал дров'яної стовбурової деревини пропонуємо визначати за такою залежністю:

$$ПДСД^{заг}_{a,j} = ПДСД^{рзк}_{a,j} + ПДСД^{прж_прх}_{a,j} + ПДСД^{ірфол}_{a,j}, \quad (2)$$

де $ПДСД^{заг}_{a,j}$ – загальний потенціал дров'яної стовбурової деревини *a*-го року на території *j*, м$^3$; $ПДСД^{рзк}_{a,j}$ – потенціал дров'яної стовбурової деревини від рубок головного користування, *a*-го року на території *j*, м$^3$; $ПДСД^{прж_прх}_{a,j}$ – потенціал дров'яної стовбурової деревини від перших комерційних рубок догляду (проріджения, прохідна) *a*-го року на території *j*, м$^3$; $ПДСД^{ірфол}_{a,j}$ – потенціал дров'яної стовбурової деревини від інших рубок формування і оздоровлення лісів *a*-го року на території *j*, м$^3$.

Як одне з вагомих джерел деревної біомаси потрібно розглядати деревні лісові відходи. Їх загальний енергетичний потенціал варто визначити за такою залежністю:

$$ПЛДВ^{заг}_{a,j} = ПЛП_рд_{a,j} + ПЛВ_{a,j} + ПСЗП_{a,j}, \quad (3)$$

де $ПЛДВ^{заг}_{a,j}$ – загальний енергетичний потенціал лісових деревних відходів *a*-го року на території *j*, м$^3$; $ПЛП_рд_{a,j}$ – потенціал лісо продукції, заготовленої в процесі рубок догляду в молодняках (освітлення, прочищення), *a*-го року на території *j*, м$^3$; $ПЛВ_{a,j}$ – потенціал лісосічних відходів (частини стовбура, гілля, вершини дерев тощо) *a*-го року на території *j*, м$^3$; $ПСЗП_{a,j}$ – потенціал стовбурових залишків та пнів *a*-го року на території *j*, м$^3$.

Для оцінювання загального енергетичного потенціалу лісопромислових відходів, які використовують як для прямого спалювання (в опалювальних котлах деревообробних підприємств), так і для виробництва твердих видів палива (гранули, брикети тощо), варто використовувати таку залежність:

$$ПЛПДВ_{a,j}^{заг} = \sum_{i=1}^{n} \begin{bmatrix} \left[СТЗ_i^{ст_пер} \cdot ЧДД_i^{ст_пер} \cdot K^{у.в.}\right] + \\ \left[СТЗ_i^{прж_прх} \cdot K_i^{сз} \cdot ЧДД_i^{прж_прх} \cdot K^{у.в.}\right] + \\ \left[СТЗ_i^{ірфол} \cdot K_i^{чзв} \cdot ЧДД_i^{ірфол} \cdot K^{у.в.}\right] \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де $ПЛПДВ_{a,j}^{заг}$ – загальний енергетичний потенціал лісопромислових деревних відходів *a*-го року на території *j*, м$^3$; $СТЗ_i$ – стовбуровий запас *i*-тої деревної породи, призначений для вирубування в поточному році в межах рубок головного користування ($СТЗ_i^{ст_пер}$), проріджування і прохідної рубки ($СТЗ_i^{прж_прх}$), а також інших рубок формування й оздоровлення лісів (РФОЛ) (окрім рубок догляду в молодняках) ($СТЗ_i^{ірфол}$), м$^3$; $ЧДД_i$ – частка ділової деревини *i*-тої деревної породи; $K_i^{сз}$ – коефіцієнт, який відображає ступінь зрідження деревостану (визначають на основі співвідношення відносних повнот до і після рубки, відповідно до затверджених правил); $K_i^{чзв}$ – коефіцієнт, який відображає частку запасу, що вибирають у процесі інших РФОЛ; $K^{у.в.}$ – коефіцієнт утворення відходів, який розраховують на основі нормативних галузевих документів.

Формування енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів повинно забезпечувати базові засади сталого лісоуправління, тобто мінімізувати вплив лісозаготівель на навколишнє природне середовище. Умова сталого використання лісових ресурсів може бути виражена такою залежністю:

$$ПП_{a,j} - \left( \sum_{i=1}^{n} OP_{i,a,j}^{рзк} + OP_{i,a,j}^{р.ф.о.л} \right) \geq 0, \quad (5)$$

де $ПП_{a,j}$ – поточний приріст *a*-го року на території *j*, м$^3$; $OP_{i,a,j}^{рзк}$ – обсяг рубок головного користування *i*-тої породи, *a*-го року на території *j*, м$^3$; $OP_{i,a,j}^{р.ф.о.л}$ – обсяг рубок формування й оздоровлення лісів *i*-тої породи, *a*-го року на території *j*, м$^3$.

Теоретико-методологічні основи оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів на засадах сталого лісоуправління повинні відображати збалансованість трьох структурних складників сталого розвиту, тобто гармонійно поєднувати питання екологічної безпеки та економічного розвитку регіонів, а також враховувати соціальні особливості життя місцевих громад. У цьому контексті, у межах цієї роботи, беручи до уваги певні екологічні, економічні та соціальні обмеження щодо використання деревної біомаси, запропоновано виокремити п'ять типів енергетичного потенціалу: теоретично можливий, технічно доступний, екологічно безпечний, економічно доцільний та соціально зумовлений.

За своєю суттю зазначені типи потенціалу характеризуються таким змістом:

– *теоретично можливий* – це загальний максимальний обсяг надземної деревної біомаси, яка з урахуванням наявних галузевих нормативних і лісівничо-таксаційних норм (розрахункова лісосіка, віки стиглості тощо), а також принципів невиснажливого й безперервного використання лісових ресурсів, може теоретично бути використана для енергетичних потреб суспільства. Сюди належать: уся дров'яна деревина, відповідно до сортиментної структури деревостанів; усі лісові деревні відходи, відповідно до встановлених лімітів заготівлі деревини та лісівничих вимог до здійснення рубок формування та оздоровлення лісів; усі лісопромислові відходи, з урахуванням можливих щорічних обсягів заготівлі деревини;

– *технічно доступний* – частина теоретично можливого потенціалу, яку можна розглядати як доступну в межах наявних техніко-структурних умов і технологічних можливостей заготівлі та використання лісоенергетичної сировини. Основними технічними обмеженнями є: наявність лісових доріг, рельєф території, забезпеченість технічними потужностями для заготівлі та перероблення лісових деревних відходів. Щодо лісопромислових деревних відходів, то критерієм технічної доступності слугує також структура експорту лісопродукції у круглому вигляді;

– *екологічно безпечний* – частина технічно доступного потенціалу, яка враховує екологічні обмеження щодо поділу на категорії лісів залежно від виконуваних ними функцій (захисні ліси, рекреаційно-оздоровчі ліси, ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення та експлуатаційні ліси), передбачає забезпечення біологічного кругообігу елементів живлення (система «ліс – ґрунт»), збереження біорізноманіття та дотримання екологічних вимог щодо використання структурних складників деревної біомаси (дров'яна стовбурова деревина, лісові деревні відходи, лісопромислові деревні відходи) з урахуванням орографічних особливостей гірських лісів, забруднення лісів радіонуклідами за наслідками аварії на ЧАЕС;

– *економічно доцільний* – частина екологічно безпечного потенціалу, яка відповідає параметрам фінансової рентабельності в межах конкретних економічних умов досліджуваного регіону. Основними економічними критеріями є середній запас деревної біомаси на одиниці площі, відстань від місця утворення ресурсного потенціалу до місця перетворення на теплову чи інші види енергії, структурне співвідношення окремих складників у загальному енергетичному потенціалі деревної біомаси, а також альтернатива використання частини ресурсу для виробництва інших видів продукції;

– *соціально зумовлений* – частина економічно доцільного потенціалу, яка забезпечує першочергове врахування потреб місцевих громад у лісових ресурсах для забезпечення їх нормальної життєдіяльності. Основними соціальними критеріями є кількість деревної енергетичної сировини для забезпечення опалення індивідуальних житлових приміщень та об'єктів соціальної інфраструктури (дитячі садки, школи, лікарні тощо) у негазифікованих населених

пунктах. Крім цього, враховує необхідність використання паливної деревної біомаси в місцях масового відпочинку населення як важливого атрибута забезпечення рекреаційно-туристичної діяльності.

Отже, загальну схему розрахунку енергетичного потенціалу лісів можна відобралити у вигляді рис.

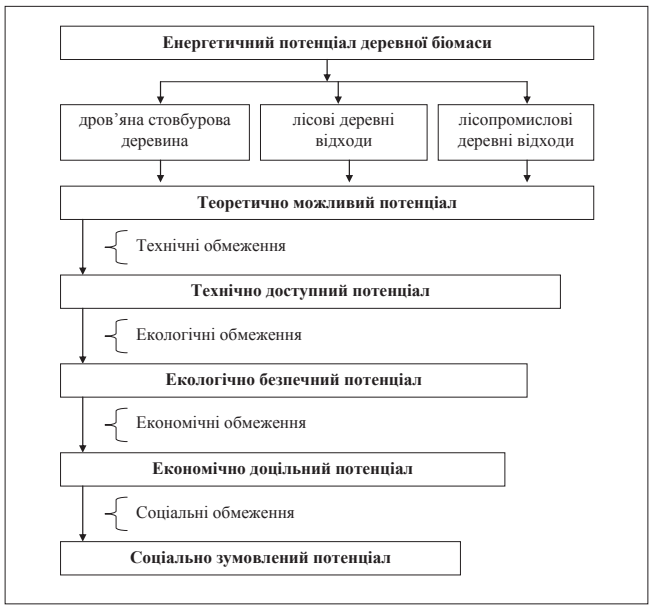


Рис. Загальна схема розрахунку енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів

Оцінюючи зазначені типи енергетичного потенціалу, потрібно дотримуватися таких територіальних обмежень: соціально зумовлений – для території адміністративного району та області; економічно доцільний – також і для території окремого лісогосподарського підприємства; екологічно безпечний, технічно доступний і теоретично можливий – можуть бути оцінені ще й на рівні окремих лісництв чи ділянок лісового фонду.

Загалом запропонована класифікація типів енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів дасть змогу здійснити агрегацію його кількісних показників на різних рівнях пріоритетності структурних складників (екологічний, економічний, соціальний) сталого лісоуправління.

**Висновки.** Отримані результати сприятимуть практичній реалізації розвитку лісової біоенергетики в Україні як одного з найперспективніших напрямів вирішення наявних нині енергетичних та екологічних проблем.

Запропоновані теоретико-методологічні основи оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси у лісах передбачають її диференціацію на три основні складові частини: дров'яна стовбурова деревина, лісові деревні відходи та лісопромислові деревні відходи, а також виділення п'яти типів енергетичного потенціалу: теоретично можливого, технічно доступного, екологічно безпечного, економічно доцільного та соціально зумовленого. Виокремлення зазначених типів потенціалу є концептуальною основою сталого енергетичного використання лісових ресурсів.

Результати дослідження є основою для розроблення методичних підходів до оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси на засадах сталого лісоуправління під час здійснення наукового, екологічного, лісівничого та техніко-економічного обґрунтування розширеного використання лісоенергетичних ресурсів.

## Бібліографічні посилання


Abdul-Rahim, A. S. & Mohd-Shahwahid, H. O. (2012). Sustainable forest management policy and the analysis of convergence effects on timber production. *Forest policy and economics*, *22*, 60-64.

Angelstam, P., Andersson, K., Axelsson, R., Degerman, E., Elbakidze, M., Sjolander, P., & Tornblom, J. (2015). Barriers and Bridges for Sustainable Forest Management: The Role of Landscape History in Swedish Bergslagen. In K. Kirby & C. Watkins (Ed.), *Europe's changing woods and forests from wildwood to managed landscapes* (pp. 290-305). Wallingford: Cabi Publishing.

Blicharska, M., Angelstam, P., Elbakidze, M., Axelsson, R., Skorupski, M., & Wegiel, A. (2012). The Polish Promotional Forest Complexes: objectives, implementation and outcomes towards sustainable forest management? *Forest policy and economics*, *23*, 28-39. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2012.07.008

Deal, R. L., Cochran, B. & LaRocco, G. (2011). Bundling of ecosystem services to increase forestland value and enhance sustainable forest management. *Forest policy and economics*, *17*, 69-76. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.12.007

Daniels, S. E., Kilgore, M. A., Jacobson, M. G., Greene, J. L., & Straka, T. J. (2010). Examining the Compatibility between Forestry Incentive Programs in the US and the Practice of Sustainable Forest Management. *Forests*, *1*, 49-64. https://doi.org/10.3390/f1010049

Lakyda, P. I., Vasylyshyn, R. D., Lashchenko, A. G., & Terentiev, A.Yu. (2011). *Standards for assessment of aboveground live biomass components of trees of the main forest forming species of Ukraine*. Kyiv: Publishing house "EKO-inform". (in Ukrainian).

Makela, A., del Rio, M., Hynynen, J., Hawkins, M., Reyer, C., Soares, P., … Tome, M. (2012). Using stand-scale forest models for estimating indicators of sustainable forest management. *Forest ecology and management*, *285*, 164-178. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.07.041

Maker, N. F., Germain, R. H. & Anderson N. M. (2014). Working Woods: A Case Study of Sustainable Forest Management on Vermont Family Forests. *Journal of forestry*, *4*, 371-380.

Myklush, S. I. (2011). *Lowland Beech Forests in Ukraine: Productivity and Organization of Sustainable Management*. Lviv: Zucts. (in Ukrainian).

New Forest Strategy for the European Union (2013). Retrieved from: http://foresteurope.org/new-forest-strategy-european-union/.

Rahim, A. S. A., Shahwahid, H. O. M., Nasir, S. M., & Noor, A. G. A. (2012). Market and welfare economic impacts of sustainable forest management practices-an empirical analysis of timber market in Sabah, Malaysia. *Journal of tropical forest science*, *4*, 440-454.

Shvidenko, A., Schepaschenko, D., & Dolman H. (2010). Full carbon account for Russia. *Invited presentation at the GEO-Carbon*. Rome, 56-57.

Shvidenko, A. Z., Lakyda, P. I., Schepaschenko, D. G., Vasylyshyn, R. D., & Marchuk, Yu.M. (2014). *Carbon, climate and land-use in Ukraine: forest sector*. Korsun-Shevchenkivsky: FOP V. M. Gavryshenko (in Ukrainian).

Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S., & Lakyda, P. (2017). Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. *Sustainability*, *9* (7), 1152-1158. https://doi.org/10.3390/su9071152

Shvidenko, A., Nilsson , S., & Obersteiner, M. (2004). Wood for bioenergy in Russia: Potential and Reality. In G. H. Kohlmaier (Eds.), *Wood Energy in the Industrialized World* (pp. 323-340). Graz, Austria: International BIOCLIMECO Workshop.

Soloviy, I. P., Nijnik, M., Deyneka, A. M. & Melnykovych, M. P. (2017). Reimagining forest policy, institutions and instruments through concepts of ecosystem services and social innovations: Ukraine in the focus. *Scientific Bulletin of UNFU*, *27* (8), 82-87. https://doi.org/10.15421/40270812.

Synyakevych, I. (2005). *Forest policy*. Lviv: Zukc. (in Ukrainian).

Tunytsya, Yu. Yu., & Tunytsya, T. Yu. (2017). An Ecological Economic Paradigm for Sustainable Forestry Development. *Scientific Bulletin of UNFU*, *27* (8), 21-25. https://doi.org/10.15421/40270802.

Vasylyshyn, R. D. (2014). Productivity, ecological and energy potential of forests in the Ukrainian Carpathians. *Abstract of doctoral dissertation for Agricultural Science (06.03.02 – Forest Inventory and Forest Measurement)*. Kyiv, 46 p. (in Ukrainian).

## Теоретико-методологические основы оценки энергетического потенциала древесной биомассы лесов на принципах устойчивого лесоуправления

Р. Д. Василишин[1]

В настоящее время, учитывая очень низкую эффективность использования энергии в Украине и будущую необходимость ускоренного развития национальной экономики, леса могут и должны играть важную роль источника возобновляемой энергии как в близкой, так и далекой перспективе. Однако использование древесной биомассы лесов для энергетических нужд должно происходить на принципах устойчивого развития, для сохранения баланса между экологическим, экономическим и социальным значением лесов.

Объект исследования в данной научной работе – методологические и теоретико-методические основы лесной биоэнергетики в Украине. Предмет исследования – теоретико-методологические основы оценки энергетического потенциала древесной биомассы лесов на принципах устойчивого лесоуправления.

Цель исследования заключалась в разработке терминологически-понятийного инструментария и теоретико-методологического базиса для разработки методики оценки энергетического потенциала древесной биомассы лесов, которая соответствует концептуальным основам устойчивого развития.

Одним из главных этапов в этих исследованиях является оценка базовых биофизических параметров древесной биомассы, в качестве основы для количественной и качественной оценки ее энергетического потенциала. С этой целью в работе установлены показатели энергоемкости основных компонентов древесной биомассы. Использованы качественные характеристики компонентов биомассы и количественные параметры энергоемкости одной тонны углерода, депонированного в фитомассе деревьев.

Установлено, что самой большой энергоемкостью характеризуется древесина граба обыкновенного. Самая низкая энергоемкость наблюдается у компонентов биомассы хвойных древесных видов, которые несколько уступают мягколиственным.

В ходе разработки методологических основ оценки энергетического потенциала древесной биомассы лесов, ее дифференцировали на три основные составляющие: дровяная стволовая древесина, лесные древесные отходы и лесопромышленные древесные отходы. Предложены также математические зависимости для оценки общего энергетического потенциала упомянутых составляющих.

С целью обеспечения оценки энергетического потенциала древесной биомассы на принципах устойчивого лесоуправления, в работе предложено выделить пять его типов: теоретически возможный, технически доступный, экологически безопасный, экономически целесообразный и социально обусловленный. Это позволит гармонично сочетать вопросы экологической безопасности и экономического развития регионов, а также учитывать социальные особенности жизни местных общин.

**Ключевые слова:** древесная биомасса, энергия, устойчивое лесоуправление, энергетический потенциал, энергоемкость, методология, отходы, лесные ресурсы

[1] *Василишин Роман Дмитриевич* – действительный член Лесной академии наук Украины, профессор кафедры лесного менеджмента, директор НИИ лесоводства и декоративного садоводства Учебно-научного института лесного и садово-паркового хозяйства, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев обороны, 15, г. Киев, Украина. Тел.: +38-095-345-27-22. E-mail: rvasylys@ukr.net

# Theoretical and methodological bases the energy potential of woody biomass in forests estimation on the principles of sustainable forest management

R. Vasylyshyn[1]

Today, considering very low efficiency of energy use in Ukraine and the future need for accelerated development of the national economy, forests can and should play an important role as a renewable energy source in both the close and long running perspective. However, the woody biomass use for energy needs should take place on the basis of sustainable development, in order to maintain a balance between the ecological, economic and social value of forests.

Object of the study in this article is the theoretical and methodological foundations of forest bioenergy in Ukraine. Subject of the study is theoretical and methodological bases of the energy potential of woody biomass of forests estimation on the principles of sustainable forest management.

The purpose of the study was to elaborate terminological and conceptual tools and theoretical and methodological basis for the development of a methodology to estimate the energy potential of woody biomass of forests, which corresponds to the conceptual foundations of sustainable development.

The key stage of these studies is assessing of the basic biophysical parameters of woody biomass as the basis for quantitative and qualitative estimation of energy potential. For this purpose the indexes of energy intensity of the main components of woody biomass are calculated. For their establishment, qualitative characteristics of the biomass components and quantitative parameters of energy intensity of one ton of carbon deposited in the live biomass of trees are used.

It was specified that the (hornbeam wood) is characterized by the highest energy intensity. The lowest energy intensity is observed in the components of biomass of coniferous tree species, which are slightly inferior to the leafy ones.

During the elaboration of the methodological bases for assessing the energy potential of woody biomass of forests, it was differentiated into three main components: non-commercial stem wood, woody wastes on harvested areas and wastes of wood processing. Mathematical correlations are suggested for these components to estimate their total energy potential.

In order to provide the assessment of the energy potential of woody biomass on the basis of sustainable forest management, it is suggested to distinguish five its types: theoretically possible, technically accessible, environmentally safe, economically profitable, and socially conditioned ones. It will allow to combine environmental safety and economic development of the regions harmoniously, as well as to take into account the social features of the of local communities life.

**Key words**: woody biomass, energy, sustainable forest management, energy potential, energy intensity, methodology, wastes, forest resources

[1] *Roman Vasylyshyn* – Full member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Professor of Forest Management Department, Director of Research Institute of Silviculture and Decorative Gardening of Education and Research Institute of Forestry and Park Gardening, Doctor of Agricultural Sciences, Professor. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony st., 15, Kyiv, 03041, Ukraine. Тел.: +38-095-345-27-22. E-mail: rvasylys@ukr.net