

$$\sqrt{\left[ c - R(1 - \cos \theta) - l_6 \cdot \sin \delta_n \cdot \cos \lambda + p \cdot \sin \lambda + l_4 \cdot \sin (\beta - \beta') \right]^2 + \left[ n + l_6(1 - \cos \delta_n \cdot \cos \eta - \sin \delta_n \cdot \sin \lambda \cdot \sin \eta) - p \cdot \cos \lambda \cdot \sin \eta \right]^2 - l_5 = 0, \quad (19)}$$

$$+ \left\{ \begin{array}{l} p \cdot \cos \lambda \cdot \cos \eta - R \cdot \sin \theta - l_6 \cdot \cos \delta_n \cdot \sin \eta \\ - \sin \delta_n \cdot \sin \lambda \cdot \cos \eta - l_4 [1 - \cos(\beta - \beta')] \end{array} \right\}^2$$

де  $l_5$  – довжина ланки  $EB$  за початкового положення ланок кермового привода, коли  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\delta_i = 0^\circ$ ,  $\theta = 0^\circ$ .

Кут  $\beta$  визначаємо за формулою

$$\beta = \arcsin \frac{l_1 [b \cdot \sin \gamma - d(1 - \cos \gamma)] + l_3 [b \sin \beta' + (d + l_1) \cos \beta']}{l_3 \cdot \sqrt{(b + l_1 \cdot \sin \gamma)^2 + (d + l_1 \cdot \cos \gamma)^2}} - \arctg \frac{d + l_1 \cos \gamma}{b + l_1 \sin \gamma}. \quad (20)$$

**Висновки:**

1. Отримано узагальнені математичні залежності між кутом повороту сошки та кутом повороту лівого керованого колеса передньої залежної підвіски автобуса вагонної компоновки з включенням до цих залежностей таких параметрів, як кут початкового положення сошки, положення центра кульового пальця важеля поворотного кулака, кутів поздовжнього та поперечного нахилів осей шворнів, ходів стиску й відбою підвіски керованих коліс.
2. Від узагальнених можна перейти до часткових залежностей між кутом повороту сошки та кутом повороту лівого керованого колеса, включивши до них досліджуваний параметр і привівнявши до нуля інший.

**Література**

1. Тимофеев С.А. Теоретические основы выбора кинематических характеристик рулевого управления и подвески : дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.03 / Тимофеев Сергей Анатольевич. – М., 1983. – 135 с.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М. : Изд-во "Наука", 1988. – 640 с.
3. Литвинов А.С. Исследование кинематики рулевого управления с учетом кинематики передней подвески / А.С. Литвинов, Ю.М. Немцов, С.А. Тимофеев // Автомобильная промышленность : сб. науч. тр. – 1980. – № 1. – С. 11-13.
4. Родионов В.Ф. Проектирование легковых автомобилей / В.Ф. Родионов, Б.Н. Фиттерман. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1980. – 479 с.
5. Черных В.В. О двух методах к расчету кинематики механизмов / В.В. Черных, О.М. Макеев // Теория Механизмов и Машин : сб. науч. тр. – 2004. – № 2. – С. 70-74.
6. Говорухин В.Н. Введение в Maple / В.Н. Говорухин, В.Г. Цибулин. – М. : Изд-во "Мир", 1997. – 208 с.
7. Матросов А.В. Maple 6. Решение задач высшей математики и механики / А.В. Матросов. – СПб. : Изд-во ВHV-Санкт-Петербург, 2001. – 528 с.
8. Прохоров Г.В. Пакет символьных вычислений Maple V / Г.В. Прохоров, М.А. Леденев, В.В. Колбеев. – М. : Изд-во "Петит", 2001. – 209 с.

**Попович В.В. Математическое описание кинематики рулевого привода и подвески автобуса А074**

Появление моделей автобусов малого класса со смещенным вперед на 600-700 мм силовым агрегатом привела к значительному удлинению продольной тяги рулевого привода, кинематика которого часто не является согласованной с кинематикой подвески. Это несогласование имеет значительное влияние на стойкость движения и управляемость колесного транспортного средства. Получены математические зависимости, ко-

торые позволяют оптимизировать геометрические параметры рулевого привода и подвески. Они учитывают положение рулевого пальца рычага поворотного кулака, продольного и поперечного наклонов осей шкворней и деформацию рессор для рулевых приводов с неразрезной и разрезной продольными тягами.

**Ключевые слова:** рулевой привод, неразрезная и разрезная продольные тяги, зависимая передняя подвеска.

**Popovych V.V. The Mathematical Description of Kinematics of the Steering Gear and Suspension of Bus A074**

The emergence of models of compact buses with power-plant displaced forward on 600-700 mm has led to considerable lengthening of drag link of the steering gear which kinematics often is not matched with kinematics of suspension link. This mismatch has considerable influence on the stability of movement and controllability of wheeled vehicle. Mathematical relations which allow optimizing geometrical parameters of a steering gear and a suspension link are received. They take into account the position of ball pin of the steering knuckle arm, longitudinal and lateral tilt of kingpins and deformation of bow springs for steering gears with unsplit and split drag link.

**Keywords:** steering gear, unsplit and split drag link, dependent front suspension.

УДК 004.94:630\* *Аспір. О.В. Турковська; доц. М.І. Густі, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка", Міжнародний інститут прикладного системного аналізу, м. Лаксенбург*

**АЛГОРИТМ ЛІСОКОРИСТУВАННЯ ДЛЯ ГЛОБАЛЬНОЇ ГЕОПРОСТОРОВОЇ МОДЕЛІ G4M З ВРАХУВАННЯМ СОРТИМЕНТНОЇ СТРУКТУРИ**

Стандартний алгоритм лісокористування у глобальній геопросторовій моделі лісу G4M побудовано таким чином, що об'єм рубок передусім залежить від попиту на деревину. Проте попит на деревину не є розподіленим відповідно до сортиментної структури. Розроблено новий алгоритм на основі вже існуючого, який складається з двох блоків та почергово обчислює потенціал лісозаготівлі за двома групами сортиментів (пилівник і фанерний кряж та інші сортименти деревини), виходячи з попиту на них. Удосконалений алгоритм перевірено на прикладі України.

**Ключові слова:** алгоритм лісокористування, сортиментна структура, глобальна модель лісу G4M.

**Вступ.** Глобальна модель лісу (Global forest model – G4M) – це геопросторова розподілена обчислювальна модель, що прогнозує темпи заліснення та знеліснення, режими лісокористування та емісії двоокису вуглецю, а також їх реакцію на заходи з адаптації та пом'якшення зміни клімату у вигляді податку на вуглець чи заохочувальних виплат [4, 5]. G4M широко використовують як інструмент для оцінювання заходів для боротьби зі зміною клімату та їх впливу на лісові екосистеми, зокрема, в рамках низки проектів Європейської Комісії [2, 6], проекту Всесвітнього фонду дикої природи "Живі ліси" [4], Огляді Еліаша [1] тощо.

Прийняття управлінських рішень стосовно боротьби зі зміною клімату, враховуючи результати моделювання, ставить високі вимоги до самої моделі. Однією з них є її адекватність, тобто наскільки наближено до реальності представлено досліджувані процеси та явища.

На основі аналізу G4M [9] можна стверджувати, що процеси росту лісу, заліснення, знеліснення та лісокористування є представленими реалістично, однак деякі аспекти лісокористування можуть бути покращеними.

Стандартний алгоритм лісокористування у G4M побудовано таким чином, що об'єм рубок передусім залежить від попиту на деревину [3, 4]. Це цілком пояснюється економічним характером цього зв'язку. Проте попит на деревину не є розподіленим відповідно до сортиментної структури.

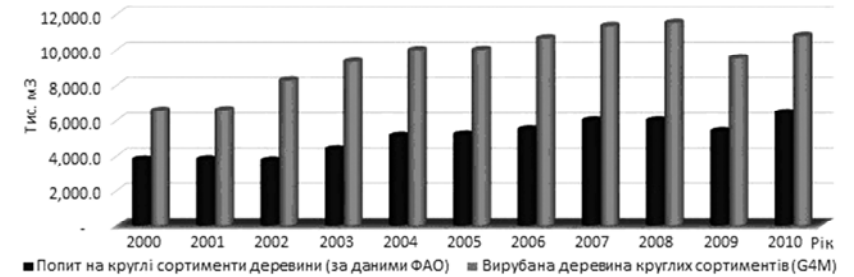
Критерії, на основі яких вирубану деревину можна зарахувати до певного сортименту, є стандартизованими. Потреба в тих чи інших сортиментах визначає, дерева якого діаметра, висоти та якісних характеристик вирубуватимуть. Саме тому відсутність даних щодо потреби у певних сортиментах означає, що вирубуватимуться деревостани з невідповідними характеристиками. Якщо це відбувається в обчислювальній моделі, то означає, що адекватність представлення лісозаготівлі є недостатньою, а також ймовірно існують неточності у відстеженні обсягів наявної фітомаси та обчисленні емісії вуглекислого газу. На прикладі України покажемо неточності стандартного алгоритму G4M та порівняємо із результатами вдосконаленого алгоритму.

Стандартна версія G4M використовує як вхідні дані сумарний попит на всі сортименти деревини в Україні, обчислений на основі статистичних даних Продовольчої та сільськогосподарської організації (ФАО) [3]. Якщо порівняти результати моделювання лісозаготівлі зі заданим попитом на деревину протягом 2000-2010 рр., то чітко видно, що ці два показники практично збігаються і відносна похибка не перевищує -1,88 % (табл. 1).

**Табл. 1. Порівняння попиту на деревину та об'єму вирубанної деревини (стандартна версія G4M)**

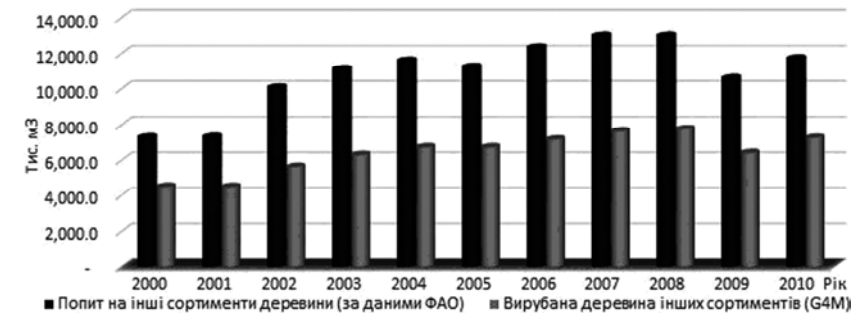
Рік	Попит на деревину (за даними ФАО), м <sup>3</sup>	Вирубана деревина (G4M), м <sup>3</sup>	Відносна похибка, %
2000	11 091 746,25	11 080 798,82	0,10
2001	11 125 125,00	11 113 539,39	0,10
2002	13 815 112,50	13 899 926,40	-0,61
2003	15 473 137,50	15 620 424,18	-0,95
2004	16 719 525,00	16 732 846,57	-0,08
2005	16 432 087,50	16 741 725,27	-1,88
2006	17 829 675,00	17 840 201,09	-0,06
2007	18 994 837,50	19 000 564,63	-0,03
2008	18 994 837,50	19 300 531,91	-1,61
2009	15 999 075,00	15 938 427,22	0,38
2010	18 163 800,00	18 077 458,41	0,48

В алгоритмі лісокористування відслідковується об'єм заготовленої стовбурової деревини, тому можливо оцінити, який обсяг деревини може задовольнити попит на пиловник та фанерний кряж (ПФК) й інші сортименти деревини (рис. 1, 2). На рис. 1 зображено попит на ПФК в Україні, використовуючи дані ФАО за 2000-2010 рр. [3], а також лісозаготівлю ПФК за результатами G4M протягом відповідного періоду. Результати моделювання істотно перевищують реальний попит на ПФК в Україні протягом заданого періоду.



**Рис. 1. Порівняння попиту на ПФК та результатів лісозаготівлі (стандартна версія G4M)**

Сумарний попит на інші сортименти деревини та об'єми їх заготівлі за результатами G4M також не збігаються (рис. 2). Протягом заданого періоду заготівля інших сортиментів деревини істотно перевищує існуючий попит.



**Рис. 2. Порівняння попиту та вирубанної деревини інших сортиментів (стандартна версія G4M)**

Отже, детальніше проаналізувавши результати моделювання, стає зрозуміло, що прогнозовані об'єми заготівлі деревини не відповідають наявній сортиментній структурі заготівлі деревини в Україні. Невідповідне представлення лісозаготівлі зменшує достовірність результатів моделювання щодо об'єму фітомаси в лісах, емісії вуглекислого газу та наявної деревини для майбутньої заготівлі. Для усунення таких неточностей було змінено існуючий алгоритм лісокористування на такий, що враховує сортиментну структуру під час моделювання заготівлі деревини у G4M.

Сортиментну структуру було агреговано до двох категорій: пиловник і фанерний кряж (ПФК) та інші сортименти деревини. Частка ПФК у розрахунковій лісосіці є доволі високою – 51 % [8], також відповідно до державних стандартів вимоги до ПФК стосовно мінімального діаметра та висоти є доволі суворими, тоді як, наприклад до балансів чи технічної сировини, більш гнучкими. Тобто деревина, яка підходить для ПФК, може бути використана і для балансів, але не навпаки. Тому в удосконаленому алгоритмі сортимент, який є найбільш затребуваний і не може бути заміщений іншим, виділено в одну категорію, а інші сортименти в другу категорію.

**Алгоритм лісокористування.** Моделювання лісокористування відбувається в окремому модулі G4M. Оскільки дані в G4M є просторово розподіле-

ними (географічна сітка роздільної здатності  $0,5 \times 0,5^\circ$ ), то кожен елемент сітки перевіряється та обробляється відповідно до визначених критеріїв. Варто зазначити, що попередньо елементи сітки є посортованими залежно від середнього щорічного приросту, густоти населення, обсягу фітомаси та площі лісу. Також кожному елементу сітки, де площа лісу більша від нуля, присвоюється один із шести типів лісокористування, який визначається на основі чистої поточної вартості та середнього щорічного приросту. Насамперед перевіряється чи ліси належать до категорії "захищені", якщо так, то обробляється наступний елемент сітки, якщо ж ні, тоді проводиться наступна перевірка. "Незахищені" ліси поділено на експлуатаційні (типи лісокористування 3, 2, 1) та такі, що не експлуатуються (типи лісокористування 0, -1, -2). Спочатку обробляються експлуатаційні ліси. В елементі сітки встановлюють вік рубки. Після цього визначається допустимий об'єм рубок в елементі сітки. Таким чином перевіряються всі елементи сітки, що містять експлуатаційні ліси та обчислюється сумарний допустимий об'єм рубок у межах країни. Якщо кількість зрубаної деревини не задовольняє попит, то вік рубки поступово зменшують. Якщо ж досягнуто нижню межу віку рубки (вік деревостану, за якого поточний приріст дорівнює середньому приросту), а попит все ще не задоволено, тоді частина лісів, що не експлуатуються, переходить у категорію експлуатаційних лісів. За умови, коли сумарний допустимий обсяг рубок перевищує попит, то вік рубки зростає, а також ліс переходить у категорію неексплуатаційного доти, доки обсяг рубок і попит не буде врівноважено [3, 4]. Модель задовольняє попит, насамперед використовуючи продуктивні великі лісові масиви, розміщені ближче до населених пунктів. Спрощену блок-схему удосконаленого алгоритму представлено на рис. 3. Штрих-пунктирною лінією виділено оновлену частину алгоритму.

У вдосконаленому алгоритмі лісокористування попит розділено між ПФК та іншими сортиментами деревини. Умовно можна виділити два блоки в алгоритмі. Перший блок відповідає стандартному алгоритму G4M, за винятком того, що тепер визначають не допустимий об'єм рубок деревини, а допустимий об'єм заготівлі ПФК, що своєю чергою порівнюється з попитом у країні на ПФК. У другому блоці алгоритму визначається допустимий обсяг заготівлі інших сортиментів деревини. Спочатку перевіряється чи допустимий об'єм заготівлі є достатнім для задоволення попиту. Якщо він не є достатнім, то додатково проводять рубки в експлуатаційних лісах. При цьому перевіряють чи попит на ПФК є задоволено. Якщо так, тоді всю деревину, яка потенційно може бути вирубана, зараховують як деревину інших сортиментів. Тоді знову проводять перевірку чи задоволено попит на інші сортименти деревини, якщо ж ні, тоді ліс з неексплуатаційної категорії переводять в експлуатаційну доти, поки попит на ПФК та інші сортименти деревини не буде задоволено. Спрощену блок-схему удосконаленого алгоритму представлено на рис. 4.

**Результати.** Тестування удосконаленого алгоритму проводили на прикладі України з використанням вхідних даних щодо попиту на сортименти деревини, обчислених на основі статистичної інформації ФАО [3]. Застосувавши удосконалений алгоритм лісокористування, перевірено наскільки змінилися сумарні обсяги заготовленої деревини порівняно з попитом (табл. 2).

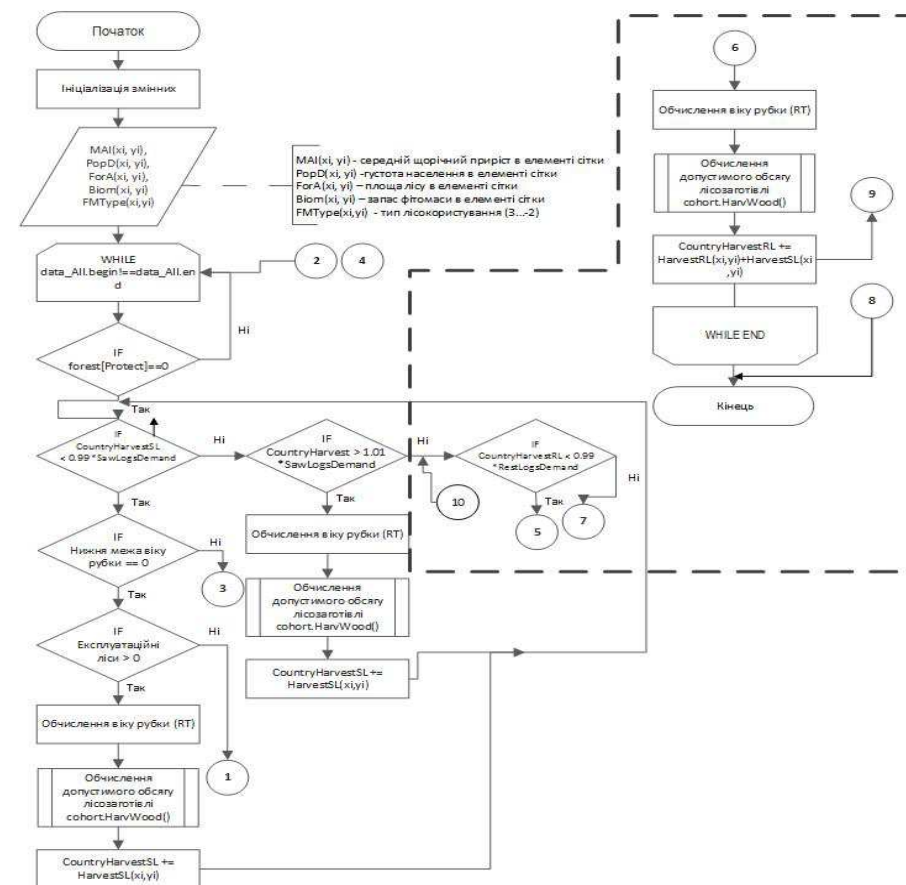


Рис. 3. Блок-схема алгоритму лісокористування у G4M

Табл. 2. Порівняння попиту на деревину та об'єму вирубаної деревини (удосконалений алгоритм лісокористування)

Рік	Попит на деревину (за даними ФАО), м <sup>3</sup>	Вирубана деревина (G4M-U), м <sup>3</sup>	Відносна похибка, %
2000	11 091 746,25	11 196 215,75	-0,94
2001	11 125 125,00	11 185 243,00	-0,54
2002	13 815 112,50	14 201 285,75	-2,80
2003	15 473 137,50	15 553 861,50	-0,52
2004	16 719 525,00	16 768 090,50	-0,29
2005	16 432 087,50	16 584 369,50	-0,93
2006	17 829 675,00	17 975 721,50	-0,82
2007	18 994 837,50	19 116 694,00	-0,64
2008	18 994 837,50	18 973 313,00	0,11
2009	15 999 075,00	16 162 744,00	-1,02
2010	18 163 800,00	18 294 193,50	-0,72

Сумарна заготівля всіх сортиментів деревини відповідає існуючому попиту на деревину в Україні протягом 2000-2010 рр. Відносна похибка не перевищує -2,8 %. Порівняно з попередніми результатами, обсяги заготовленої деревини при удосконаленому алгоритмі є вищими. Це пояснюється відсутністю верхньої межі для заготівлі деревини інших сортиментів. Обсяги лісозаготівлі ПФК та інших сортиментів деревини було порівняно з відповідним попитом в Україні на 2000-2010 рр. (рис. 4, 5).

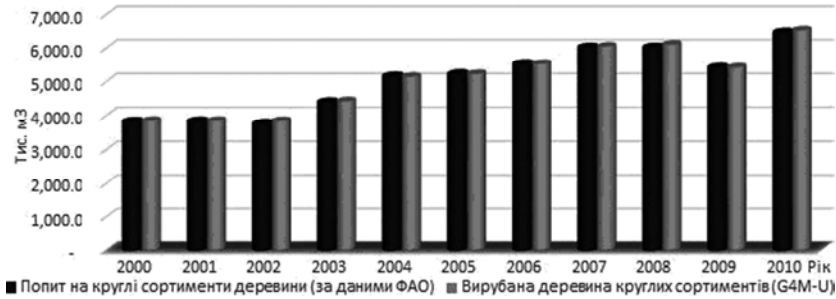


Рис. 4. Порівняння попиту на ПФК та результатів лісозаготівлі G4M (вдосконалений алгоритм лісокористування)

На рис. 4 можна спостерігати, що попит та змодельована заготівля ПФК після застосування вдосконаленого алгоритму лісокористування збігаються. Порівняно з попереднім алгоритмом, де різниця між попитом та заготівлею становила близько 47 %, результат моделювання обсягів лісозаготівлі ПФК покращився і тепер різниця становить 0,86 %.

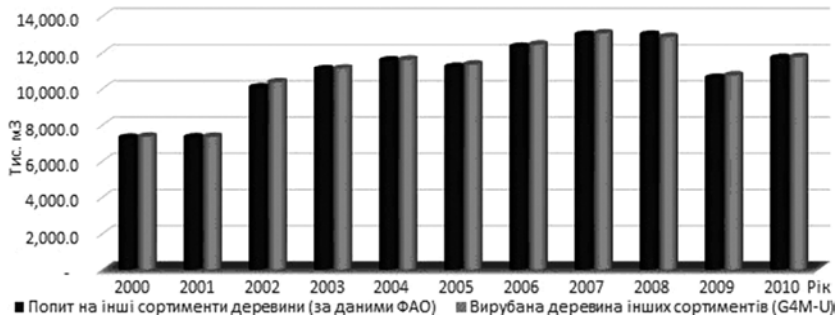


Рис. 5. Порівняння попиту та вирубанної деревини інших сортиментів (вдосконалений алгоритм лісокористування)

На рис. 5 можна спостерігати, що попит та змодельована заготівля інших сортиментів деревини із застосуванням вдосконаленого алгоритму лісокористування збігаються. Порівняно з попереднім алгоритмом, де різниця між попитом та заготівлею становила близько 41 %, результат моделювання об'ємів лісозаготівлі інших сортиментів деревини покращився і тепер різниця становить 0,75 %.

**Висновки.** Удосконалений алгоритм лісокористування для глобальної геопросторової моделі G4M дає змогу врахувати сортиментну структуру при

відтворенні процесів лісозаготівлі, що в умовах України покращує адекватність моделювання заготівлі сортиментів деревини, тепер різниця з попитом є меншою ніж 1 %. У запропонованому алгоритмі враховано агрегований розподіл сортиментів, а саме ПФК та інші сортименти деревини. Алгоритм розроблено таким чином, що додаткове виділення сортиментів є простим для технічної реалізації. Варто зауважити, що цей алгоритм мінімально втручається в модулі G4M, що запобігає непотрібній зміні існуючої логіки у програмі.

### Література

1. Eliasch review. Climate change: financing global forests – Richmond: The Stationery Office Limited, 2008. – 273 p.
2. Elzen M. Enhanced policy scenarios for major emitting countries / M. Elzen, H. Fekete, A. Admiraal et al. – Hague : PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2015. – 48 p.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Statistics Division. [Electronic resource]. – Mode of access <http://faostat3.fao.org/home/E>.
4. Gusti M. An approach to modeling landuse change and forest management on a global scale / M. Gusti, G. Kindermann // SIMULTECH-2011: Proceedings of 1st Intern. Conf. on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, 29-31 July 2011. – Noordwijkerhout, 2011. – P. 180-185.
5. Gusti M.I. An algorithm for simulation of forest management decisions in the Global Forest Model / M.I. Gusti // Штучний інтелект. – 2010. – № 4. – С. 45-49.
6. Bottcher H. Projection of the future EU forest CO<sub>2</sub> sink as affected by recent bioenergy policies using two advanced forest management models / H. Bottcher, P.J. Verkerk, M.I. Gusti et al. // GCB Bioenergy. – 2012. – Vol. 4. – Pp. 773-783.
7. WWF living forest report: Forests for a living planet. – Gland : World Wide Fund for Nature, 2011. – 37 p.
8. Інформація про сортиментну структуру лісосічного фонду на 2015 рік // Державне агентство лісових ресурсів України. – 2015. [Електронний ресурс]. – Доступний з [http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art\\_id=131806&cat\\_id=32888](http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=131806&cat_id=32888).
9. Турковська О.В. Адаптація глобальної комп'ютерної моделі лісу G4M для України / О.В. Турковська, М.І. Густі // Вісник Вінницького політехнічного ін-ту. – 2015. – № 3. – С. 62-69.

### Турковская О.В., Густі М.І. Алгоритм лесопользования для глобальной геопространственной модели G4M с учетом сортиментной структуры

Стандартный алгоритм лесопользования в глобальной геопространственной модели леса G4M построен таким образом, что объем рубок в первую очередь зависит от спроса на древесину. Однако спрос на древесину не является распределенным в соответствии с сортиментной структурой. Разработан новый алгоритм на основе уже существующего, который состоит из двух блоков и поочередно вычисляет потенциал лесозаготовки по двум группам сортиментов (пиловочник и другие сортименты древесины), исходя из спроса на них. Усовершенствованный алгоритм проверен для украинской версии G4M.

**Ключевые слова:** алгоритм лесопользования, сортиментная структура, глобальная модель леса G4M.

### Turkovska O.V. Gusti M.I. Forest Management Algorithm Considering Assortment Structure for Geospatial Global Forest Model G4M

Standard algorithm of forest management in a geospatial global forest model G4M is designed in a way that harvesting levels primary depend on wood demand. However, wood demand is not distinguished with respect to assortment structure. A new algorithm based on the existing one, which consists of two blocks and calculates step by step potential harvesting levels for two groups of assortments (saw logs and other logs) considering their demand was developed. Improved algorithm was tested for Ukrainian version of G4M.

**Keywords:** forest management algorithm, assortment structure, global forest model G4M.