2. Бородулин А.Н. Аналитический инструментарий внутрифирменного управления // А.Н. Бородулин. – М. : Изд-во "Экономика", 2012. – 367 с.
3. Власов М.П. Оптимальное управление экономическими системами : учебн. пособ. / М.П. Власов, П.Д. Шимко. – М. : Изд-во ИНФРА-М, 2014. – 312 с.
4. Р50.1.028-2001. Методология функционального моделирования. – М. : Изд-во "Госстандарт России", 2000. [Электронный ресурс]. – Доступный с http://www.cals.ru
5. Шулов Л.В. Управление развитием предприятий: Бухгалтерский и финансовый аспекты / Л.В. Шулов. – М. : Кн. дом "Либроком", 2012. – 200 с.
6. Королёв М.И. Экономическая безопасность фирмы: теория, практика, выбор стратегии / М.И. Королёв. – М. : Изд-во "Экономика", 2011. – 284 с.
7. Integration Definition For Function Modeling (IDEF0). Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, 1993, December 2. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.idef.com

Кайдрович Х.И. **Финансовое равновесие предприятия: обзор основных моделей и инструментария**

Осуществлен обзор моделей проектирования системы финансового равновесия предприятия для обеспечения экономической безопасности предприятия. С этой целью подано определение понятия стойкости, которое зависит от специфики конкретной системы; охарактеризованы разнообразные критерии для оценки стойкости; проанализированы статичный и динамический подходы для моделирования системы финансового равновесия предприятия. Проведенное исследование дало возможность оценить существующие модели финансового равновесия предприятия и осуществить выбор эффективного инструментария его моделирования.

Ключевые слова: финансовое равновесие предприятия, экономическая безопасность, методы системного анализа, моделирование, критерии оценки стойкости.

Kaydrovich Kh.I. **The Financial Equilibrium of an Enterprise: the Review of Basic Models and Tools**

The review of models for the design of an enterprise financial equilibrium system is carried out for providing economic security of the enterprise. The definition of a firmness concept that depends on the certain system peculiarities is given. Various criteria for the estimation of firmness are described. Static and dynamic approaches for the design of the enterprise financial equilibrium system are analyzed. The conducted research enabled to estimate the existent models of the enterprise financial equilibrium. The choice of effective tools of its design is provided.

Key words: enterprise financial equilibrium, economic security, methods of system analysis, design, criteria of firmness estimation.

УДК 004.942:519.85:630*228.3 ***Аспір. І.Л. Лотиш*[1] *– НЛТУ України, м. Львів***

МАТЕМАТИЧНІ ТА ПРОГРАМНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ ДВОВИДОВОГО ЛІСУ

Розглянуто математичне моделювання еволюції двовидового середньоширотного лісу та створено програмне забезпечення для моделювання системи. Моделювання здійснено шляхом чисельного аналізу динамічної системи рівнянь методом Рунге-Кутта. Послідовно описано побудову моделі, що враховує як міжвидову конкуренцію, так і низку інших факторів: освітлення, заболочення, вікова структура, кількість опадів, зовнішні впливи. Наведено результати моделювання, отриманих на створеному програмному комплексі. Показано можливості використання створеної моделі локального рівня для інформаційного забезпечення розробки та підтримки прийняття рішень в лісовому господарстві.

[1] Наук. керівник: проф. Я.І. Соколовський, д-р техн. наук

Ключові слова: лісове господарство, прогнозування, інформаційні системи, моделювання.

Актуалізація проблеми. Серед головних принципів сучасної лісової політики – стабільний розвиток багатофункціонального лісового господарства. Лісовий сектор повинен бути не лише економічно прибутковим, а й скерованим на багатоцільове використання лісів з урахуванням їх глобального екологічного значення, збереження біорізноманіття, екосистемних функцій, врахування регіональних умов. Ці завдання повинні бути враховані як під час коротко-, так і довгострокового планування управління лісами.

Із цього випливає необхідність створення об'єктивного інформаційного інструменту для сталого лісокористування у кожному лісовому господарстві, що має володіти можливостями довгострокової динаміки розвитку лісового фонду з урахуванням:

- антропогенних дій (головне і побічне промислове лісокористування, лісогосподарські заходи, забруднення атмосфери і води), стихійних природних явищ (пожежі, вітровали, масові спалахи кількості шкідників лісу);
- процесів взаємозв'язку навколишнього середовища і лісу, формування середовища (клімат, гідрологія водозборів, біологічний круговорот і т. ін.), природоохоронних функцій (біорізноманіття і очищення навколишнього середовища) **[**2**]**.

Головна вимога для такого роду моделей – використовувати для своєї роботи стандартну інформацію, яку отримують у лісовому господарстві (дані щодо породного та вікового складу лісу), легко налаштовуватись на конкретні фізико-географічні умови та мати дружній інтерфейс. Таким чином, знаходження оптимальної структури інформаційних і прогнозних засобів для підтримки прийняття рішень у сфері управління лісовим господарством є актуальним питанням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання моделювання еволюції лісу для застосування у сфері лісового господарства було головним у низці робіт зарубіжних вчених, зокрема М. Шмідта, К. Рейніха, Р. Даніелса, Х. Бурхафта, Т. Кохаями, Дж. Канаделла та ін. **[**7-9**]**. У країнах СНД ці питання жосліджували Л.Г. Ханина, В.І. Кузнецов, Д.В. Кирьянов, Н.І. Козлов, Ю.В. Бархатов **[**2, 4, 5**]**. У цих роботах дослідження акцентовано на описах методик побудови адекватних моделей, що детально відтворюють динаміку об'єкту. Зокрема, описано конкретні відносини між видами, боротьбу за ресурси, враховано вікову структуру лісу, родючість ґрунту. Проте побудова таких моделей для застосування у практиці лісового господарства обтяжена їхньою складністю і потребою у зборі великого обсягу даних.

Виклад основного матеріалу. Суть застосованого підходу в побудові математичної моделі полягає у такому:

- моделювання націлене на практичне застосування (для аналізу та прогнозу);
- можливість застосування моделі як основи для більш складної просторово-розподіленої моделі, з урахуванням локально-екологічної спрямованості;
- завдання, оскільки стосується певної території, ставиться в загальному випадку, у вигляді інтегро-диференціальних рівнянь із відповідними граничними умовами. При цьому необхідна постійна корекція початкових умов відповідно до реальних змін, що відбуваються у системі;

- особлива увага приділяється побудові сценаріїв розвитку екосистеми при тому чи іншому зовнішньому впливі (антропогенному чи природному);
- моделювання націлено на короткостроковий і середньостроковий прогноз. Тут потрібно відзначити, що система з даним набором параметрів існує невеликий період часу і параметри, що визначають поведінку моделі безперервно міняються.

Локально-екологічна модель повинна бути реальною з точки зору екологічних взаємодій і не має суперечити дослідним даним. Це означає, що вона повинна, по-перше, правильно описувати основні взаємодії і, по-друге, передбачати якісні зміни біоценозу за певного значення певного параметра (наприклад, вимирання популяції в разі збільшення середнього віку вище від певної критичної позначки). Водночас модель повинна бути відносно простою і не перевантаженою великою кількістю параметрів (як внутрішніх, так і зовнішніх).

Виходячи з описаних вище підходів, розглянемо реалізацію моделі розвитку двовидового лісу. Будемо використовувати дворівневу систему трофічних взаємодій типу "ресурс-споживач": ґрунт – конкуруючий між собою двовидовий ліс. Ця система є узагальненням класичної моделі Вольтерри хижака (u) і жертви (P), що описується системою**[1]**:

$$\begin{cases} P = A \cdot P - V(P) \cdot u \\ \dot{u} = u(kV(p) - D, \end{cases} \quad (1)$$

де $V(P)$ – монотонно зростаюча функція P (трофічна функція), що дорівнює біомасі жертв, що споживаються "хижаком" в одиницю часу, причому на відновлення "хижаком" тратиться частина біомаси отриманої від "жертви".

Популяцію будемо характеризувати вектором щільності біомаси $\vec{u} = \{u_i(t)\}$, $i = л$ (листяні породи), $i = x$ (хвойні). Стан ґрунту будемо описувати третьою змінною – узагальненим показником родючості $P(t)$, що буде характеризувати кількість перегною, структуру мікрофлори, дисперсність ґрунту та інші фактори. Система в такому випадку набуде такого вигляду **[2]**:

$$\begin{cases} P = \sum_i (A_i - V_i)u_i + B(P^0 - P) - W, \\ \dot{u}_i = (k_i C_i V_i - D_i)u_i \end{cases} i = \{x,л\}. \quad (2)$$

де: P – узагальнений показник родючості – щільність ресурсу (кг/м^2); $u_л$ – щільність біомаси листяних порід (кг/м^2); u_x – щільність біомаси листяних порід (кг/м^2); A_i – коефіцієнт відновлення ґрунту за рахунок опаду і –тої породи; B – коефіцієнт самовідновлення ґрунту ($1/рік$); P^0 – асимптотичне значення родючості за відсутністю лісу ($кг/м^2$); – швидкість споживання ресурсу (трофічна функція) ($1/рік$); – корегуючий множник, що описує конкуренцію; – коефіцієнт росту i-тої породи; D_i – коефіцієнт природної смертності дерев ($1/рік$); W – вплив зовнішніх факторів, найчастіше негативний, тому з від'ємним знаком, ($кг/год \cdot м^2$); t^0 – середній час дозрівання лісу (років).

Рішення системи рівнянь (2) будемо знаходити за допомогою числових методів (методом Рунге-Кутта).

Коефіцієнти $A_i,...D_i$, що входять у систему (2), можуть залежати як від щільності біомаси, так і від родючості. Будемо вважати, що ці коефіцієнти є комбінацією експериментально встановленої константи (що визначає розвиток популяції у нормальних умовах) і певної корегуючої функції, що виражає ступінь відхилення від цих нормальних умов. Важливо, щоб виражені таким чином коефіцієнти правильно (з практичної точки зору) описували еволюцію лісу і залежності від введених параметрів (віку, освітленості, заболоченості і т. ін.).

Швидкість споживання лісом ресурсу визначається відношенням **[2]**:

$$V(P) = Trof(P) = \begin{cases} V^0 \cdot P, \text{якщо } P < P^0, \\ V^0 \cdot P^0, \text{якщо } P \geq P^0. \end{cases} \quad (3)$$

Коефіцієнт природної смертності залежить від середнього віку популяції **[6]**:

$$D_i = D_i^0 Age(t). \quad (4)$$

Врахуємо, що збільшення узагальненого показника родючості відбувається завдяки переробці щорічного опаду (A_i^0) і відмерлої біомаси, тобто рівний сумі**[6]**:

$$A_i = A_i^0 + A_i^1 D_i^0 Age(t) \quad (5)$$

Ступінь впливу (недостатнього чи надлишкового) освітлення, заболоченості і кількості опадів на і-ту породу врахуємо у вигляді відповідної поправочної функції, що входить у коефіцієнт приросту **[5]**:

$$C_i = C_i^0 \text{Sun}_i(\vec{u}) Bog_i(\vec{u}, N^{btot}) - Rain_i(\vec{u}, N), \vec{u} = (u_л, u_x). \quad (6)$$

Функція $\text{Sun}_i(\vec{u})$ відображає той факт, що листяні породи успішно розвиваються за доброго освітлення, водночас хвойні породи не люблять надлишкового освітлення. Поправочна функція $\text{Sun}_i(\vec{u})$ повинна залежати від $u = u_л + u_x$, як для листяних так і для хвойних порід. Вид функції підбирається дослідним шляхом (7):

$$C_x = \begin{cases} 0,667 + u, 0 < u < 1,333 \\ 3,333 - u, 1,33 < u < 3,333, \\ 0,3,333 < u; \end{cases} \; C_л = \begin{cases} 2, 0 < u < 1 \\ 3 - u, 1 < u < 3 \\ 0,3 < u; \end{cases} \quad (7)$$

Баланс вологи будемо враховувати за допомогою функцій $Rain_i(\vec{u}, N)$ та Bog_i. В Україні кількість опадів зменшується із заходу на південь, від 600-700 мм до 300 мм. Щонайбільша кількість опадів випадає у горах: у Карпатах – 1600 мм і більше, у Кримських горах – до 1200 мм **[3]**. Ця кількість вологи лише частково засвоюється лісом на транспірацію і дедукцію, решта іде на випаровування, частково виноситься у вигляді поверхневих і ґрунтових стоків. Якщо суми транспірації, дедукції і стоків менше величини опадів, що випали, (наприклад, якщо дана ділянка лісу обмежена водовідштовхувальними пластами, що виходять на поверхню і стік опадів утруднений) і така ситуація повторюється з року в рік, то починається заболочення ґрунту. Якщо ж мінімальна величина транспірації плюс оптимальна величина дедукції більші від кількості опадів, то дерева починають відчувати засуху, і їх розвиток сповільнюється. У разі значного дефіциту води розпочинається засихання лісів.

Функція $Rain_i(\vec{u}, N)$ дає змогу враховувати негативний вплив засухи до річного приросту біомаси. Ця функція описує загальну кількість опадів за рік $N(t)$ і враховує необхідні затрати даної породи на випаровування та внутрішнє споживання води. Вважається, що листяним породам для нормального життя без росту необхідно більше вологи, ніж хвойним.

Якщо припустити, що за рік випало N мм опадів, а дефіцит води на рік для всієї популяції становить M мм опадів, то з врахуванням інтенсивності поглинання лісом вологи (Π_i), отримаємо **[2]**:

$$\Pi_i = p_i \cdot u_i, \text{ де } \frac{DT_i^{\min}}{u^0} < p_i < \frac{DT_i^{\max}}{u^0}; \quad (8)$$

$$M = \Pi\text{-}N, \text{ де } \Pi = \sum_i \Pi_i^{\min}, \quad (9)$$

де: $DT_i^{\min}$, $DT_i^{\max}$ – споживання води всією популяцію, причому сталий розвиток забезпечується виконанням умови:

$$N \in \left[DT_i^{\min}\left(\frac{u_i}{u_0}\right), ..., DT_i^{\max}\left(\frac{u_i}{u_0}\right) \right].$$

Будемо вважати, що дефіцит вологи розподіляється між породами пропорційно частці у популяції інтенсивності їх дедукції та транспірації. Відповідно, звідси можна оцінити зниження приросту біомаси на 1 м^2, а також визначити коефіцієнт засухи **[2]**:

$$M_i = \left(M \cdot \frac{DT_i^{\min} u_i}{\sum_i DT_i^{\min} u_i} \right) \ (л / м^2 \cdot рік); \quad (10)$$

$$Rain_i = (\Pi - N) \cdot q_i^{\min}, \quad (11)$$

де $q_i^{\min} = \dfrac{DT_i^{\min}}{VK_i \sum_i DT_i^{\min} u_i}$.

Функція залежить від загальної кількості надлишкової вологи N^{btot}, що нагромадилась за весь час, і дорівнює нулю при перевищенні N^{btot} границі повного заболочення.

Результати моделювання. Згідно з описаною вище математичною моделлю, було створено програмне забезпечення, алгоритм якого зображено на рис. 1. Для відображення адекватності створеної моделі було виконано числові розрахунки, у можливих природних умовах.

Розрахунок проводився для випадку висадки молодняку хвойних і листяних дерев у центральній точці області, що розглядається, у співвідношенні 1:1. На рис. 2 показано еволюцію лісу у разі оптимального зволоження. Видно, що на початку на місці висадки проходить ріст листяних порід (u2) і їх поширення на вільні ділянки. З плином часу хвойні породи (u1), що формувалися під покровом листяних стають домінантними та повністю витісняють листяні породи. Причому узагальнений показник родючості (P) з часом виходить на незмінний рівень (що може відповідати низькій продуктивності ґрунту або високому коефіцієнту природної смертності – цей випадок описує вимирання зрілого лісу з великим середнім віком дерев.

Саме такий глобальний сценарій розвитку лісу: листяний ліс – хвойний – старіння і вимирання хвойного лісу). За певного співвідношення параметрів можливе також стале існування змішаного лісу. На рис. 3 та 4 показано проміжні результати моделювання, а саме залежність вектора щільності біомаси (u) від заболочення та освітлення.

У разі нестачі вологи протягом тривалого періоду (рис. 5) спостерігаємо вимирання хвойних та припинення розвитку листяних порід. Ця ситуація правильно відображає основні відомі закономірності розвитку середньо-широтного лісу.

Враховуючи наведені результати розрахунків, сформулюємо основні особливості побудови моделі двовидового лісу:

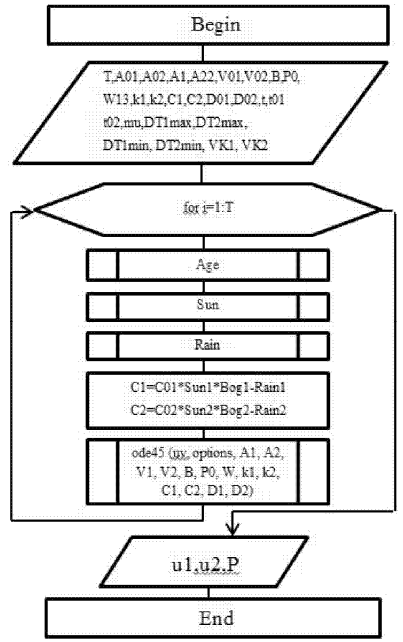

Рис. 1. Блок-схема реалізації моделі

- у моделі передбачені конкурентні відношення між видами, що виявляються у боротьбі за ресурси (воду, освітлення) з певним пороговим значенням (води не вистачає тільки, якщо рівень опадів падає нижче від критичного). Враховується різне ставлення видів до заболочення, засухи, взаємодії світло- та тіньолюбних порід;
- враховується вікова структура лісу. Розмножуються дерева лише з віком більшим, ніж порогове значення;
- модель нелінійна, більшість коефіцієнтів мають немонотонний або пороговий характер;
- родючість ґрунту розглядається як відновний ресурс. Рівняння, що описують цей процес, схожі на рівняння типу "хижак-жертва", де в ролі хижака виступає ліс. Водночас, оскільки відновлення ресурсу відбувається завдяки відмиранню біомаси, у відносинах ліс – ґрунт домінують симбіотичні відношення. Взаємодія двох описаних механізмів і нелінійність дають змогу отримати різноманітну поведінку системи;
- наявність "зовнішньої сили", що залежить від часу і безпосередньо впливає на продуктивність ґрунту і кількість рослин того чи іншого виду. Зовнішні фактори можуть входити в рівняння або ж у вигляді функції (пожежі, комахи-шкідники, вітровал).

Висновки. Внаслідок виконаної роботи розроблено практичну модель двовидового середньоширотного лісу та відповідний програмний комплекс. Математична модель адекватно враховує як міжвидову конкуренцію, так і низку інших факторів: освітлення, заболочення, вікова структура, кількість опадів, зовнішні впливи та може бути використана як основа для побудови моделей більш високого рівня деталізації та територіального охоплення.

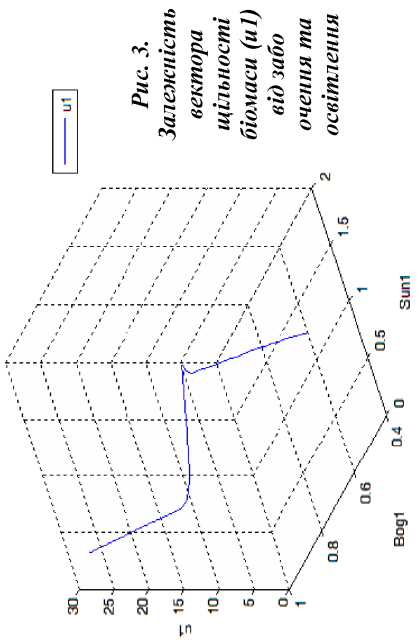

Рис. 3. Залежність вектора щільності біомаси (u1) від забо очення та освітлення

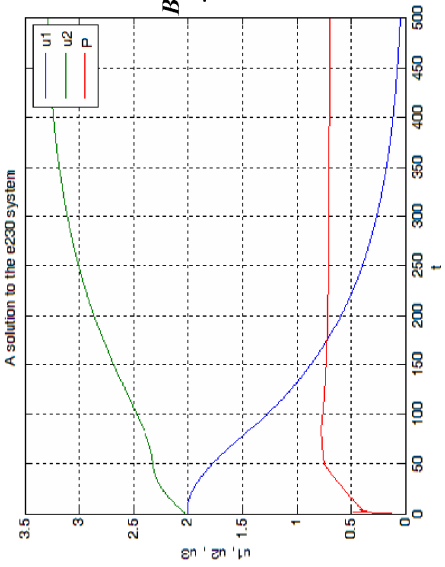

Рис. 5. Вимирання хвойного лісу в разі нестачі вологи

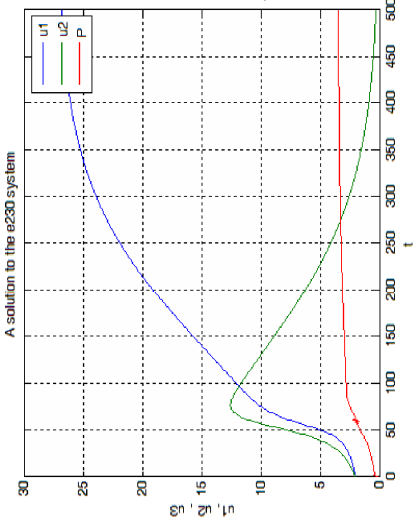

Рис. 2. Заміна листяного лісу хвойним внаслідок конкуренції за ресурси

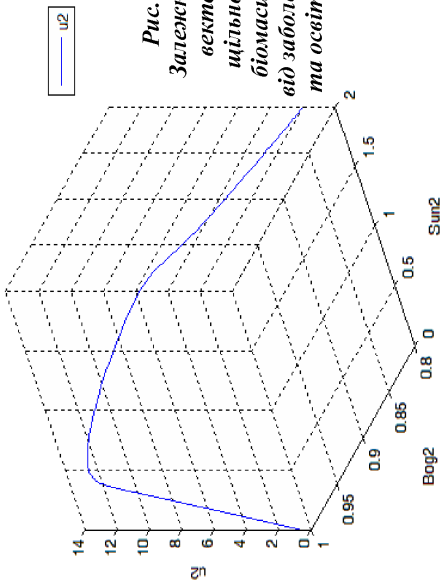

Рис. 4. Залежність вектора щільності біомаси (u2) від заболочення та освітлення

На сьогодні здійснюють роботу над створенням програми для користувача, що враховуватиме характеристики територій і початкові умови, що були отримані експериментально для даної території. Використовуючи наявний програмний комплекс, розглянутий у цій роботі, можна провести апробацію моделі на подіях минулих років та отримати можливі сценарії розвитку лісового господарства.

Практичне застосування програмного комплексу, побудованого на реалізації такого роду моделей, у лісовому господарстві України сприятиме сталому розвитку та адаптації механізмів ведення роботи лісогосподарських та бізнес-процесів до зарубіжних стандартів управління.

Література

1. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование / В. Вольтерра. – М. : Изд-во "Наука"? 1976. – 288 с.

2. Кузнецов В.И. Математическое моделирование эволюции леса для целей управления лесным хозяйством / В.И. Кузнецов, Н.И. Козлов, П.М. Хомяков. – М. : Изд-во "Ленанд". – 2005. – С. 65-117.

3. Основні кліматичні показники в Україні. [Електронний ресурс]. – Доступний з http://geoswit.ucoz.ru/index/0-178

4. Ханина Л.Г. Комп'ютерные системы поддержки принятия решений в лесном хозяйстве: обзор современного состояния / Л.Г. Ханина, В.Є. Смирнов, Н.В. Лукина // Хвойные бореальной зоны. – 2009. – Вип. XXVI, № 2. – С. 123-129.

5. [Електронний ресурс]. – Доступний з http://www.keldysh.ru/pages/forest/forest/25.htm

6. [Електронний ресурс]. – Доступний з http://www.keldysh.ru/papers/2005/prep24/prep2005_24.html.

7. Daniels R.F. Simulation of individual tree growthand stand development in managed Lobolly pine plantations / R.F. Daniels, H. Burkhaft // School of Forestry and Wildlife Researches. – 1975. – 69 p.

8. Kohyama T. Forest ecosystems and environments: scaling up from shoot module to watershed / T. Kohyama, J. Canadell // Springler. – 2006. – 166 p.

9. Schmidt M. Modelbuilding and optimization of the plant growth process of the greenhouse cucumber / M. Schmidt, K. Reinich // Ann. Rev. Automat program. – 1985. – Vol. 12, № 1. – Pp. 394-397.

Лотыш И.Л. **Математические и программные аспекты моделирования развития двувидового леса**

Рассмотрена математическая модель эволюции двувидового среднеширотного леса и создано программное обеспечение для моделирования системы. Моделирование осуществлено путем решения динамической системы уравнений методом Рунге – Кутта. Последовательно описано построение модели, учитывающей как межвидовою конкуренцию, так и ряд других факторов: освещение, заболачивание, возрастная структура, количество осадков, внешние воздействия. Приведены результаты расчетов, полученных на созданном программном комплексе. Показаны возможности использования созданной модели локального уровня для информационного обеспечения разработки и поддержки принятия решений в лесном хозяйстве.

Ключевые слова: лесное хозяйство, прогнозирования, информационные системы, моделирование.

Lotysh I.L. **Some Mathematical and Software Aspects of Modelling of Two-Type Forest Development**

Simulation is carried out by numerical analysis of the dynamic system equations by the Runge-Kutta method. The construction of a model that considers both interspecies competition and ranks of other factors such as light, water-logging, age structure, rainfall, external influences, is consistently described. The results of simulation obtained on the created software are provided. The possibilities of using the created model of the local level to ensure the development of an information and decision support in forest management are stated.

Key words: forestry, forecasting, information systems, modelling, model.