

УДК 630*228(477.82):528.344
DOI: 10.15587/2313-8416.2018.143139

КЛАСИФІКАЦІЯ ЛІСОВИХ МАСИВІВ ВОЛИНИ ЗА ДАНИМИ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ

© О. В. Мельник, П. В. Манько

В статті досліджено питання поєднання сучасних відкритих геоінформаційних систем та даних дистанційного зондування Землі в задачах лісовпорядкування. На основі існуючих планів лісонасаджень розроблено класифікатори за методом нарощування області та окреслення полігонів. Здійснено контрольовану класифікацію дослідних об'єктів та проведено оцінку точності отриманих результатів. Встановлено, що точність визначення окремих класів безпосередньо залежить від відсоткового складу об'єктів та похибок кінцевого користувача в процесі їх визначення

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, космічний знімок, моніторинг лісів, контрольована класифікація, еталон

1. Вступ

Лісові фонди України є складними природними системами, котрі динамічно змінюються завдяки як природним так і антропогенним факторам. Оскільки ліси є джерелом промислової сировини, останнім часом вирубка лісів проводиться не завжди санкціоновано та раціонально. Визначення переважачих порід та їх цінність в тому чи іншому лісовому господарстві наземними методами на особливо великих площах є задачею трудомісткою, тому питання картографування та проведення екологічного моніторингу дистанційними методами досліджень є актуальною та своєчасною. Завдяки дистанційним методам можливо значно вдосконалити існуючі традиційні засоби і методи отримання інформації, які вже не забезпечують оперативний контроль за станом лісів, динамікою лісового фонду, діяльністю із заготівлі лісу та браконьєрських вирубок.

2. Літературний огляд

На сьогодні вдосконалення спостережної системи за лісовим фондом забезпечується впровадженням нових технологій інвентаризації лісів з використанням сучасних лазерних далекомірів, електронних висотомірів, GNSS-систем, електронних мірних вилок тощо. Логічно, що подальшим кроком є використання дистанційних технологій [1], оскільки вони забезпечують спрощення інвентаризаційних робіт, здешевлюють їх, практично унеможливають впливи суб'єктивних факторів [2] та дозволяють охопити моніторингом більші площі за коротший проміжок часу [3].

Розвиток геоінформаційних технологій та техніки космічної зйомки дає значно ширші можливості цільового застосування супутникових даних ДЗЗ щодо інформаційного забезпечення управління лісокористуванням.

В залежності від задач, територіального охоплення, вимог до просторової та тематичної деталістості інформації, на сьогодні виділяють глобальний, континентальний, регіональний та локальний рівні моніторингу. У зв'язку з тим, що лісовий покрив в Україні займає близько 15 % всієї території держави, але за відсутністю великих однорідно вкритих лісис-

тих територій (тисячі квадратних кілометрів) для моніторингу доцільно використовувати регіональний та локальний рівні спостереження з просторовими даними середнього та високого розрізнення 5–50 м [4].

Видовий склад лісової рослинності визначають засобами класифікації багатоспектральних космічних знімків [1, 5, 6] з використанням сучасних програмних засобів, зокрема геоінформаційної системи QGIS [7] та розширення Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) [8], за методом класифікації з навчанням. При цьому вдається суттєво уточнити просторовий розподіл лісів за видовим складом у межах кварталів і виділів, визначених за картами та схемами лісовпорядкування. Для класифікації видового складу лісової рослинності найпридатнішими є багатоспектральні космічні знімки високого розрізнення КА Landsat, Ikonos, QuickBird (США), SPOT (Франція), IRS (Індія), Ресурс (Росія), Січ-2 (Україна) та Sentinel 1, 2, 3 [9]. Вимоги до інформації дистанційного зондування Землі для розв'язання завдань лісового господарства приведені в роботі [9].

На сьогоднішній день, швидкий розвиток як знімальних систем так і програмного забезпечення, зокрема вільного, дозволяє знаходити нові напрямки вирішення важливого завдання лісовпорядкування та моніторингу лісів.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження — порівняння методів створення навчальних вибірок для створення класифікаторів об'єктів лісового фонду.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Розробити класифікатор на основі навчальних вибірок за методом окреслення полігонів.
2. Розробити класифікатор на основі навчальних вибірок за методом нарощування області.
3. Провести контрольовану класифікацію із використанням розроблених класифікаторів за методами окреслення полігонів та нарощування області.
4. Провести порівняльний аналіз результатів класифікації шляхом оцінки точності роботи алгоритму максимальної вірогідності.

4. Класифікація лісових масивів

Створення лісових карт різних масштабів і призначення є складовою частиною геоботанічного картографування. Основна його мета – дати уявлення про географічне розміщення лісів, особливості їхньої формаційно-типологічної структури, про динаміку лісових біогеоценозів, зумовлену господарським впливом і процесами, спричиненими широкомасштабними змінами екологічних умов.

Лісові карти є важливим елементом при інвентаризації лісового фонду, планування розвитку лісового господарства та використання лісових ресурсів, реєстрації поточних змін, обґрунтування ефективної трансформації земельних угідь тощо.

Основою створення лісових карт є легенда, розроблена з урахуванням апробованих і таких, що широко застосовуються у практиці новітніх класифікацій та районування лісової рослинності, що відображають зональні риси її формування та розвитку, а також узагальнення накопиченого великого картографічного та експериментального матеріалу [10].

Для вирішення поставленого завдання нами було використано плани лісонасаджень частини території Осівського та Вербичанського лісництв (рис. 1), що є структурними підрозділами ДП «Турійський лісгосп» масштабом 1:25000 станом на 2012 рік.

Даний картографічний матеріал слугував як основа для вибору ділянок зі характерними видами деревної рослинності, які в подальшому використовувались для створення класифікатора контрольованої класифікації. На основі знімка супутника Sentinel 2A L1C_T35ULS_A011430_20170830T093331 [11] та плану лісонасаджень обирались виділи із основними елементами лісу одного виду. Перевага у виборі надавалась виділам із зімкнутими лісовими культурами. У роботі використано методи окреслення полігонів та нарощування області для формування початкових вибірок. Вибір «тренувальних» ділянок проводився в каналах знімку 8-4-2 (рис. 2) з довжинами хвиль 0.842 μm , 0.665 μm та 0.490 μm відповідно та роздільною здатністю 10 м.

В результаті створений класифікатор повністю відповідає легенді плану лісонасаджень основних елементів лісу без урахування груп віку (табл. 1).

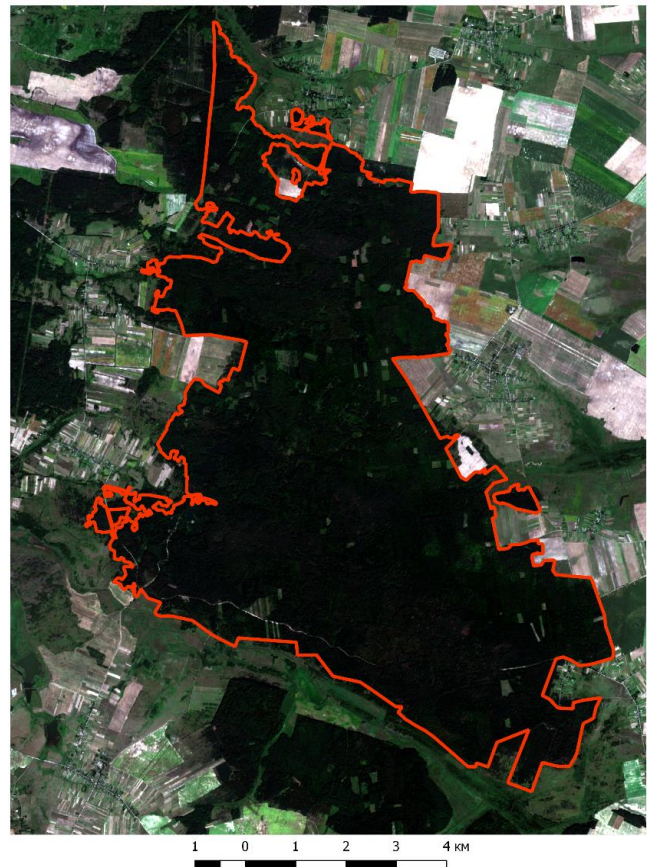


Рис. 1. Територія дослідження в каналах 3-2-1

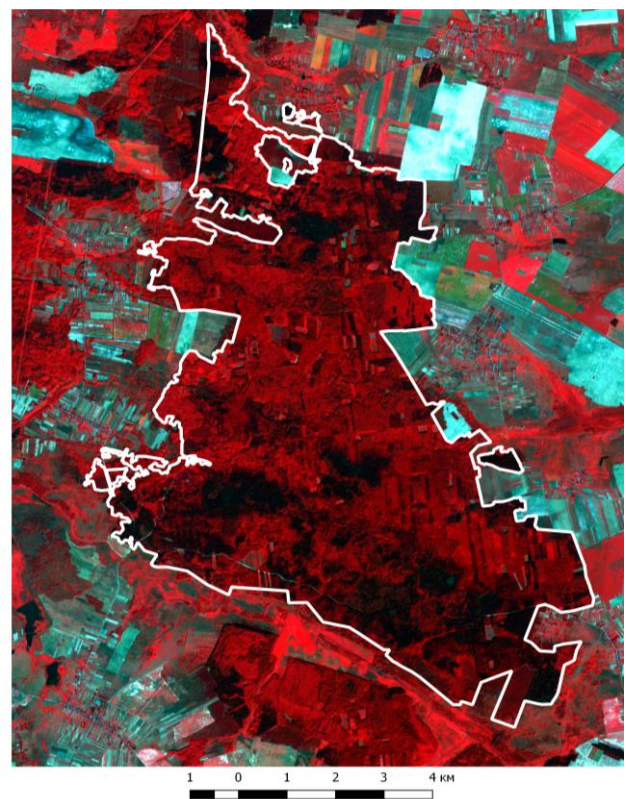


Рис. 2. Територія дослідження в каналах 8-4-2

Таблиця 1

Відповідність класів і кольорів класифікатора

Сосна, модрина	Ялина, ялиця	Дуб високоствовбурний, дуб червоний	Дуб низькоствовбурний	Бук, явір	Граб, ільмові	Береза	Вільха чорна	Осіка, вільха сіра

Алгоритм максимальної вірогідності розраховує розподіл імовірностей для класів за Беєсовою теоремою, оцінюючи належність пікселя до класу земельного покриття. Зокрема, розподіл ймовірностей для класів вважається формою багатоваріантних нормальних моделей [9]. Для того щоб розрахувати цей алгоритм необхідна достатня кількість пікселів для розрахунку матриці коваріації. Функція дискримінанта, розраховується для кожного пікселя як:

$$g_k(x) = \ln p(C_k) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_k| - \frac{1}{2} (x - y_k)^t \Sigma_k^{-1} (x - y_k) \tag{1}$$

де, C_k – тип наземного покриття k ; x – спектральна сигнатура вектору сигналу пікселя зображення; $p(C_k)$ – вірогідність того, що C_k правильний клас; $|\Sigma_k|$ – визначник коваріаційної матриці даних у класі C_k ; Σ_k^{-1} – обернена коваріаційна матриця; y – спектральна сигнатура вектору k .

Тому:

$$x \notin C_k \Leftrightarrow g_k(x) > g_j(x) \forall k \neq j, \tag{2}$$

де, $x_1 \notin g_a(x)$, $x_2 \notin g_a(x)$.

Крім того, можна визначити порогове значення для функції дискримінанта, щоб виключити з класифікації пікселі нижче цієї величини. Враховуючи пороговість T_i , стан класифікації стає таким:

$$x \notin C_k \Leftrightarrow g_k(x) > g_j(x) \forall k \neq j, \tag{3}$$

де, $g_k(x) > T_i$.

Класифікація за алгоритмом максимальної вірогідності є однією з найбільш поширених контрольованих класифікацій, однак процес класифікації може бути повільнішим порівняно з методом мінімальних відстаней [8].

5. Результати дослідження

Результатом процесу класифікації є растрове зображення, в якому відповідні ідентифікатори класів співставленні з окремими пікселями вихідного зображення і відображаються в обраній користувачем кольоровій гамі. На основі запропонованої методики та створених навчальних вибірок було виконано контрольовану класифікацію фрагменту території лісового масиву в межах Осівського та Вербичанського лісництв в середовищі QGIS з використанням розширення Semi-Automatic Classification Plugin. Графічно результати контрольованої класифікації за алгоритмом максимальної вірогідності з використанням навчальної вибірки за методом окреслення полігонів та методом нарощування області представлено на рис. 3 та 4 відповідно.

В процесі класифікації виникає деяка кількість помилок через спектральну подібність класів або помилки оператора підчас визначення областей інтересу. Тому логічно здійснити оцінку точності класифікації земельного покриття для визначення і вимірювання значень похибок отриманого зображення.

Найпоширенішим методом оцінки точності є розрахунок матриці похибок в якій порівнюються дані отриманого зображення з контрольними даними для відповідної кількості класифікаційних одиниць [12]. Відповідно, на основі отриманої матриці похибок розраховується загальна точність класифікації, як відношення вірно класифікованих елементів до загальної кількості елементів вибірки.

В результаті проведеної оцінки точності встановлено, що коефіцієнт k для навчальної вибірки за методом окреслення полігонів становить 71 %, тоді як для навчальної вибірки за методом нарощування області – 80 %. Відповідна матриця похибок класифікації за методом нарощування області представлена в табл. 2.

Оцінка точності також проводилась за кожним класом окремо і представлена для обох методик в табл. 3.

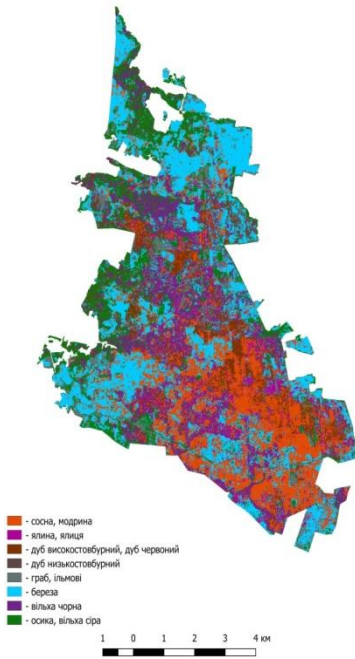


Рис. 3. Результат контрольованої класифікації об'єкта дослідження з використанням навчальної вибірки за методом окреслення полігонів

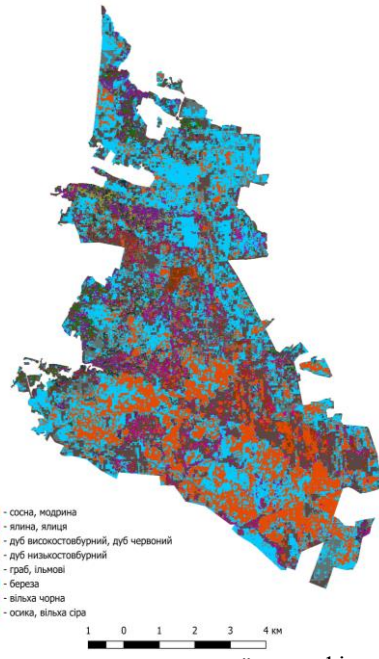


Рис. 4. Результат контрольованої класифікації об'єкта дослідження з використанням навчальної вибірки за методом нарощування області

Таблиця 2

Матриця похибок класифікації за методом нарощування області

Класи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	Сума
1	1022	0	0	0	0	2	0	0	0	0	77	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1104
2	0	203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203
3	0	0	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240
4	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
5	10	0	0	0	162	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	4	2	0	1	1	0	183
6	0	0	0	0	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55
7	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
8	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
9	2	0	0	0	0	0	0	0	143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	0	35
11	41	0	0	0	4	0	0	0	0	4	386	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	3	0	443
12	54	6	3	89	11	0	6	0	0	118	108	55	75	0	6	0	0	28	50	0	6	0	24	0	9	29	32	709
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	34	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43
14	19	0	0	0	5	0	0	0	2	0	4	0	0	120	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	4	0	157
15	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	139
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	499	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	499
18	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	407	6	0	0	0	2	0	1	6	0	428
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	35	109	0	0	0	0	0	0	0	0	145
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	0	0	0	0	0	0	0	77
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	32
22	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	374	2	0	0	0	0	378
23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7	123	2	5	2	0	148
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	41
25	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	146	35	0	190
26	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	118	0	138
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12
Сума	1176	209	243	106	183	57	45	44	145	144	596	55	109	127	127	58	504	497	165	77	40	387	155	43	167	206	44	5709

Таблиця 3

Оцінка точності класифікації

№	Клас	Нарощування області			Окреслення полігонів		
		Точність алгоритму, %	Точність користувача, %	κ	Точність алгоритму, %	Точність користувача, %	κ
1	Сосна, модрина	86,91	92,57	0,91	75,54	83,81	0,81
2		97,13	100,00	1,00	94,38	91,51	0,91
3		98,77	100,00	1,00	72,80	66,61	0,65
4		16,04	94,44	0,94	77,74	70,64	0,70
5	Ялина, ялиця	88,52	88,52	0,88	65,33	49,00	0,48
6		96,49	100,00	1,00	86,41	62,50	0,62
7		86,67	100,00	1,00	63,40	59,14	0,58
8		100,00	100,00	1,00	100,00	98,92	0,99
9	Дуб в/с, дуб червоний	98,62	98,62	0,99	80,31	52,13	0,50
10		15,28	62,86	0,62	69,14	83,23	0,81
11		64,77	87,13	0,86	66,34	85,04	0,82
12	Дуб н/с	100,00	7,76	0,07	68,45	56,51	0,56
13	Граб, ільмові	31,19	79,07	0,79	96,97	90,14	0,90
14		94,49	76,43	0,76	79,67	77,41	0,77
15		95,28	87,05	0,87	59,84	46,87	0,45
16		100,00	96,67	0,97	60,19	57,44	0,56
17	Береза	99,01	100,00	1,00	84,49	92,67	0,92
18		81,89	95,09	0,95	95,84	93,26	0,93
19		66,06	75,17	0,74	58,55	66,01	0,65
20		100,00	100,00	1,00	69,50	67,26	0,66
21	Вільха чорна	80,00	100,00	1,00	71,43	30,21	0,30
22		96,64	98,94	0,99	76,54	47,04	0,46
23		79,35	83,11	0,83	66,45	52,26	0,51
24		95,35	100,00	1,00	78,60	64,31	0,63
25	Осика, вільха сіра	87,43	76,84	0,76	73,43	68,53	0,68
26		57,28	85,51	0,85	42,89	74,56	0,74
27		27,27	100,00	1,00	78,39	83,59	0,83
Середнє значення κ		0,80			0,71		

Тематика даної роботи має перспективу подальших досліджень в розрізі уточнення класифікатора за віковим складом порід та порівнянню методик контрольованої класифікації.

6. Висновки

1. Розроблено класифікатори лісових масивів структурних підрозділів ДП “Турійський лісгосп” Осівського та Вербичанського лісництв на

основі навчальних вибірок за методом окреслення полігонів та нарощування областей.

2. Здійснено контрольовану класифікацію із використанням розроблених класифікаторів за алгоритмом максимальної вірогідності.

3. Проведено порівняльний аналіз точності результатів класифікації, в результаті чого встановлено, що метод створення навчальних вибірок нарощування областей забезпечує точність класифікації у 80 %, а окресленням полігонів – 71 %.

Література

1. Бурштинська Х. В., Станкевич С. А. Аерокосмічні знімальні системи: навч. пос. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. 292 с.
2. Бурштинська Х. В., Поліщук Б. В., Ковальчук О. Ю. Дослідження методів класифікації лісів з використанням космічних знімків високого розрізнення // Геодезія, картографія та аерофотознімання. 2013. № 78. С. 101–110. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/20062>
3. Кохан С. С., Востоков А. Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи: навч. пос. Київ: Вища школа, 2009. 511 с.
4. Манойлов В. П., Омельчук В. В., Опанюк В. В. Дистанційне зондування Землі із космосу: науково технічні основи формування й обробки видової інформації: монографія. Житомир: ЖТДУ, 2008. 384 с.
5. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування: монографія / ред. Лялько В. І., Попов М.О. Київ: Наукова думка, 2006. 360 с.
6. Classification of space images for forest state identification within the Siberia region: Part 1 / Sakhatsky A. I. et. al. Laxenburg, 2002. URL: <http://pure.iiasa.ac.at/6756>
7. QGIS. A Free and Open Source Geographic Information System. URL: <http://www.qgis.org/> (Last accessed: 04.09.2018)
8. Congedo L. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation // ResearchGate. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>

9. Richards J. A., Jia X. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction: monograph. Berlin: Springer, 2006. 438 p. doi: <http://doi.org/10.1007/3-540-29711-1>
10. Гром М. М. Лісова таксація: навч. пос. Львів: ПВБ НЛТУ, 2007. 413 с.
11. ESA Sentinel online. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (Last accessed: 05.09.2018)
12. Congalton R., Green K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices: monograph. Boca Raton: CRC Press, 2009. 200 p.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Уль А. В.
Дата надходження рукопису 05.07.2018*

Мельник Олександр Валентинович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру, Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025
E-mail: hockins@gmail.com

Манько Павло Володимирович, аспірант, кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру, Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025
E-mail: Pavlo_Manko@ukr.net

УДК 624.011

DOI: 10.15587/2313-8416.2018.143020

РОЗРАХУНКОВІ УМОВИ МІЦНОСТІ ДЕРЕВИНИ ПРИ СКЛАДНОМУ НАПРУЖЕНОМУ СТАНІ

© Д. В. Михайловський

В конструкціях з цільної та клеєної деревини, а особливо в зонах їх вузлових з'єднань наявний особливий складний напружений стан, що характеризується одночасним впливом на міцність декількох складових різних напружень. Наведені розрахункові умови міцності деревини з врахуванням складного напруженого стану, отримані з енергетичної теорії міцності. Запропоновано шляхи визначення дійсної роботи деревини з урахуванням анізотропії фізико-механічних властивостей

Ключові слова: *деревина, розрахункова умова міцності, складний напружений стан, напружено-деформований стан*

1. Вступ

Будівельні дерев'яні конструкції в багатьох країнах Європи та і всього світу давно набули широкого застосування [1, 2]. Це стосується не тільки традиційних малоповерхових будівель каркасного типу житлового та іншого призначення, а і офісних будівель, аудиторських корпусів навчальних закладів за вишки до п'яти поверхів, великопрольотних покриттів громадських і спортивних будівель різноманітного призначення.

В останній час широкого розповсюдження набувають конструкції з відносно нового будівельного матеріалу – клеєної деревини. Клеєна деревина ефективно акумулює в собі позитивні властивості деревини як конструкційного матеріалу, насамперед, відносно високу міцність і дозволяє в значній мірі нівелювати недоліки цільної деревини. Завдяки цьому в останні роки застосування конструкцій з клеєної деревини (ККД) в світовій практиці поширюється все більше.

2. Літературний огляд

В різних місцях конструкцій (особливо в криволінійних) під навантаженням та в зонах вузлових з'єднань спостерігається одночасна дія не тільки нормальних напружень вздовж волокон та дотичних

(сколюючих), а й особливо небезпечних для деревини, нормальних напружень поперек волокон (рис. 1). Через особливості будови деревини, міцність її поперек волокон значно менша. Одночасна дія різних напружень в одному перерізі елемента характеризується як складний напружений стан (СНС) матеріалу. Донедавна, врахування СНС не містилось в жодних нормативних документах по проектуванню дерев'яних конструкцій [3, 4], за виключенням [5], в якому наведено перевірку двоскатних балок з клеєної деревини за квадратичним критерієм Норріса, що враховує одночасну дію дотичних і нормальних напружень вздовж та поперек волокон.

Питанню впливу анізотропії фізико-механічних властивостей деревини на її міцність, а відповідно і несучу здатність, присвячено багато наукових робіт. В роботах [6, 7] стверджується, що анізотропія фізико-механічних властивостей не суттєво впливає на величини напружень у головних напрямках пружної симетрії. В [8] наведено огляд запропонованих раніше умов міцності деревини при СНС, і вказані певні недоліки, які призвели до того, що вони досі не набули широкого впровадження. Таким чином, питання одержання умов міцності деревини при СНС з врахуванням анізотропії фізико-механічних властивостей для