Тут $a = 4K_e^{-0,06} - 3$, де $K_e = (1+\mu)^2 \big/ 2\left(K_1^{-1} + \mu^2 K_2^{-1}\right)$ – еквівалентне значення параметра Ерланга (коефіцієнта стабільності технологічних операцій). Або, розділивши чисельник кінцевого виразу (8) на його знаменник, отримаємо математичну модель для розрахунку коефіцієнта використання робочого часу двоверстатної автоматизованої лінії з гнучким агрегатуванням обладнання:

$$\rho_L = \mu\left(1 - \frac{a\mu^{M+2} - a\mu^{M+4}}{1 - \mu^{M+3} + a\mu^{M+3} - a\mu^{M+4}}\right) = \mu\left(1 - \frac{a\mu^{M+2}\left(1-\mu^2\right)}{1 - \mu^{M+3}\left(1 - a + a\mu\right)}\right). \qquad (9)$$

Звідси, підставивши у формулу (9) M = 0, отримаємо аналітичну залежність, яка дає змогу обчислити значення коефіцієнта використання робочого часу для двоверстатної автоматизованої лінії з жорстким агрегатуванням обладнання:

$$\rho_L = \mu\left(1 - \frac{a\mu^2 - a\mu^4}{1 - \mu^3 + a\mu^3 - a\mu^4}\right) = \mu\left(1 - \frac{a\mu^2\left(1-\mu^2\right)}{1 - \mu^3 + a\mu^3\left(1-\mu\right)}\right). \qquad (10)$$

Тоді, накладені втрати робочого часу для двох варіантів структур автоматизованої лінії можна визначити із співвідношення:

$$H_L = 1 - \rho_L. \qquad (11)$$

Висновок. Побудовані аналітичні залежності дають змогу адекватно прогнозувати основні показники спроектованої двоверстатної структури автоматизованої лінії з жорстким чи гнучким міжагрегатним зв'язком, якщо ймовірності інтервалів випуску продукції на її дільницях описуються Ерланговим законом розподілу. Наведена методика удосконалює та розширює можливості математичного моделювання технологічних потоків механічного оброблення заготовок порівняно з наявними методиками, розробленими в теорії технологічних систем машин та теорії автоматичних ліній. Сформульований алгоритм розрахунку автоматизованої лінії доцільно застосовувати як під час проектування нових машинних систем, так і для удосконалення та оптимізації працюючих на виробництві ліній.

Література

1. Дудюк Д.Л. Елементи теорії автоматичних ліній / Д.Л. Дудюк, Л.Д. Загвойська, В.М. Максимів, Л.М. Сорока. – Київ-Львів : Вид-во УкрДЛТУ, 1998. – 190 с.
2. Шаумян Г.А. Комлексная автоматизация производственных процессов : учебник [для студ. машиностроит. ВУЗов] / Г.А. Шаумян. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1973. – 639 с.
3. Іванишин Т.В. Методика розрахунку коефіцієнта використання робочого часу двоверстатних автоматизованих ліній з жорстким агрегатуванням обладнання / Т.В. Іванишин // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.6. – С. 67-71.
4. Іванишин Т.В. Формалізація якісних показників функціонування двоверстатної автоматизованої лінії з гнучким міжагрегатним зв'язком / Т.В. Іванишин, О.А. Валюх // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.14. – С. 370-374.

Иванишин Т.В., Валюх О.А. **Методика расчёта параметров двухстаночной автоматизированной линии со стохастической продолжительностью технологических операций**

Рассмотрена проблема математического моделирования процесса функционирования автоматизированной линии с жёстким или гибким агрегатированием двух машин

и стохастической продолжительностью технологических операций на её участках. Приведены и построены математические зависимости для расчёта коэффициентов использования рабочего времени станков и коэффициента использования рабочего времени и производительности линии в целом, когда интервалы выпуска продукции на её участках описываются вероятностной моделью Эрланга. Предложен способ прогнозирования величины наложенных потерь рабочего времени машинной системы.

Ключевые слова: автоматизированная линия, эффективность работы, жёсткое агрегатирование, гибкое агрегатирование, станок, стохастичность, продолжительность операции.

Ivanyshyn T.V., Valyuh O.A. **The Method of Calculation of Two-Machine Automated Line Parameters with Stochastic Duration of Technological Processes**

The problem of mathematical modelling of automated line functioning process with rigid and flexible aggregation of two machines and stochastic duration of technological processes is examined. Mathematical dependences for calculation coefficients of using machine work time and coefficient of using work time and line productivity generally is shown, when intervals of the output on its machines are described by the probability Erlang's model. The method of evaluation of machine system work time loss is offered.

Key words: automated line, work effectiveness, productivity, using working time coefficient, loss, rigid aggregation, flexible aggregation, machine, stochasticity, duration of the process.

УДК 004.94

Ст. викл. О.Є. Токар[1]; доц. М.М. Король[2], канд. с.-г. наук; ст. наук. співроб. І.М. Шпаківська[3], канд. біол. наук; аспір. В.М. Дичкевич[2]

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАПАСІВ ВУГЛЕЦЮ У ФІТОМАСІ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Розроблено інформаційну технологію для обчислення обсягів вуглецю у різних компонентах фітомаси насадження. Запаси вуглецю у фітомасі насаджень обчислено методом "знизу-вгору" з використанням конверсійного коефіцієнта та на основі прямих підрахунків запасів окремих складових фітомаси й щільності деревини за породами. На основі експериментальних досліджень (54 пробних площ Спаського лісництва ДП "Брошнівське ЛГ" Івано-Франківської області) встановлено, що загальний запас вуглецю вкритих лісовою рослинністю ділянок цього лісництва становить 766468 т, щільність запасів вуглецю – 199 т/га. Найбільші запаси вуглецю акумулюють букові насадження.

Ключові слова: лісові насадження, фітомаса, запаси вуглецю, інформаційна технологія.

Вступ. Ліси відіграють важливу роль у стабілізації CO_2 в атмосфері. Їхня здатність нагромаджувати та зберігати вуглець може пом'якшувати наслідки парникового ефекту. З огляду на те, що Україна є активною учасницею Кіотського протоколу і має певні зобов'язання щодо викидів парникових газів в атмосферу [1], а ліси України мають значний потенціал щодо накопичення його [2, 3]. Отже, розроблення інформаційних технологій та визначення величини депонування вуглецю в лісових насадженнях залишається актуальною.

[1] НУ "Львівська політехніка";
[2] НЛТУ України, м. Львів;
[3] Інститут екології Карпат НАН України, м. Львів

Запас вуглецю у фітомасі визначено у багатьох сучасних наукових досліджень як вітчизняних [2, 4-12], так і зарубіжних вчених [13-15]. Одним із найпоширеніших методів визначення фітомаси та запасів вуглецю у лісових екосистемах є метод, який базується на аналізі модельних дерев насадження, що забезпечує високу точність його визначення [3, 16]. Проте цей метод потребує значної витрати часу. Інший метод оцінювання фітомаси та розрахунку вмісту вуглецю ґрунтується на використанні регресійних рівнянь (залежність фітомаси від деревної породи, середнього віку, класу бонітету, відносної повноти насаджень), який також адекватно описує цю закономірність [17].

Мета роботи – визначити запас органічного вуглецю основних компонентів насадження Спаського лісництва ДП "Брошнівське ЛГ" (надземну та підземну частини деревостану, піднаметову рослинність), відобразити отримані результати на цифровій карті, а також апробувати розроблену інформаційну технологію.

Методи дослідження. Дослідження виконане за матеріалами 54 пробних площ, які закладені у лісових масивах Спаського лісництва ДП "Брошнівське ЛГ" площею 4143,9 га. Запаси органічного вуглецю визначено для таких компонентів фітомаси: надземна та підземна частини деревостану (хвоя/листя, гілки, стовбур, корені), піднаметова рослинність (підріст, підлісок і живе надґрунтове вкриття). За базову одиницю розрахунку запасу вуглецю для насаджень взято пробну площу із врахуванням її лісівничо-таксаційних показників, а саме: породного складу, середнього віку, класу бонітету за Орловим, повноти (абсолютної та відносної), і густоти насадження й підліску тощо. Метод обчислення запасів вуглецю за принципом збирання та агрегації інформації пробних площ, що охоплюють лісові масиви підприємства, має назву "знизу-вгору" і є більш трудомістким, проте дає змогу отримувати достовірніші результати, ніж метод "зверху-вниз" із використанням узагальнених даних для окремих лісогосподарських підприємств [8].

Розрахунки методом конверсійного коефіцієнта здійснені на основі розробленої бази даних статистичної інвентаризації Спаського лісництва, з використанням регресійних співвідношень [3, 18], що пов'язують запас стовбурної деревини, масу абсолютно сухої речовини надземної, підземної частин деревостану, а також піднаметову рослинність із запасами вуглецю:

$$X_g + X_w = GS \cdot R_f \cdot k_1 + GS \cdot (R_{br} + R_{st} + R_{bl}) \cdot k_2 + R_{us} \cdot k_1, \quad (1)$$

де: X_g – запас вуглецю у фітомасі зелених органів деревостанів, т/га; X_w – запас вуглецю у фітомасі деревини та коренів, т/га; GS – запас стовбурної деревини, м^3/га; R_f, R_{br}, R_{st}, R_{bl}, R_{us} – конверсійні коефіцієнти таксаційних показників компонентів фітомаси (відповідно для листя/хвої, гілок, стовбура, коріння та піднаметової рослинності), які враховують відношення фітомаси певної фракції в абсолютно сухому стані до запасу стовбурної деревини деревостану, причому для піднаметової рослинності ці коефіцієнти відображають пряму оцінку фітомаси; k_1, k_2 – конверсійні коефіцієнти, що переводять одиниці абсолютно сухої речовини в одиниці вуглецю і становлять відповідно 0,45 для листя й живого надґрунтового покриву [19], та 0,49 для хвойних порід (0,47 для листяних) [20].

Величини $R_f, R_{br}, R_{st}, R_{bl}, R_{us}$, які залежать від породи ν, віку деревостану A, бонітету B та відносної повноти P пораховано згідно з методикою [10, 12, 21, 22]:

$$R_\nu = a_0^\nu A^{a_1^\nu} B^{a_2^\nu} \exp(a_3^\nu A) \quad (2)$$

$$R_\nu = a_0^\nu A^{a_1^\nu} B^{a_2^\nu} \quad (3)$$

$$R_\nu = a_0^\nu A^{a_1^\nu} B^{a_2^\nu} P^{a_3^\nu} \exp(a_4^\nu A + a_5 P) \quad (4)$$

$$R_\nu = a_0^\nu B^{a_1^\nu} A^{(a_2^\nu + a_3^\nu P + a_4^\nu P^2)}, \quad (5)$$

де: $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ – коефіцієнти регресійних рівнянь для основних лісоутворювальних порід України [10, 12, 21, 22].

Обчислення конверсійних коефіцієнтів R_f, R_{br}, R_{st}, R_{bl}, R_{us} для кожної породи здійснювалось на основі залежностей, що наведено в табл.

Табл. Вибір рівняння для обчислення відповідної фракції фітомаси

Порода	Фракції фітомаси					
	$R_{v\,(f)}$ *(foliage)* листя	$R_{v\,(br)}$ (branches) гілки	$R_{v\,(st)}$ (stemwood) стовбур	$R_{v\,(bl)}$ (belowground) корені	$R_{v\,(us)}$ (understory) підріст, підлісок	$R_{v\,(us)}$ (understory) живе надґрунтове вкриття
Бук лісовий	2	2	2	4	4	4
Береза повисла	3	3	3	3	4	4
Сосна звичайна	2	2	2	2	4	4
Ялиця біла	5	5	5	5	4	4
Дуб звичайний	2	2	2	4	4	4
Осика	3	3	3	4	4	4
Вільха сіра	3	3	2	3	4	4

Обчислення запасів вуглецю у фітомасі лісових насаджень для окремої ділянки потребує використання великого обсягу вхідної інформації і потребує вирішення проблем як відображення вхідних даних, їх оброблення, так і результатів обчислення. Тому запропоновано підхід, який використовує метод обчислень "знизу-вгору" (від одного дерева до лісової ділянки) та базується на застосуванні баз даних пробних площ і геоінформаційних технологій. Розроблена інформаційна технологія включає інтерпретацію вхідних даних статистичної інвентаризації лісових насаджень [23] з використанням електронної карти лісництва, формування баз даних, а також обробку інформації за заданими алгоритмами розрахунку обсягів вуглецю у різних компонентах лісових екосистем та відображення цих результатів на цифрових картах.

Результати дослідження. За результатами даних лісовпорядкування, найбільшу частку в структурі фітомаси насаджень Спаського лісництва становлять букові деревостани – 31,24 % (1204,67 га), ялиці білої – 30,97 % (1194,13 га) та ялини європейської – 27,91 % (1076,28 га), а найменшу частку – по 0,04 %, займають в'яз гірський та осика. У загальній фітомасі насаджень найбільша частка припадає на стовбурну деревину – 60,2 %, значно менше – на кореневу систему (23,5 %) та гілки (12,8 %), і ще менше – на фракції листя (2,9 %) та піднаметової рослинності (0,7 %) (рис. 1).

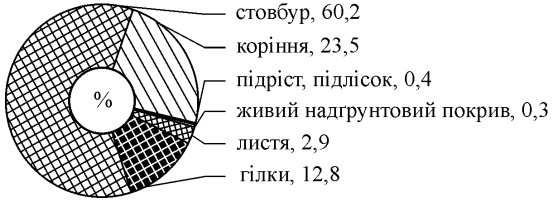

Рис. 1. Розподіл компонентів фітомаси насаджень Спаського лісництва за фракціями

Нижче наведено приклад реалізації розробленої інформаційної технології, створеної засобами Microsoft Access для обчислення запасів вуглецю різних фракцій фітомаси насаджень з використанням рівнянь (2)-(5). Запас фітомаси насадження за фракціями для кожної породи розраховано на основі даних кожної пробної площі. Відповідно запас фітомаси для площі лісництва отримано як сумарні значення за фракціями всіх порід, що зростають на пробних площах. Підсумувавши ці результати і врахувавши площу, яку займає відповідна порода та частку вуглецю в сухій біомасі, отримано запас вуглецю у фітомасі цієї породи для лісництва. Результати можна отримати у вигляді звіту за пробними площами відповідно до складу насадження (рис. 2) і за породами (рис. 3), а також представити результати на цифровій карті (рис. 4).

Встановлено, що для вкритих лісовою рослинністю ділянок лісництва загальною площею 4143,9 га запас органічного вуглецю у фітомасі насаджень становить 766468 т. З них на деревостан припадає 761026 т С, підріст і підлісок – 2234 т С, живе надґрунтове вкриття – 3208 т С. Щільність вуглецю на 1 га вкритих лісовою рослинністю ділянок становить 199 т. Найбільша частка вуглецю припадає на стовбурну деревину – 60 %, а найменша (0,7 %) – на піднаметову рослинність. Найбільші запаси вуглецю зосереджено в насадженнях із переважанням бука лісового. На рис. 5 показано запаси вуглецю, акумульованого різними породами насаджень Спаського лісництва, а на рис. 6 – розподіл запасів вуглецю для різних компонентів насадження у розрізі переважаючих порід лісництва.

запас вуглецю на пробних площах у фітомасі насадження

№ ПП	порода	к-ть дерев	площа, га	запас стовбурної деревини, м3	запас фітомаси насадження, т/га						запас вуглецю у фітомасі, т	щільність запасів вуглецю т/га
					листя	гілки	стовбур	корені	підріст підлісок	живий надґрунтовий покрив		
4		98	0,05	16,9939	10,1952	18,6023	133,3656	42,4447	,4560	,5102	5,00	100
	Горобина звичайна	4	,0020	,4421	,0682	,4054	4,3971	1,0217			,14	
	Ялина європейська	82	,0418	13,5193	8,8116	14,5532	99,6023	33,6752			3,86	
	Ялиця біла	7	,0036	1,0646	,6939	1,1460	7,8431	2,6517			,30	
	Береза повисла	5	,0026	1,9679	,6216	2,4977	21,5232	5,0961			,70	
5		35	0,05	28,7773	4,9240	87,6073	326,5752	140,6539	3,3804	4,5147	13,34	267
	Береза повисла	1	,0014	,6332	,2445	,9697	6,8789	1,7766			,23	
	Бук лісовий	26	,0371	27,1472	3,9495	85,5984	311,6442	36,2161			12,81	
	Ялина європейська	1	,0014	,8460	,6195	,8820	6,8337	2,2586			,26	
	Ялиця біла	7	,0100	,1508	,1105	,1572	1,2184	,4027			,05	

Рис. 2. Запас і щільність вуглецю у фітомасі насаджень Спаського лісництва

запас вуглецю у фітомасі деревостану по породах

порода дерев	№ ПП	к-ть дерев	площа, га	запас стовбурної деревини, м3	запас фітомаси деревостану, т/га				запас вуглецю у фітомасі, т	щільність запасів вуглецю, т/га
	к-ть				листя	гілки	стовбур	корені		
Береза повисла	5	16	,014	5,3618	2,1212	7,5196	59,1597	13,5889	1,94	8
	4	5	,003	1,9679	,6216	2,4977	21,5232	5,0961	,70	14
	5	1	,001	,6332	,2445	,9697	6,8789	1,7766	,23	5
	25	1	,001	,5012	,1665	,6667	5,4727	1,3242	,18	4
	37	1	,001	1,8911	,5830	1,8933	21,3326	3,9830	,65	13
	44	8	,008	,3684	,5057	1,4923	3,9523	1,4091	,17	3
Бук лісовий	26	427	,469	321,7977	60,5258	1002,4291	3727,6	1602,45	150,24	116
	5	26	,037	27,1472	3,9495	85,5984	311,6442	136,2161	12,63	253
	6	33	,033	41,7462	6,5288	114,0852	487,5039	176,8135	18,45	369
	11	11	,008	23,539	3,2497	86,9460	265,0139	124,1053	11,26	225
	12	24	,026	19,5973	4,3112	38,3633	238,1163	79,5028	8,47	169
	13	7	,013	5,6861	,8893	15,5391	66,4009	35,7131	2,79	56
	17	31	,035	17,9884	3,9658	37,4154	216,1429	84,6749	8,04	161
	18	11	,020	12,3993	1,7118	45,7992	139,5973	65,3731	5,93	119

Рис. 3. Запас вуглецю у фітомасі деревостану Спаського лісництва

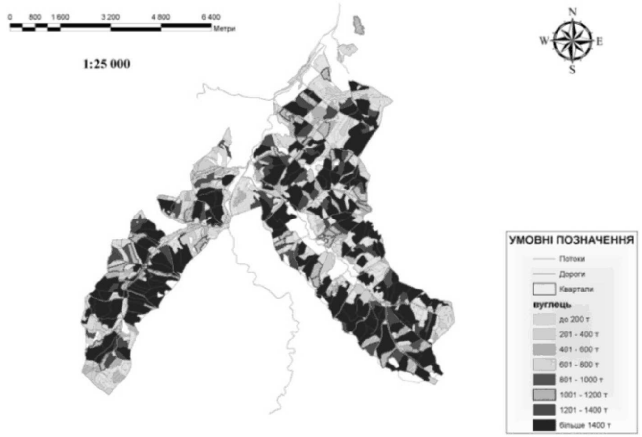

Рис. 4. Розподіл запасів вуглецю насаджень на території Спаського лісництва

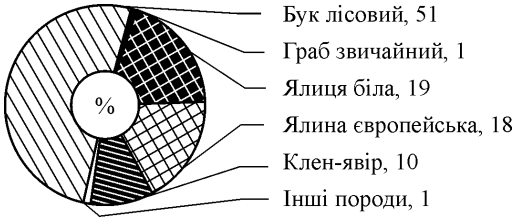

Рис. 5. Розподіл запасів вуглецю насаджень за різними породами Спаського лісництва

Запаси вуглецю у стовбурній деревині Спаського лісництва, що визначені двома методами – конверсійних коефіцієнтів та методом прямих розрахунків **[**22**]**, наведено на рис. 7.

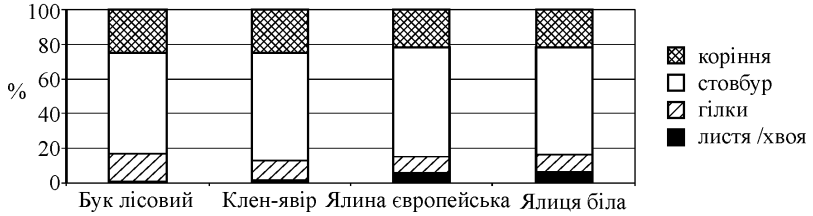

Рис. 6. Розподіл запасів вуглецю різних фракцій фітомаси деревостанів для переважаючих порід Спаського лісництва

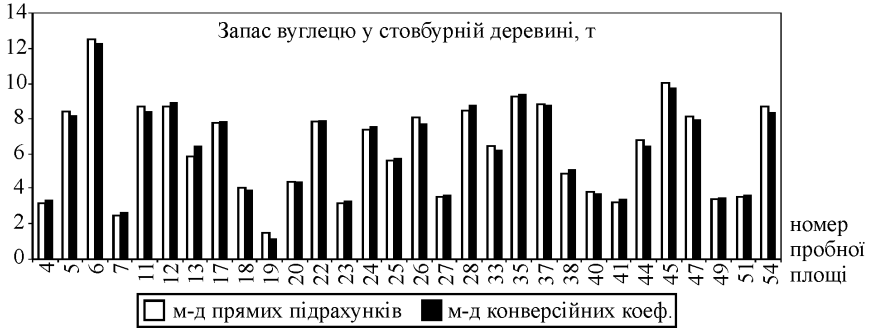

Рис. 7. Запас вуглецю стовбурної деревини на пробних площах Спаського лісництва

Відхилення між запасами вуглецю стовбурної деревини, які розраховані двома методами, в середньому становить 0,2 %. Це свідчить про те, що запропонований метод конверсійного коефіцієнта дає змогу достовірно встановити запас вуглецю стовбурної деревини, а запропоновані рівняння адекватно описують залежність запасу вуглецю стовбурної деревини за лісівничо-таксаційними показниками насаджень. Точність розрахунку обсягів вуглецю залежить від точності встановлення лісівничо-таксаційних показників самого насадження.

Висновки. Встановлення обсягів запасу вуглецю різних фракцій фітомаси лісових насаджень потребує великої кількості достовірних вхідних даних. Для отримання точних та об'єктивних показників доцільно використовувати підхід, який базується на результатах статистичної інвентаризації лісових масивів. Запропонована модель розрахунку, яка використовує метод обчислень "знизу-вгору" та ґрунтується на застосуванні баз даних пробних площ і геоінформаційних технологій, дає змогу достовірніше розрахувати запас фітомаси та вуглецю різних компонентів насадження. У цьому підході застосовано різні методи обчислення, математичні моделі, статистичну інформацію та інші параметри, які необхідні для розрахунку запасу вуглецю у фітомасі лісових насаджень. На прикладі пробних площ Спаського лісництва ДП "Брошнівське ЛГ" здійснено розрахунок запасів вуглецю у фітомасі насаджень як за породами, так і для пробних площ, таксаційних виділів (підвиділів), а також лісництва загалом за допомогою розробленої інформаційної технології. Щільність запасів вуглецю у насадженнях Спаського лісництва становить 199 т/га. Найбільші запаси вуглецю зосереджено на пробних площах, де ростуть мішані насадження і переважаючою породою є бук лісовий – це 18,74 т, що відповідно становить

375 т/га. Розроблена інформаційна технологія дає змогу оцінити запаси вуглецю у фітомасі лісів різних регіонів України.

Література

1. Doha amendment to the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change – United Nations, 2012. – 6 p. [Electronic resource]. – Mode of access http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/application/pdf/kp_doha_amendment_english.pdf

2. Лакида П.И. Динамика запасов углерода в лесах Украины / П.И. Лакида // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. – Гомель, 2001. – Вып. 56. – С. 86-90.

3. Лакида П.І. Фітомаса лісів України / П.І. Лакида. – Тернопіль : Вид-во "Збруч", 2002. – 256 с.

4. Шпаківська І.М. Оцінка запасів вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів / І.М. Шпаківська, О.Г. Марискевич // Науковий вісник УкрНДІЛГА. – Сер.: Лісівництво і агролісомеліорація. – Харків : Вид-во УкрНДІЛГА. – 2009. – Вип. 115. – С. 176-180.

5. Василишин Р.Д. Фітомаса та депонований вуглець лісів Львівської області в контексті лісорослинного районування / Р.Д. Василишин Г.С. Домашовець // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18.3. – С. 50-58.

6. Альошкіна У.М. Акумуляція вуглецю лісовими екосистемами (на прикладі модельних ділянок у заказнику "Лісники", м. Київ) / У.М. Альошкіна, А.А. Жовтенко, І.Г. Вишенська та ін. // Наукові записки НаУКМА. – Т. 119: Біологія та екологія. – 2011. – С. 52-55.

7. Пастернак В.П. Оцінка запасів вуглецю у соснових насадженнях свіжого субору / В.П. Пастернак // Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. – Сер.: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство. – 2009. – № 1. – С. 208-211.

8. Букша І.Ф. Інвентаризація та моніторинг парникових газів у лісовому господарстві / І.Ф. Букша, В.П. Пастернак. – Харків : Вид-во ХНАУ, 2005. – 125 с.

9. Василишин Р.Д. Динаміка біопродуктивності повних ялицевих насаджень Українських Карпат / Р.Д. Василишин // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.8. – С. 23-27.

10. Василишин Р.Д. Біопродуктивність та депонований вуглець штучних модальних букових деревостанів Українських Карпат / Р.Д. Василишин, Г.С. Домашовець, О.М. Василишин // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.11. – С. 14-19.

11. Лакида П.І. Динаміка депонованого вуглецю в лісостанах України / П.І. Лакида // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Сер.: Стан і тенденції розвитку лісівничої освіти, науки та лісового господарства в Україні. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.5. – С. 140-143.

12. Бунь Р.А. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України / Р.А. Бунь, М.І. Густі, В.С. Дачук та ін. / за ред. Р.А. Буня. – Львів : Вид-во Української академії друкарства, 2004. – 376 с.

13. Liski J. Carbon accumulation in Finland's forests 1922-2004 – an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil / J. Liski, A. Lehtonen, T. Palosuo **[**et al**]** // Annals of Forest Science. – 2006. – Vol. 63. – No. 7. – Pp. 687-697.

14. Ciais P. Carbon accumulation in European forests / P. Ciais, M.J. Schelhaas, S. Zaehle **[**et al**]** // Nature Geoscience. – 2008. – Vol. 1. – No. 7. – Pp. 425-429.

15. Sierra CA. Total carbon accumulation in a tropical forest landscape / CA Sierra, Del Valle JI, Restrepo HI // Carbon Balance Manag. 2012 Dec 19;7(1):12. doi: 10.1186/1750-0680-7-12.

16. Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев / В.А. Усольцев. – Красноярск : Изд-во "Наука", 1985. – 192 с.

17. Keeton W.S. Structural characteristics and aboveground biomass of old-growth spruce-fir stands in the eastern Carpathian mountains, Ukraine // W.S. Keeton, M. Chernyavskyy, G. Gratzer, M. Main-Knorn, M. Shpylchak, Y. Bihun – Plant Biosystems. – 2010. – № 144. – Pp. 1-12.

18. Lakida P. Estimation of forest phytomass for selected countries of the former European U.S.S.R. / P. Lakida, S. Nilsson, A. Shvidenko // Biomass and Bioenergy. – 1996. – Vol. 11. – No. 5. – Pp. 371-382.

19. Matthews G. The Carbon Contents of Trees / G. Matthews // Forestry Commission. Tech. Paper 4. – Edinburgh, 1993. – 21 p.

20. Україна та глобальний парниковий ефект. – Ч. І. Джерела та поглиначі парникових газів / Н.П. Іваненко, М.М. Калетник, М.А. Козелькевич, Н.В. Парасюк, М.В. Рапцун / за ред.

В.В. Васильченка та М.В. Рапцуна. – К. : Изд-во "Арена-Еко", 1997. – 96 с.

21. Колосок О.М. Первинна-нетто продукція надземної частини дерев смереки та депонований у ній вуглець / О.М. Колосок // Науковий вісник НАУ : зб. наук. праць. – Сер.: Лісівництво. – К. : Вид-во НАУ. – 2000. – Вип. 29. – С. 280-284.

22. Лакида П.І. Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України / П.І. Лакида та ін. – К. : Вид. дім " ЕКО-інформ", 2011. – 192 с.

23. Токар О.Є. Автоматизація збирання та оброблення даних при дослідженні лісових масивів / О.Є. Токар, М.І. Густі, М.М. Король // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2007. – № 598. – С. 171-175.

Токар О.Е., Король М.М., Шпакивская И.М., Дычкэвыч В.М. **Определение запасов углерода в фитомассе лесных насаждений с использованием информационных технологий**

Разработана информационная технология для вычисления объемов углерода в различных компонентах фитомассы насаждения. Запасы углерода в фитомассе насаждений вычислены методом "снизу-вверх" с использованием конверсионного коэффициента и на основе прямых подсчетов запасов отдельных составляющих фитомассы и плотности древесины по породам. На основе экспериментальных исследований (54 пробных площадей Спасского лесничества ГП "Брошневском ЛГ" Ивано-Франковской области) установлено, что общий запас углерода для лесопокрытой территории данного лесничества составляет 766468 т, плотность запасов углерода – 199 т/га. Наибольшие запасы углерода аккумулируют буковые насаждения.

Ключевые слова: лесные насаждения, фитомасса, запасы углерода, информационная технология.

Tokar O.Ye., Korol M.M., Shpakivska I.M., Dychkevych V.M. **The Estimation of Carbon Stocks in the Phytomass of Forest Plantations with the Use of Information Technology**

An information technology for calculation of carbon stocks in various components of phytomass of forest plantations is developed. Bottom-up estimation of the carbon stocks is applied. Two ways of the calculations are used: 1) a method of conversion coefficients and 2) the method based on direct calculation of amount of different phytomass components and wood density for tree species. The information technology is tested using measurements from 54 sample plots of the forestry "Spaske" of the state enterprise "Broshnivske LG" (Ivano-Frankivsk Region). The estimation of total carbon stocks of the forestry area covered by forest is 766468 ton, and carbon density of carbon stocks – 199 t/ha. Beech forest stand is assumed to accumulate the largest carbon stocks.

Key words: forest plantations, phytomass, carbon stocks, information technology.

УДК 539.001.5

Ст. викл. А.Р. Міляніч – Львівська філія Дніпропетровського НУзалізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна

ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ ПРИ ПРУЖНОМУ КОНТАКТУВАННІ МІЖ ЕЛЕМЕНТАМИ ГОЛКОФРЕЗИ І ПОВЕРХНЕЮ ЗАСТИГЛОГО ПЕКУ

Розроблено наближений критерій оптимальності в задачі з вимоги жорсткості двох пружних тіл. Контактну задачу досліджено згідно з припущенням про неістотний вплив контакту на загальну потенціальну енергію системи. Поставлено та досліджено актуальну задачу встановлення жорсткості при контактуванні робочих елементів інструменту – голкофрези із поверхнею застиглого пеку про визначення такого закону розподілення заданої кількості матеріалу, при якому жорсткість конструктивної взаємодії буде максимальною.

Побудовано математичну модель, яка дає змогу оцінювати довговічність робочих інструментів, що використовуються під час очищення затверділих органічних вантажів залізничних цистерн.

Ключові слова: поверхня, взаємодія, деформація, жорсткість, енергія.

Пек – тверда або в'язка маса чорного кольору, яка залишається від перегонки кам'яного вугілля, торф'яного або деревного дьогтю, сірки, смоли тощо. Його застосовують для виготовлення покрівельного гідроізоляційного матеріалу, графітових електродів тощо. Транспортування рідкого пеку здійснюється у більшості випадків залізничними цистернами, а вивантаження проводиться способом сифовування.

На цей час для органічних матеріалів (до яких і відноситься пек), яким властиві міцнісні та пружинисті характеристики, ще недостатньо розроблені, створені і впроваджені надійні методи, які дають змогу визначати умови руйнування таких матеріалів при складному напруженому стані. Потреби проектувальників задовольняли методи розрахунку умов пластичного руйнування при комбінованих навантаженнях.

Задачу про встановлення жорсткості при контактуванні робочих елементів інструменту – голкофрези із поверхнею застиглого пеку – можна сформулювати як задачу про визначення такого закону розподілення заданої кількості матеріалу, при якій жорсткість конструктивної взаємодії буде максимальною. Для лінійно-пружної конструкції із звичайними двосторонніми граничними умовами задача про найбільшу жорсткість є еквівалентною до задачі про мінімізацію піддатливості. Величина потенціальної енергії цієї конструкції приймається як мірило її жорсткості, а можлива робота зовнішніх сил – за мірило піддатливості. Наведений далі метод розрахунку є метою визначення єдиного розподільного параметра, від якого лінійно залежить жорсткість конструкції робочих елементів інструменту – поверхня застиглого пеку.

Поставлена задача є цікавою у випадку двосторонніх граничних умов, коли вона приймає форму, яка полегшує її вирішення. Мінімізація потенціальної енергії відносно переміщення приводить до встановлення дійсної (реальної) поведінки цієї конструкції, а максимізація потенціальної енергії відносно розрахункового параметра є метою задачі проектування. У такому випадку спряжені рівняння мають точно таку ж форму, як і рівняння рівноваги, завдяки чому вони автоматично розв'язуються при рішенні рівнянь рівноваги. Узагальнені методи розв'язку таких задач наведені у роботі **[**1**]**; розроблений в ній критерій оптимальності приводить до емпіричного правила, яке свідчить про те, що найбільшу жорсткість конструкція матиме в тому випадку, коли питома енергія деформації є сталою по всьому об'єму.

Контактна задача. Спершу ніж показувати методи розрахунку контактуючих тіл, розглянемо загальну контактну задачу. Ми обмежуємося при цьому випадку контакту тіл, які підлягають малим деформаціям під впливом квазістатичних навантажень.

Припускаємо, що зовнішні поверхневі зусилля прикладені лише до тіла 1 – інструменту оброблення (рис.) у точках, які не належать областям контакту. Тоді потенціальну енергію системи можна представити в такому вигляді: