

### Сведения об авторах

*Мельник Пётр Григорьевич* – доцент кафедры лесоводства и подсочки леса ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, г. Мытищи-5, Российская Федерация; e-mail: melnik\_petr@bk.ru.

*Мерзленко Михаил Дмитриевич* – ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт лесоведения РАН», доктор сельскохозяйственных наук, профессор, с. Успенское, Российская Федерация; e-mail: md.merzlenko@mail.ru.

### Information about authors

*Melnyk Petr Grigoryevich* – Associate Professor of Department Forestry and Forest Tapping FSBEI HPO «Moscow State Forest University», PhD in Agriculture Sciences, Associate Professor, Mytischki-5, Russian Federation; e-mail: melnik\_petr@bk.ru.

*Merzlenko Mikhail Dmitrievich* – leading researcher of FSBUN «Institute of Forest Science of RAS», DSc in Agriculture, Professor, Uspenskoe, Russian Federation; e-mail: md.merzlenko@mail.ru

DOI: 10.12737/8439

УДК 630\*526.5

### СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ УСКОРЕННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ

доктор технических наук, профессор **В. С. Петровский**<sup>1</sup>

кандидат технических наук **Ю. В. Мурзинов**<sup>1</sup>

кандидат сельскохозяйственных наук **В. В. Малышев**<sup>1</sup>

1 – ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»,  
г. Воронеж, Российская Федерация

Рассмотрена система поддержки принятия решений по оптимизации параметров режимов ускоренного выращивания лесонасаждений в виде структуры информационных потоков между объектом и системой управления. Решение задач управления возможно лишь при наличии определенного объема знаний или сведений о качественных и количественных внутренних связях между элементами управляемого объекта и внешних связях элементов и всего объекта в целом с окружающей средой. Представлена математическая модель динамики развития одновозрастных хвойных насаждений и выделена целевая функция управления процессом ускоренного выращивания хвойных насаждений. Параметры первой рубки ухода определяют параметры последующих рубок ухода, допускают варьирование своих значений для заданного диапазона, и как следствие позволяют оптимизировать целевую функцию. Показана связь программного обеспечения и системы базы данных, позволяющая осуществить эффективное функционирование системы интеллектуальной поддержки принятия решений по оптимизации параметров режимов ускоренного выращивания лесонасаждений. Информационный фонд системы поддержки принятия решений включает в себя информацию, необходимую для обеспе-

чения автоматизированного управления, представленную результатами измерения хвойных насаждений, традиционным таблицами хода роста и существующими нормативно-техническими документами по рубкам ухода, а также информацию о системах лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода. Входные данные представляются в электронной форме в виде баз данных. Применение СППР выращивания одновозрастных хвойных насаждений позволяет объединить комплекс различных параметров, методик и мероприятий, позволяющих человеку определить перечень оптимальных действий, направленных на достижение эффективного управления и формирования высокопродуктивных хвойных насаждений.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, математическое моделирование, целевая функция управления, выращивание лесонасаждений, рубки ухода.

### STRUCTURE OF INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM TO OPTIMIZE THE PARAMETERS OF THE ACCELERATION MODE OF CULTIVATION OF FOREST STANDS

DSc in Engineering, Professor **V. S. Petrovsky**<sup>1</sup>

PhD in Engineering **Y. V. Murzinov**<sup>1</sup>

PhD in Agriculture **V. V. Malyshev**<sup>1</sup>

1 – FSBEI HPO «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies»,  
Voronezh, Russian Federation

#### Abstract

The system of decision support to optimize the mode parameters of accelerated growth of planted forests in the form of the structure of information flows between the object and the control system is considered. Solution of control problems is possible only if there is a certain amount of knowledge or information about the quality and quantity of internal connections between the elements of the controlled object and external communication components and the entire object with the environment. A mathematical model of the dynamics of even-aged coniferous plantations is presented and the objective function of process control for fasted growing of conifer plantations is highlighted. Parameters of the first thinning define the parameters of subsequent thinnings, allow varying their values for a given range, and as a result you can optimize the objective function. The connection between the software and the database system allows effective functioning of the intelligent decision support to optimize the parameters of the acceleration mode of cultivation of forest stands. Information fund, a decision support system, includes the information necessary to ensure the automatic control, presented by the results of measurement of coniferous plantations, traditional tables of growth and existing normative and technical documents on thinning, as well as information systems, forest machines for thinning. Input data are submitted in electronic form in the form of databases. Application of DSS of cultivation of even-aged conifer plantations allows you to combine a set of different parameters, methods and activities that enable a person to identify a list of optimal actions to achieve good control and formation of highly-productive coniferous plantations.

**Keywords:** decision support system, mathematical modeling, task control function, growing plantations, thinning.

Методика исследований

Под управлением процесса получения деловой древесины понимается такая форма хозяйственной деятельности, которая обеспечивает согласованную, четкую взаимосвязь и взаимодействие между отдельными составными частями системы, координируя всю производственную деятельность в пространстве и во времени.

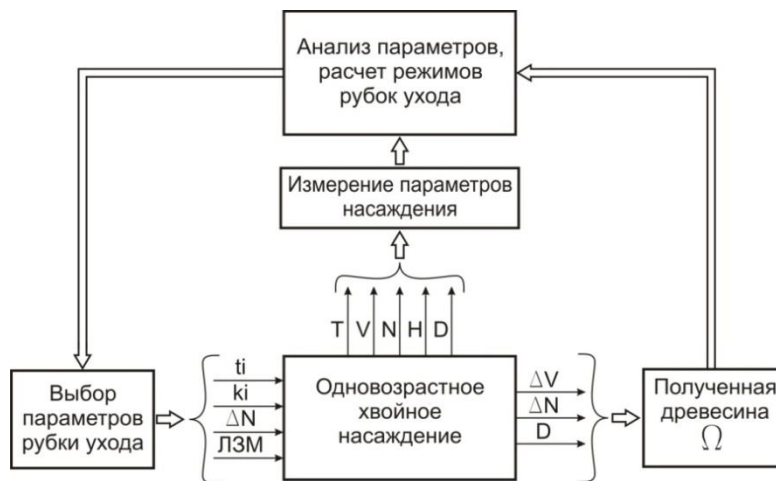
Успешное решение задач управления возможно лишь при наличии определенного объема знаний или сведений о качественных и количественных внутренних связях между элементами управляемого объекта и внешних связях элементов и всего объекта в целом с окружающей средой.

Обеспечение оптимального управления производством требует своевременного сбора информации требуемого состава, объема и точности. Обработка, хранение и передача информации должны осуществляться с минимальными затратами и минимумом погрешностей. Представляется вполне обоснованным провести анализ информационных потоков СППР выращи-

вания хвойных насаждений, содержащих информацию о промежуточных, сплошных рубках хвойного насаждения.

Структурная схема оптимизации управления процессом ускоренного выращивания одновозрастных хвойных насаждений представлена на рис. 1.

Информация об объекте (объем насаждения  $V$ , количество деревьев  $N$ , средняя высота  $H$  и средний диаметр  $D$  деревьев) считывается с помощью различных устройств и блоком «измерение параметров» представляется в форме удобной для передачи на управляющую ЭВМ, которая оценивает текущее состояние хвойного насаждения, как объекта управления, и выдает режимы проведения рубок ухода, включающие в себя: возраст хвойного насаждения, при котором будет проведена рубка ухода,  $t_i$ ; интенсивность рубки ухода  $k_i$ ; количество вырубаемых деревьев  $\Delta N$ ; систему лесозаготовительных машин (ЛЗМ), представляющую собой исполнительное устройство, воздействующее на объект управления в виде рубок ухода.



ЛЗМ - лесозаготовительные машины

Рис. 1. Структурная схема оптимизации управления процессом ускоренного выращивания одновозрастных хвойных насаждений

После проведения рубки ухода вновь собираются данные о хвойном насаждении, к которым добавляются сведения о проведённой рубке ухода – объём полученной древесины  $\Delta V$ , количество срубленных деревьев  $\Delta N$ . Далее проводится оптимизация выращивания одновозрастных хвойных насаждений по критерию  $\Omega$  – максимального объёма запасаемой древесины за заданный срок лесовыращивания.

Аналитическая часть

Структурирование СППР по различным аспектам обуславливает появление видов обеспечения: технического, математического, программного, информационного, а также лингвистического, методического и организационного.

Система одновозрастных хвойных насаждений развивается достаточно монотонно и может быть описана динамика изменения её параметров функциональной зависимостью, содержащей средние величины этих параметров. Это предположение основано на следующих принципах [1]:

- однородность природной среды, обуславливающая однообразие лесорастительных условий (климата, почв и рельефа);

- одинаковая интенсивность антропогенного воздействия на природные ландшафты, которое включает как негативные воздействия типа атмосферных и почвенных загрязнений, так и сложившиеся системы регионального управления природными ресурсами и лесами в частности;

- однородность степени трансформации естественной растительности и лесов;

- сопоставимость вклада растительности каждого экорегиона в основные экологические (биогеохимические) циклы.

Ход роста хвойных насаждений хорошо описывается с использованием функции роста Бергаланфи, известной в таксационной литературе как функция Дракина-Вуевского или Ричарда-Чэпмена, дифференциальное (1) и интегральное (2) уравнения которой имеет вид [1, 2]:

$$\frac{dX_i}{dt} = k_3 \cdot k_2 \cdot k_1^{1/k_3} \cdot X_i^{1-1/k_3} - k_3 \cdot k_2 \cdot X_i, \quad (1)$$

$$X_i = k_1 (1 - e^{-k_2 t})^{k_3} \quad \text{при } 0 < t \leq T_p, \quad (2)$$

где  $X_i$  – параметр хода роста насаждения;

$t$  – возраст насаждения, лет;

$k_1, k_2, k_3$  – числовые коэффициенты.

При моделировании объёма стволовой древесины используются модели хода роста насаждения по запасу  $GS$ , общей продуктивности  $TV$  и диаметру  $D$ :

$$GS(t) = gsc_1 (1 - e^{-gsc_2 t})^{gsc_3}, \quad (3)$$

где  $gsc_1 = gsc_{13} \cdot Bn^2 + gsc_{12} \cdot Bn + gsc_{11}$ ,

$$gsc_2 = gsc_{23} \cdot Bn^2 + gsc_{22} \cdot Bn + gsc_{21},$$

$$gsc_3 = gsc_{33} \cdot Bn^2 + gsc_{32} \cdot Bn + gsc_{31},$$

$Bn$  – код класса бонитета;

$gsc_{ij}$  – коэффициенты модели.

$$TV(t) = tvc_1 (1 - e^{-tvc_2 t})^{tvc_3}, \quad (4)$$

где  $tvc_1 = tvc_{13} \cdot Bn^2 + tvc_{12} \cdot Bn + tvc_{11}$ ,

$$tvc_2 = tvc_{23} \cdot Bn^2 + tvc_{22} \cdot Bn + tvc_{21},$$

$$tvc_3 = tvc_{33} \cdot Bn^2 + tvc_{32} \cdot Bn + tvc_{31},$$

$tvc_{ij}$  – коэффициенты модели.

$$D(t) = dc_1 (1 - e^{-dc_2 t})^{dc_3}, \quad (5)$$

где  $dc_1 = dc_{13} \cdot Bn^2 + dc_{12} \cdot Bn + dc_{11}$ ,

$$dc_2 = dc_{23} \cdot Bn^2 + dc_{22} \cdot Bn + dc_{21},$$

$$dc_3 = dc_{33} \cdot Bn^2 + dc_{32} \cdot Bn + dc_{31},$$

$dc_{ij}$  – коэффициенты модели (табл.).

Профессор С.Н. Сеннов процесс роста насаждения пройденного рубками ухода описывает следующим образом: «Если рубка проведена правильно и не вызвала повреждений, прирост остается прежним, отпад уменьшается и полнота постепенно возрастает». Самое безупречное проведение рубок ухода не исключает естественного отпада, хотя он бывает очень мал и равен примерно 0,1-0,2 % в год [3].

Реакцию на рубку ухода можно представить, как увеличение скорости роста насаждения. Скорость роста неразреживаемого насаждения определяется как первая производная от функции роста запаса  $GS$  по времени –  $z_{GS}(t) = \frac{dGS(t)}{dt}$ . После проведения

рубки ухода скорость роста разреженного насаждения будет определяться как первая производная от функции роста общей продуктивности  $TV$  по времени –  $z_{TV}(t) = \frac{dTV(t)}{dt}$ . Каждую последующую

рубку назначают при восстановлении полноты насаждения до единицы. Время до последующей рубки можно определить как

$$\Delta t_p = \frac{k_p \cdot GS(t_p)}{z_{TV}(t_p) - z_{GS}(t_p)}. \quad (6)$$

Проектируя проведение очередной промежуточной рубки ухода, обычно задаются процентом снижения запаса насаждения. Исходя из рекомендаций лесоводов представляется обоснованным устанавливать умеренный процент уменьшения запаса  $k_p$  в пределах:

$$10\% \leq k_p \leq 40\%. \quad (7)$$

Интенсивность каждой последующей рубки должна быть меньше предыдущей [1]. Следовательно, величина  $k_p$  должна уменьшаться с возрастом насаждения и в качестве функциональной связи примем линейную зависимость в форме:

$$k_p(t, k_1) = 0.1 + (k_1 - 0.1) \cdot \frac{t_{\max} - t}{t_{\max} - t_1}, \quad (8)$$

где  $t$  – возраст насаждения, лет;

$k_1$  – интенсивность изреживания первой рубки ухода;

$t_1$  – возраст на момент проведения первой рубки, лет;

$t_{\max}$  – максимальный возраст насаждения, в котором могут проводиться рубки ухода.

Время первой рубки ухода  $t_1$  и интенсивность  $k_1$  её проведения задаётся вручную. Запас насаждения и средний

Таблица

Коэффициенты моделей хода роста нормальных сосновых насаждений I бонитета

Коэффициенты	GS	TV	D
c11	1.0191·10 <sup>3</sup>	1.84·10 <sup>3</sup>	69.085
c12	-1.6279·10 <sup>2</sup>	-2.4989·10 <sup>2</sup>	-6.1604
c13	6.0478	5.649	-7.91·10 <sup>-2</sup>
c21	2.7433·10 <sup>-2</sup>	2.0669·10 <sup>-2</sup>	1.1865·10 <sup>-2</sup>
c22	-2.2830·10 <sup>-3</sup>	-1.531·10 <sup>-3</sup>	-4.7·10 <sup>-4</sup>
c23	1.54·10 <sup>-4</sup>	1.2·10 <sup>-4</sup>	6.5·10 <sup>-5</sup>
c31	2.0258	2.0269	1.1885
c32	-6.23·10 <sup>-2</sup>	-0.1132	1.435·10 <sup>-2</sup>
c33	1.31·10 <sup>-2</sup>	2.39·10 <sup>-2</sup>	4.82·10 <sup>-3</sup>

диаметр на момент первой рубки находится из формул (3) и (5)

$$GS_1(t_1) = gsc_1 \left(1 - e^{-gsc_2 \cdot t_1}\right)^{gsc_3}, \quad (9)$$

$$D_1(t_1) = dc_1 \left(1 - e^{-dc_2 t_1}\right)^{dc_3}. \quad (10)$$

Скорость роста неразрезаемого и разрежаемого насаждений на момент первой рубки будет

$$z_{GS1}(t_1) = gsc_1 \cdot \left(1 - e^{-gsc_2 \cdot t_1}\right)^{gsc_3} \cdot gsc_3 \cdot gsc_2 \cdot \frac{e^{-gsc_2 \cdot t_1}}{1 - e^{-gsc_2 \cdot t_1}}, \quad (11)$$

$$z_{TV1}(t_1) = k_o \cdot tvc_1 \cdot \left(1 - e^{-tvc_2 \cdot t_1}\right)^{tvc_3} \cdot tvc_3 \cdot tvc_2 \cdot \frac{e^{-tvc_2 \cdot t_1}}{1 - e^{-tvc_2 \cdot t_1}}, \quad (12)$$

где  $k_o = 0.9$  – коэффициент отпада.

Используя формулы (6) и (8) находим промежуток времени до второй рубки ухода

$$k_1(t_1, k_1) = 0.1 + (k_1 - 0.1) \cdot \frac{t_{\max} - t_1}{t_{\max} - t_1} = k_1, \quad (13)$$

$$\Delta t_1(t_1, k_1) = \frac{k_1 \cdot GS_1(t_1)}{z_{TV1}(t_1) - z_{GS1}(t_1)}. \quad (14)$$

Тогда время второй рубки ухода будет

$$t_2(t_1, k_1) = t_1 + \Delta t_1(t_1, k_1). \quad (15)$$

Запас насаждения на момент второй рубки

$$GS_2(t_1, k_1) = gsc_1 \left(1 - e^{-gsc_2 \cdot t_2(t_1, k_1)}\right)^{gsc_3}. \quad (16)$$

Средний диаметр деревьев насаждения, в котором проводились рубки ухода низовым способом, увеличится по сравнению со средним диаметром деревьев неразрезаемого насаждения. Он будет равен среднему диаметру деревьев неразрезаемого насаждения, с запасом  $GSd_2$ , равным

$$GSd_2(t_1, k_1) = GS_2(t_1, k_1) + k_1 \cdot GS_1(t_1). \quad (17)$$

Находим возраст неразрезаемого насаждения при данном запасе  $T_2$

$$T_2(t_1, k_1) = \frac{-\ln \left[1 - \left(\frac{GSd_2(t_1, k_1)}{gsc_1}\right)^{\frac{1}{gsc_3}}\right]}{gsc_2}. \quad (18)$$

Средний диаметр разрежаемого насаждения на момент второй рубки ухода

$$D_2(t_1, k_1) = dc_1 \left(1 - e^{-dc_2 T_2(t_1, k_1)}\right)^{dc_3}. \quad (19)$$

Скорость роста неразрезаемого и разрежаемого насаждений на момент второй рубки ухода будет

$$z_{GS2}(t_1, k_1) = gsc_1 \cdot \left(1 - e^{-gsc_2 \cdot t_2(t_1, k_1)}\right)^{gsc_3} \cdot gsc_3 \cdot gsc_2 \cdot \frac{e^{-gsc_2 \cdot t_2(t_1, k_1)}}{1 - e^{-gsc_2 \cdot t_2(t_1, k_1)}}, \quad (20)$$

$$z_{TV2}(t_1, k_1) = k_o \cdot tvc_1 \cdot \left(1 - e^{-tvc_2 \cdot t_2(t_1, k_1)}\right)^{tvc_3} \cdot tvc_3 \cdot tvc_2 \cdot \frac{e^{-tvc_2 \cdot t_2(t_1, k_1)}}{1 - e^{-tvc_2 \cdot t_2(t_1, k_1)}}. \quad (21)$$

Находим промежуток времени до третьей рубки ухода

$$k_2(t_1, k_1) = 0.1 + (k_1 - 0.1) \cdot \frac{t_{\max} - t_2(t_1, k_1)}{t_{\max} - t_1}. \quad (22)$$

$$\Delta t_2(t_1, k_1) = \frac{k_2(t_1, k_1) \cdot GS_2(t_1, k_1)}{z_{TV2}(t_1, k_1) - z_{GS2}(t_1, k_1)}. \quad (23)$$

Тогда время третьей рубки ухода будет

$$t_3(t_1, k_1) = t_2 + \Delta t_2(t_1, k_1). \quad (24)$$

Запас насаждения на момент третьей рубки

$$GS_3(t_1, k_1) = gsc_1 \left(1 - e^{-gsc_2 \cdot t_3(t_1, k_1)}\right)^{gsc_3}. \quad (25)$$

$$GSd_3(t_1, k_1) = GS_3(t_1, k_1) + k_2(t_1, k_1) \cdot GS_2(t_1, k_1). \quad (26)$$

Находим возраст неразрезаемого насаждения при данном запасе  $T_3$

$$T_3(t_1, k_1) = \frac{-\ln \left[1 - \left(\frac{GSd_3(t_1, k_1)}{gsc_1}\right)^{\frac{1}{gsc_3}}\right]}{gsc_2}. \quad (27)$$

Средний диаметр разреживаемого насаждения на момент третьей рубки ухода

$$D_3(t_1, k_1) = dc_1 \left(1 - e^{-dc_2 T_3(t_1, k_1)}\right)^{dc_3}. \quad (28)$$

Скорость роста неразреживаемого и разреживаемого насаждений на момент третьей рубки ухода будет

$$z_{GS3}(t_1, k_1) = gsc_1 \cdot \left(1 - e^{-gsc_2 \cdot t_3(t_1, k_1)}\right)^{gsc_3} \cdot gsc_3 \cdot gsc_2 \cdot \frac{e^{-gsc_2 \cdot t_3(t_1, k_1)}}{1 - e^{-gsc_2 \cdot t_3(t_1, k_1)}}, \quad (29)$$

$$z_{TV3}(t_1, k_1) = k_o \cdot tv_1 \cdot \left(1 - e^{-tv_2 \cdot t_3(t_1, k_1)}\right)^{tv_3} \cdot tv_3 \cdot tv_2 \cdot \frac{e^{-tv_2 \cdot t_3(t_1, k_1)}}{1 - e^{-tv_2 \cdot t_3(t_1, k_1)}}. \quad (30)$$

Находим промежуток времени до четвертой рубки ухода

$$k_3(t_1, k_1) = 0.1 + (k_1 - 0.1) \cdot \frac{t_{\max} - t_3(t_1, k_1)}{t_{\max} - t_1}. \quad (31)$$

$$\Delta t_3(t_1, k_1) = \frac{k_3(t_1, k_1) \cdot GS_3(t_1, k_1)}{z_{TV3}(t_1, k_1) - z_{GS3}(t_1, k_1)}. \quad (32)$$

Тогда время четвертой рубки ухода

$$t_4(t_1, k_1) = t_3 + \Delta t_3(t_1, k_1). \quad (33)$$

Запас насаждения на момент четвертой рубки

$$GS_4(t_1, k_1) = gsc_1 \left(1 - e^{-gsc_2 \cdot t_4(t_1, k_1)}\right)^{gsc_3}. \quad (34)$$

$$GSd_4(t_1, k_1) = GS_4(t_1, k_1) + k_3(t_1, k_1) \cdot GS_3(t_1, k_1). \quad (35)$$

Находим возраст неразреживаемого насаждения при данном запасе  $T_4$

$$T_4(t_1, k_1) = \frac{-\ln \left[1 - \left(\frac{GSd_4(t_1, k_1)}{gsc_1}\right)^{\frac{1}{gsc_3}}\right]}{gsc_2}. \quad (36)$$

Средний диаметр разреживаемого насаждения на момент четвертой рубки ухода

$$D_4(t_1, k_1) = dc_1 \left(1 - e^{-dc_2 T_4(t_1, k_1)}\right)^{dc_3}. \quad (37)$$

Скорость роста неразреживаемого и

разреживаемого насаждений на момент четвертой рубки ухода будет

$$z_{GS4}(t_1, k_1) = gsc_1 \cdot \left(1 - e^{-gsc_2 \cdot t_4(t_1, k_1)}\right)^{gsc_3} \cdot gsc_3 \cdot gsc_2 \cdot \frac{e^{-gsc_2 \cdot t_4(t_1, k_1)}}{1 - e^{-gsc_2 \cdot t_4(t_1, k_1)}}, \quad (38)$$

$$z_{TV4}(t_1, k_1) = k_o \cdot tv_1 \cdot \left(1 - e^{-tv_2 \cdot t_4(t_1, k_1)}\right)^{tv_3} \cdot tv_3 \cdot tv_2 \cdot \frac{e^{-tv_2 \cdot t_4(t_1, k_1)}}{1 - e^{-tv_2 \cdot t_4(t_1, k_1)}}. \quad (39)$$

Находим промежуток времени до пятой главной рубки

$$k_4(t_1, k_1) = 0.1 + (k_1 - 0.1) \cdot \frac{t_{\max} - t_4(t_1, k_1)}{t_{\max} - t_1}. \quad (40)$$

$$\Delta t_4(t_1, k_1) = \frac{k_4(t_1, k_1) \cdot GS_4(t_1, k_1)}{z_{TV4}(t_1, k_1) - z_{GS4}(t_1, k_1)}. \quad (41)$$

Тогда время пятой главной рубки будет

$$t_5(t_1, k_1) = t_4 + \Delta t_4(t_1, k_1). \quad (42)$$

Запас насаждения к пятой рубки

$$GS_5(t_1, k_1) = gsc_1 \left(1 - e^{-gsc_2 \cdot t_5(t_1, k_1)}\right)^{gsc_3}, \quad (43)$$

$$GSd_5(t_1, k_1) = GS_5(t_1, k_1) + k_4(t_1, k_1) \cdot GS_4(t_1, k_1). \quad (44)$$

Находим возраст неразреживаемого насаждения при данном запасе  $T_5$

$$T_5(t_1, k_1) = \frac{-\ln \left[1 - \left(\frac{GSd_5(t_1, k_1)}{gsc_1}\right)^{\frac{1}{gsc_3}}\right]}{gsc_2}. \quad (45)$$

Средний диаметр разреживаемого насаждения на момент пятой главной рубки

$$D_5(t_1, k_1) = dc_1 \left(1 - e^{-dc_2 T_5(t_1, k_1)}\right)^{dc_3}. \quad (46)$$

Объем получаемой стволовой древесины за весь период выращивания насаждения определим по формуле

$$V(t_1, k_1) = k_1 \cdot GS_1(t_1) + k_2(t_1, k_1) \cdot GS_2(t_1, k_1) + k_3(t_1, k_1) \cdot GS_3(t_1, k_1) + k_4(t_1, k_1) \cdot GS_4(t_1, k_1) + GS_5(t_1, k_1). \quad (47)$$

Таким образом, выходные параметры и целевая функция  $\Omega$  СППР выращивания хвойных насаждений (объем получаемой древесины, возраст главной рубки и диаметр насаждения) полностью определяются задающими воздействиями – параметрами первой рубки ухода (временем  $t_1$  и интенсивностью изреживания  $k_1$ ). Параметры первой рубки ухода определяют параметры последующих рубок ухода, допускают варьирование своих значений для заданного диапазона и как следствие позволяют оптимизировать целевую функцию.

Программное обеспечение, представляемое компьютерными программами системы автоматизированного управления, сбора и обработки информации. Такими программами как, «Прогнозирование и контроль техно-

логического процесса ускоренного выращивания одновозрастных хвойных насаждений», «Автоматизированный сбор таксационных и геодезических параметров насаждения по фотоизображению», «АСТПП выращивания хвойных насаждений». Структурная схема программного обеспечения представлена на рис. 2 [4, 5].

### Выводы

Применение СППР выращивания одновозрастных хвойных насаждений позволяет объединить комплекс различных параметров, методик и мероприятий, позволяющих человеку определить перечень оптимальных действий, направленных на достижение эффективного управления и формирования высокопродуктивных хвойных насаждений.



Рис. 2. Структура программного обеспечения СППР выращивания одновозрастных хвойных насаждений. БД – база данных

### Библиографический список

1. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород северной Евразии [Текст] : нормативно-справочные материалы, издание второе, дополненное



- / А.З. Швиденко, Д. Г. Щепашенко, С. Нильссон и Ю.И. Булуй. – М. : МИПСА, 2008. – 886 с.
2. Кивисте, А. К. Функции роста леса [Текст] / А. К. Кивисте. – Тарту : ЭСХА, 1988. – 108 с.
  3. Сеннов, С. Н. Рубки ухода за лесом [Текст] / С. Н. Сеннов. – М. : Лесн. пром-ть, 1977. – 160 с.
  4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010610420. Программа для расчета режимов оптимального ускоренного выращивания сосновых древостоев [Текст] / Ю. В. Мурзинов, В. В. Малышев, В. С. Петровский – зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11 января 2010 г.
  5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012612050. Автоматизированная система технологической поддержки производства по выбору оптимальной системы лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода за лесом [Текст] / Мурзинов Ю. В. – зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 22 декабря 2011 г.

### References

- 1 Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Nilsson S. and Buluy Y.I. *Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod severnoy Evrazii: normativno-spravochnye materialy, izdanie vtoroe, dopolnenno* [Tables and model of growth progress and productivity of plantations of main forest forming species of northern Eurasia: normative references, second edition, supplemented]. Moscow, 2008, 886 p. (In Russian).
- 2 Kiviste A.K. *Funksii rosta lesa* [Functions of forests growth]. Tartu, 1988, 108 p. (In Russian).
- 3 Sennov S.N. *Rubki ukhoda za lesom* [Thinning the forest]. Moscow, 1977, 160 p. (In Russian).
- 4 Murzinov Y.V., Malyshev V.V., Petrovsky V.S. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2010610420. Programma dlya rascheta rezhimov optimal'nogo uskorennoogo vyrashchivaniya sosnovykh drevostoev – zaregistrovano v Reestre programm dlya EVM 11 yanvarya 2010 g.* [Certificate of state registration of the computer program for 2010610420. Program for calculating optimal modes of accelerated growth of pine stands. Registered in the Register of Computer Programs on January 11, 2010]. (In Russian).
- 5 Murzinov Y.V. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2012612050. Avtomatizirovannaya sistema tekhnologicheskoy podderzhki proizvodstva po vyboru optimal'noy sistemy lesozagotovitel'nykh mashin dlya provedeniya rubok ukhoda za lesom – zaregistrovano v Reestre programm dlya EVM 22 dekabrya 2011 g.* [Certificate of state registration of computer program 2012612050. The automated system of technological production support for choosing the optimal system of harvesting machines for thinning the forest. Registered in the Register of Computer Programs on December 22, 2011]. (In Russian).

### Сведения об авторах

*Петровский Владислав Сергеевич* – профессор кафедры автоматизации производственных процессов ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: appvglt@bk.ru.

*Мурзинов Юрий Валерьевич* – ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехни-

ческая академия», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kampf87@yandex.ru.

*Мальшиев Владимир Викторович* – доцент кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», кандидат сельскохозяйственных наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: v\_malyshev79@mail.ru.

### Information about authors

*Petrovsky Vladislav Sergeevich* – Professor of Department Automation Production Processes of FSBEI HPO «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», DSc in Engineering, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: appvglta@bk.ru.

*Murzinov Yury Valeryevich* – FSBEI HPO «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», PhD in Engineering, Voronezh, Russian Federation; e-mail: kampf87@yandex.ru.

*Malyshev Vladimir Viktorovich* – Associate Professor of Forest Crops, Selection and Afforestation Department of FSBEI HPO «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», PhD in Agriculture, Voronezh, Russian Federation; e-mail: v\_malyshev79@mail.ru.

DOI: 10.12737/8440

УДК 577.212: 632.4

### ПРИМЕНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ФИТОСАНИТАРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ

кандидат сельскохозяйственных наук **В. А. Сиволапов**<sup>1</sup>

**Н. А. Карпеченко**<sup>1</sup>

**В. Н. Вепринцев**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Филиал ФБУ «Российский центр защиты леса» «Центр защиты леса Воронежской области», г. Воронеж, Российская Федерация

Рассматриваются проведенные исследования и практическое применение современных методов молекулярно-генетической диагностики для определения различных видов и степени заболеваний семян, в том числе, трудно различаемым по внешним признакам. Фитосанитарные исследования были выполнены на одно-двухлетних сеянцах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.), полученных из шести лесных питомников Липецкой и Курской областей. Степень поражения различными видами патогенов полученных сеянцев составляла 30 и более процентов. Диагностика растительного материала на наличие фитопатогенов включала в себя ряд этапов: выделение генетического материала (ДНК) из сеянцев, амплификация маркерных участков фитопатогенов, секвенирование амплифицированных фрагментов, анализ и идентификация патогена по базе данных. Доказано, что практическая значимость методов молекулярно-генетического анализа для питомнического хозяйства заключается в диагностике трудно идентифицируемых видов заболеваний по мор-