

УДК 630\*116.11

Аспірт. Н.І. Козій; проф. Л.І. Копій, д-р с.-г. наук;

доц. І.Є. Кульчицький-Жигайло, канд. с.-г. наук – НЛТУ України, м. Львів

## ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕХОПЛЕННЯ ОПАДІВ ЛІСОВИМ НАМЕТОМ

Наведено методику визначення піднаметових опадів у лісі під час використання пластикових опадомірів з площею приймальної поверхні  $58 \text{ см}^2$  та лотків для вимірювання стоку води по стовбуру. Встановлено величини систематичних похибок для опадомірів на вітрове видування, випаровування, змочування та зменшення приймальної площі через відхилення від вертикалі.

**Ключові слова:** піднаметові опади, опадоміри, похибки вимірювань.

**Вступ.** Перехоплення атмосферних опадів лісовим наметом як важлива стаття збільшення загального випаровування з вкритих лісом земель вивчається впродовж тривалого періоду. Для цього задіювалися опадоміри різноманітної, переважно авторської конструкції. Найбільше застосовування отримали виготовлені з пластику чи металу циліндричні колектори різних діаметрів: 6,18 см [1], 9 см [17], 10,7 см [19], 11,3 см [20], 15,24 см [16], 16,5 см [21], 18 см [8, 15], 18,3 см [7], 20,3 см [9, 25], 21,2 см [10] та ін. Крім цього, використовуються пластикові та металеві напівкруглі чи трикутні у перетині жолоби діаметром/шириною 15 см, 18 см, 20,5 см, 30 см та довжиною 0,61 м, 2 м, 3 м, 6 м [11, 18, 20, 12, 22, 13, 14, 23]. Кожна з конструкцій опадомірів має свої переваги і недоліки, зокрема з жолобів зростає видування опадів вітром, розбризкування та дещо більші втрати на змочування. Існує також думка, що немає статистично значущої різниці між значенням річної кількості опадів, отриманих за допомогою циліндрів і жолобів [24].

Підкранові опадоміри розставляються стаціонарно або через певний час переміщуються у попередньо випадково вибрані місця для збільшення охопленої дослідженнями площі (т.зв. пересувні опадоміри). Виставлення стаціонарних опадомірів може бути у вузлах мережі певного розміру (найчастіше 10 x 10 м) чи їх місце визначається за принципом рандомізації з попередньою розбивкою ділянки на пікселі. Спорожнення стаціонарних опадомірів відбувається вручну, або з них вода подається у збиральні ємності з самописцями переважно перекидного типу. В останньому випадку, як і в методи пересувних опадомірів, відсутні дані про часову динаміку опадів, що проникли крізь намет у цій точці.

Стік по стовбуру води, яка не потрапила до підкранових опадомірів, але включається у вологообіг, визначається за допомогою спіральні закріплені навколо стовбура пластикових чи з металеві фольги лотків, або, рідше, – кільцевих манжетів різної конструкції [8, 17, 23].

Незважаючи на чисельну бібліографію, на сьогодні бракує регіональних даних про інтерцепцію насадженнями різного віку, складу і повноти. Для їх отримання потрібно здійснювати роботи на широкій мережі дослідних ділянок, організація якої гальмується не в останню чергу проблемами зі збереженням опадомірів від викрадення і вандалізму. Загалом методика повинна бути недорогою і потребувати незначного нагляду [16].

**Метою роботи** є оцінювання методики, яка передбачає використання для визначення інтерцепції опадів лісовим наметом пластикових опадомірів з діаметром ободу 85,9 мм.

Нами запропоновано використовувати пластикові опадоміри – циліндричні колектори з площею приймальної поверхні  $58 \text{ см}^2$  [4], які спорожнюються вручну. Опадоміри виставляються стаціонарно у вузлах мережі  $10 \times 10 \text{ м}$  на висоті 1 м над поверхнею землі та закріплюються гумовими стяжками до суворо вертикально вбитих у землю рейок. На п'яти дослідних ділянках було виставлено 104 опадоміри під наметом лісу та на галявинах. Дворічний досвід роботи з ними показав, що на чотирьох ділянках лише у початковий період досліджень фіксувалися окремі випадки скидання чи пошкодження 1-2 опадомірів (6-13 % від їх загальної кількості на цій ділянці), після чого подібні дії припинялися. Такі опадоміри були відразу ж відновлені.

Конструкція опадомірів задовольняє вимоги Всесвітньої метеорологічної організації [5]: його обід має гострий край і є всередині вертикальним, приймальна поверхня є постійною. Прозорі стінки, як і в опадоміра Давітая [1], значно зменшують нагрівання сонячними променями, що разом з вузьким вхідним отвором внутрішньої лійкоподібної вкладки в опадомір забезпечує мінімальні втрати на випаровування. Висока стінка колектора й ухил лійки вставки захищають від розбризкування опадів.

Під час використання опадомірів цієї конструкції виникають систематичні похибки, притаманні всім циліндричним опадомірам: втрати на змочування опадоміра  $W$ , втрати на видування вітром  $k$  та випаровування  $E$  [5].

Втрата на разове змочування опадоміра залежить від матеріалу, з якого він виготовлений, та його конструкції. Для розрахункового періоду на  $W$  впливають також кількість замірів опадів та частота їх випадання. Значення  $W$  знаходиться у межах 2-10 %, більш точно визначається спеціальними експериментальними зважуваннями [5].

Більшість синтетичних полімерів відзначаються невеликою змочувальністю, а поліетилен серед них є одним із найбільш гідрофобних. У гідрофільного скла, з якого виготовлено колектори деяких опадомірів (наприклад, Давітая чи М-99), величина крайового кута змочування  $\theta$  становить  $30-40^\circ$ , а для поліетилену він дорівнює  $80-85^\circ$  [3].

Нами здійснено експериментальні 36-кратні визначення втрат на однократне змочування  $W$  шляхом послідовного зважування з точністю до 0,01 г опадомірів сухих, наповнених дощовою водою і після зливання води. Середні абсолютні втрати на змочування за одне вимірювання рідких опадів для цього опадоміра становили 0,003 мм. На рис. 1 представлено величини відносних втрат на змочування нового опадоміра при дощах різної величини. Величину фактичного дощу при цьому визначали шляхом зважування.

Відносна похибка на змочування  $W$  зменшується зі зростанням величини дощу і, відповідно, кількістю одноразово зливої у мірний циліндр води. Для величини дощу до 1 мм  $W$  не перевищує 1 %, а при дощах, більших за 2 мм –  $W \leq 0,25 \%$ .



Рис. 1. Відносні втрати на змочування опадомірів при разовому зливанні, %

Після використання опадомірів упродовж 2-3 місяців усередині окремих з них можливий незначний розвиток водоростей на стінках, що притаманно і скляним опадомірам. Як показали наші спеціальні заміри, це явище може в 1,3-2,8 рази збільшити  $W$ , тому такі опадоміри потрібно замінити.

Недооблік рідких підкранових опадів  $k$  через вітрове поле над приймальним отвором опадоміра, розташованого на відкритій поверхні, становить 2-10 % [5]. Коефіцієнт  $k$  для опадомірів без вітрового захисту визначається за номограмою залежно від швидкості вітру та структури опадів, тобто частки  $N$  (%) у місячній сумі опадів дощів з інтенсивністю, меншою за 0,03 мм/хв [5].

Швидкість вітру всередині деревостану на відстані 200-300 м від узлісся можна розрахувати за формулою Валендика-Белова [2]:

$$V = [2,22 \cdot h/2 - 0,83 \cdot (h/2)^2 + 0,10 \cdot (h/2)^3 - 0,0029 \cdot (h/2)^4] \cdot (0,076V_0 + 0,063), \quad (1)$$

де:  $V$  – швидкість вітру під наметом на певній висоті над землею, м/с;  $h$  – висота над землею, м;  $V_0$  – швидкість вітру на відкритій місцевості на висоті 10 м, м/с. Результати розрахунків для застосованої нами методики, коли приймальна поверхня опадомірів розташована на висоті 1 м над землею, наведено у табл. 1.

Табл. 1. Швидкість вітру в лісі на висоті 1 м над землею та величина коефіцієнта  $k$

№ з/п	Швидкість вітру на відкритій місцевості $V_0$ , м/с	Швидкість вітру в лісі $V_{л}$ , м/с	$k$ , %	
			$N = 40$ %	$N = 60$ %
1	2	0,2	0,3	0,4
2	5	0,4	0,5	0,8
3	10	0,8	1,2	1,5
4	14	1,0	1,6	1,9
5	18	1,3	2,2	2,6

Недооблік рідких опадів при  $V_0 \leq 10$  м/с навіть при значній частці дощів з інтенсивністю  $\leq 0,03$  мм/хв не перевищує 1,5 % і досягає 2,6 % за дуже сильного вітру при  $V_0 = 18$  м/с. Враховуючи незначні вітрові втрати, підкранові опадоміри не прийнято обладнувати вітровим захистом.

Виставлення опадомірів над наметом лісу пов'язано з певними технічними труднощами, а під час широкомасштабних досліджень – і з проблемами збереження метеорологічних щогл. Тому заміри рідких "брутто-опадів" здійснюються на полях з кутом закритості горизонту 30-45°, де вітрове виду-

вання мінімальне й одночасно незначне додаткове надходження опадів завдяки аеродинамічному ефектові над поляною [6]. Для вимірювання опадів на відкритій місцевості ми використовували ті ж пластикові опадоміри без вітрового захисту, що і під лісовим наметом, виставлені на лісових полях із середнім кутом закритості горизонту 36-48°. Зіставлення замірів опадомірами і розташованим від них на відстані 360-510 м пловіографом П-2 з площею приймальної поверхні 500 см<sup>2</sup> показало дуже тісний зв'язок між ними (коефіцієнти парної детермінації  $R^2$  були у межах 0,991-0,997).

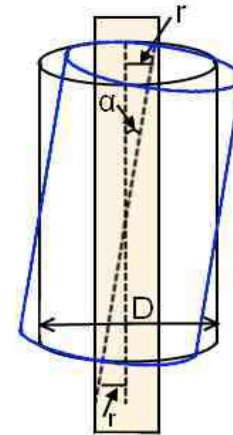


Рис. 2. Схема відхилення опадоміра від вертикальної осі

Для запропонованого нами способу використання опадомірів існує ще одна похибка, а саме: закріплення опадомірів на вбитих у землю вертикальних рейках за допомогою гумових стяжок робить можливим у процесі експозиції відхилення їх від вертикального положення на кут  $\alpha$  навколо осі, розташованої посередині опадоміра на відстані близько 12 см від верху (рис. 2). При цьому приймальна поверхня перетворюється в еліпс, менша вісь  $d$  якого дорівнює  $D \cdot \cos \alpha$ , і, відповідно, площа еліпса  $S_1 = S \cdot \cos \alpha$ .

У робоче положення опадоміри виставляються по вертикальних мітках на рейці та на опадомірі. Перед зливанням води фіксуємо факт відхилення від вертикалі  $r$  (мм) зверху і знизу та вводимо поправку на відхилення.

У процесі експлуатації нами занотовано факти відхилення у 19 % випадків, при цьому значення  $\alpha$  не перевищували 6°, а у 73 % випадків відхилення були менші від 3°. Переважно відхилення спостерігали за наявності в опадомірі води, що відповідала величинам, більшим за 6 мм опадів.

У табл. 2 наведено значення відносного зменшення площі приймальної поверхні опадоміра внаслідок його відхилення, які можна використати для введення поправок. До  $\alpha = 8^\circ$  недооблік опадів не перевищуватиме 1 %. Варто очевидно вважати, що відхилення опадоміра на кут, більший від 6°, спричинене виключно втручанням людини. Такі дані, залежно від величини кута або бракуються, або у них вводиться поправка.

Втрати на випаровування залежать як від конструкції, матеріалу та кольору опадоміра, так і від кількості опадів, дефіциту вологості повітря та швидкості вітру на рівні приймальної поверхні опадоміра [5]. Прозорі опадоміри найменше нагріваються, що зменшує випаровування з них [1], тобто в опадомірів цієї конструкції ця стаття недообліку опадів є невеликою. Згідно з номограмою, наведеною в [5], інтенсивність випаровування з опадомірів під наметом лісу за швидкості вітру там до 2 м/с та дефіциту вологості повітря до 15 гПа становить від 0,01 до 0,04 мм·год<sup>-1</sup>.

Табл. 2. Зменшення площі приймальної поверхні опадомірів внаслідок їх відхилення від вертикалі

Відхилення $\alpha$ , мм	Відхилення $\alpha$ , градуси	Відносне зменшення площі приймальної поверхні, %
2,0	1	0,02
4,0	2	0,06
6,0	3	0,14
8,0	4	0,24
10,1	5	0,38
12,1	6	0,55
14,1	7	0,75
16,2	8	0,97
18,2	9	1,23

Для вимірювання стоку води по стовбуру нами застосовано спіральний лоток, який 1,5 рази охоплює навкруги стовбур дерева і розташований на висоті 1,3 м, як у [23]. Лоток виготовлено з пластикової труби діаметром 6 см. Для запобігання розбризкуванню води під час інтенсивних злив зовнішній край лотка загнутий до стовбура, що досягнуто завдяки зрізанню з труби по всій її довжині дуги, що відповідає центральному куту 130°. До стовбура герметично прикріплено лоток за допомогою силіконового клею. Від кожного лотка поліхлорвініловою трубою відводилась вода до збиральної пластикової ємності, звідки облік здійснювався об'ємним способом. Зафіксовано лише один випадок пошкодження лотків.

За цієї методикою визначали загальні об'ємні показники підкранових "нетто-опадів" за добу, іноді за один зливовий дощ упродовж кількох годин, динаміку інтенсивності опадів під наметом та стоку по стовбуру не вивчали. Подібні дослідження можна виконувати лише на стаціонарах, де забезпечується охорона приладів, що дає змогу використовувати у збиральних ємностях перекидні реєстратори дощу.

**Висновки.** Аналіз систематичних похибок під час використання запропонованих нами пластикових опадомірів з площею приймальної поверхні 58 см<sup>2</sup> та системи обліку стоку по стовбурах показав, що за умов дотримання методики робіт вони забезпечують отримання достовірної метеорологічної інформації на рівні циліндричних опадомірів-колекторів та стовбурових лотків іншої конструкції. Обладнання є дешеве і за потреби легко поновлюється, що робить його широке застосування навіть у рекреаційних лісах.

### Література

1. А.С. 125401 СССР. Полевой дождемер / Давитая Ф. Ф. (СССР), № 576684/26; заявл. 30.08.1953; опубл. 1960, Бюл. № 12.
2. Белов С.В. Лесоводство : учебн. пособ. [для студ. ВУЗов] / С.В. Белов. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1983. – 352 с.
3. Берлин А.А. Основы адгезии полимеров / А.А. Берлин, В.Е. Васин. – М. : Изд-во "Химия" 1974. – 392 с.
4. Кульчицька-Жигайло Н.І. Інтерцепція рідких опадів штучними змішаними деревостанами у вологій буковій суяличині Бескид / Н.І. Кульчицька-Жигайло // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.1. – С. 45-51.

5. Руководство по гидрологической практике. Пятое издание. Сбор и обработка данных, анализ, прогнозирование и другие применения // Всемирная метеорологическая организация, 1994. – 844 с.
6. Федоров С.В. Исследование элементов водного баланса в лесной зоне Европейской территории СССР / С.В. Федоров. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 264 с.
7. Asdak Chay Evaporation of intercepted precipitation based on an energy balance in unlogged and logged forest areas of central Kalimantan, Indonesia / Chay Asdak, Paul G. Jarvis, Paul V. Gardingen // Agricultural and Forest Meteorology. – 1998. – № 92. – Pp. 173-180.
8. Baloutsos George. Interception, throughfall and stemflow of maquis vegetation in Greece / George Baloutsos, Athanassios Bourletsikas, Evangelos Baltas // Wseas transactions on environment and development. – 2010. – Issue 1. – Vol. 6. – Pp. 21-32.
9. Bryant Malcolm L. Measurements and modeling of throughfall variability for five forest communities in the southeastern US / Malcolm L. Bryant, Shirish Bhat, Jennifer M. Jacobs // Journal of Hydrology. – 2005. – 312. – Pp. 95-108.
10. Carlyle-Moses Darryl E. Modelling rainfall interception loss in forest restoration trials in Panama / Darryl E. Carlyle-Moses, Andrew D. Park, Jessie Lee Cameron // Ecohydrology. – 2010. – № 3: – P 272-283.
11. Evaporation and storage of intercepted rain analysed by comparing two models applied to a boreal forest // Harry Lankreijera, Angela Lundberg, Achim Grellea [etc.] // Agricultural and Forest Meteorology. – 1999. – № 99. – Pp. 595-604.
12. Exploring effective rainfall in the Royal Botanic Gardens, Melbourne. [Electronic resource]. – Mode of access [http://www.rbgvic.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0018/7335](http://www.rbgvic.gov.au/_data/assets/pdf_file/0018/7335). – Назва з екрану.
13. Germerl S. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondonia, Brazil) / S. Germerl, H. Elsenbeer, J.M. Moraes. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/2/2707/2005/hessd-2-2707-2005-print.pdf>. – Назва з екрану.
14. Keim Richard F., Skaugset Arne E. A linear system model of dynamic throughfall rates beneath forest canopies / Richard F. Keim, Arne E. Skaugset // Water resources research. – 2004. – Vol. 40. – Pp. 1-12.
15. Murakami Shigeki Application of three canopy interception models to a young stand of Japanese cypress and interpretation in terms of interception mechanism / Sh. Murakami // Journal of Hydrology. – 2007. – № 342. – Pp. 305– 319.
16. Lundberg A. New Approach to the Measurement of Interception Evaporation / A. Lundberg, M. Eriksson, S. Halldin [etc.] // American Meteorological Society. – 1997. – Vol. 10. – Pp. 1023-1035.
17. Taghi Ahmadi Mohammad. Partitioning rainfall into throughfall, stemflow, and interception loss in an oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest during the growing season // Ahmadi Mohammad Taghi, Attarod Pedram, Marvi Mohadjer Mohammad Reza [etc.] // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. – 2009. – № 33. – Pp. 557-568.
18. Silva Israel C. Rainfall partitioning in a mixed white oak forest with dwarf bamboo undergrowth / I.C. Silva, T. Okumura // The Electronic Journal of the International Association for Environmental Hydrology. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.hydroweb.com>. – Назва з екрану.
19. Amori A. Spatial Variation of throughfall in two tree plantations in Abeokuta, South-Western Nigeria / A. Amori, J.O. Awomeso, G.C. Ufoegbune [etc.] // International Journal of Ecosystem. – 2012. – № 2(1). – Pp. 15-18.
20. Sraj M. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia / M. Sraj, M. Brilly, M. Mikos // Agricultural and forest meteorology. – 2008. – № 148. – Pp. 121-134.
21. Tarazona T. Interception, throughfall and stemflow in two forest of the "Sierra de la Demanda" in the province of Burgos / T. Tarazona, S. Regina, R. Calvo // Revista de Ecología de Montaña Pirineos. – 1996. – № 147-148. – Pp. 27-40.
22. Ziegler Alan D. Throughfall in a Thailand n evergreen-dominated forest stand in northern Thailand: Comparison of mobile and stationary methods / Ziegler Alan D., Giambelluca Thomas W., Nullet Mike A. [etc.] // Agricultural and forest meteorology. – 2009. – № 149. – Pp. 373-384.
23. Toba T. An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests / T. Toba, T. Ohta // Journal of Hydrology. – 2005. – 313. – Pp. 208-220.

24. Trough Versus Funnel Collectors for Measuring Throughfall Volumes // Journal of Environmental Quality. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.crops.org/publications/jeq>. – Назва з екрану.

25. Weaver P.L. Cloud moisture interception in the Luquillo mountains of Puerto Rico / P.L. Weaver // Caribbean Journal of Science. – 1972. – № 12 (3-4). – Pp. 129-144.

**Козий Н.И., Копий Л.И., Кульчицкий-Жигайло И.Е. Опыт применения оборудования для измерения перехвата осадков пологом леса**

Приведена методика определения подпологовых осадков в лесу при использовании пластиковых осадкомеров с площадью приёмной поверхности 58 см<sup>2</sup> и лотков для измерения стока воды по стволу. Установлены величины систематических ошибок для осадкомеров на ветровое выдувание, испарение, смачивание и уменьшение приемной площади из-за отклонения от вертикали.

**Ключевые слова:** подпологовые осадки, осадкомеры, ошибки измерений.

**Kozii N.I., Kopii L.I., Kulchytskyi-Zhyhaylo I.Ye. An equipment for measuring the interception by heap of forest**

Method of measuring throughfall during using plastic precipitation gauge with area of receiving surface of 58 cm<sup>2</sup> and spiral type stem-flow collectors are presented. The value of systematic errors for precipitation gauge by windy blowing, evaporation, wetting and reducing of receiving area through the deviation from vertical are set.

**Keywords:** throughfall, precipitation gauge, measurement error.

УДК 330.16      *Зав. лаб. П.П. Мельник, канд. екон. наук, ст. наук. співроб. –  
Лабораторія екологічного менеджменту  
Інституту агроекології і природокористування НААН України, м. Київ.*

**МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ  
БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ**

Розглянуто аспекти еколого-економічної безпеки в агросфері. Обґрунтовано сутність і взаємодію соціально-економічної системи та роль індикаторів у еколого-економічній безпеці. Завдяки цьому можна передбачити різні стани підсистем екологічної, економічної та соціальної і на основі показників СЕС забезпечити їх рівновагу для подолання кризових явищ в агросфері.

**Ключові слова:** безпека, агросфера, соціально-економічна система, рівновага, індикатори.

Потреба у безпеці є однією з найважливіших базових потреб людства. Стаття 3 Конституції України говорить " Людина, її життя і здоров'я, честь і гідність, недоторканість і безпека визначаються в Україні найвищою соціальною цінністю" [1].

Генезис безпеки, як соціального феномена, бере свій початок у біологічній природі людини. Вихідним пунктом розвитку цього поняття може слугувати фундаментальний біологічний інстинкт самозбереження. Незважаючи на те, що безпека не є чимось предметним (матеріальним), це є своєрідна характеристика і необхідна умова життєдіяльності та життєздатності об'єктів реального світу. Тому це цілком конкретна категорія, що має за мету захист та просування життєвих інтересів людини, суспільства та держави [2].

Під час розгляду простих систем (наприклад підприємство як проста економічна система, чи ліс як екосистема) автори цілком правильно виділяли

і їх безпеки (економічну, екологічну). З огляду на те, що в наш час науково-технічна діяльність людини (праця) спричинила трансформацію простих систем у більш складні, нині складно говорити просто про екосистеми. Нині переважна більшість екосистем або створена людиною або контролюється нею. Йдеться про ліси, поля, луки. Практично вже немає ділянок територій не залучених людиною в економічну діяльність.

Окремі аспекти безпеки в агросфері досліджено у працях Б.М. Данилишина, С.І. Дорогунцова, Е.Г. Дегодюка, І.Ф. Бінько, В.О. Косецова, А.С. Лисецького, Л.Г. Мельника, Є.В. Мішеніна, А.М. Царенко та ін.

Метою цього дослідження є забезпечення еколого-економічної безпеки в агросфері.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз нинішнього стану агросфери свідчить про її системне і практичне спрямування до взаємодії зі соціально-економічною системою (СЕС), яка складається з трьох підсистем: екологічної, економічної та соціальної. Вони тісно взаємопов'язані між собою та впливають одна на одну. Стан кожної із підсистем виступає і як умова, і як наслідок розвитку та функціонування двох інших підсистем [3]. Усі підсистеми в системі є рівнозначні, проте координуюча роль належить людині. Наявні підсистеми у системі відображаються у кількісних і якісних змінах показників, що її характеризують. Водночас, вони неповністю відображають систему з питань екологічної чи економічної безпеки. Тому ефективнішим показником обґрунтування системи і її підсистем доцільно вважати інтегрований показник, який всебічно характеризував би стан та умови їх існування. Таким показником є еколого-економічна безпека. Поняття еколого-економічна безпека виникло у зв'язку з трансформацією екологічної, економічної та соціальної системи в єдину СЕС, що характеризує стан показників системи та є умовою її існування та розвитку.

СЕС є динамічною системою і її підсистеми безперервно взаємодіють і змінюються. Рівновага у цій системі – це не стан спокою, а стан рухомого балансу протилежних процесів, які відбуваються одночасно. Це, наприклад лісокористування та лісовідновлення, за яких зберігається цілісність системи і її важливих елементів. Ця властивість органічно впливає із динамічного стану СЕС, за якого відбувається постійний перехід на якісно новий рівень. Рівновага в цьому випадку означає збереження визначеного стану взаємовідношення між соціальною, економічною та екологічною складовими СЕС. Кількісна міра зв'язку між підсистемами в СЕС може бути визначена як умова еколого-економічної рівноваги, що формулюється таким чином: величина дії на середовище не повинна перевищувати границь її місткості [3] чи еластичності [4]. Розуміють, що протяжність такої рівноваги у відкритих системах довготривала, а у закритих умовно обмежена [5]. Відомо також, що кожна система має свої розміри, що відповідають функціям, які вона виконує. Границі ємності СЕС – це межі, в яких вона може витримати навантаження біотичних, абіотичних чи антропогенних факторів. Здатність системи до протидії цим факторам характеризується за допомогою термінів: локальна і глобальна стійкість [6]. Системі, яка повертається до стану рівноваги після нез-