

О. А. Атрощенко, профессор; А. А. Пушкин, ассистент

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РУБОК УХОДА В СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС «ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ»

The system of the automated designing of thinnings in pine woods with use GIS «Forest resources» is considered in this work. Submitted the algorithm calculation of programs thinnings on rotation with optimization of an output industrial assortment.

Рубки ухода за лесом играют исключительно важную роль в формировании насаждений целевого состава и повышении их продуктивности с одной стороны, а с другой – являются источником получения деловой древесины. Так, в республике за 2004 г. рубками промежуточного пользования заготовлено 4,8 млн. м<sup>3</sup> древесины. В этой связи весьма актуальной задачей является составление программ рубок ухода с целью оптимизации выхода промышленных сортиментов.

Поскольку каждый древостой имеет свои индивидуальные особенности роста и производительности, то и расчет программ рубок ухода должен осуществляться для каждого древостоя отдельно, т. е. повыдельно. Под программой в данном случае понимается совокупность показателей, регламентирующих рубки ухода для достижения поставленной цели (максимум общей производительности насаждений на оборот рубки, максимум выхода пиловочника и др.).

Разработка программ рубок ухода выполняется на основе соответствующих имитационных моделей, включающих моделирование роста и производительности древостоев, сортиментную и товарную оценку вырубемого запаса. Имитационные модели рубок ухода позволяют получить весьма полезную информацию: объем, интенсивность и повторяемость рубок, выход промышленных сортиментов (пиловочник, балансы), общую производительность древостоев на оборот рубки, прирост древостоев по запасу. Эта информация служит лесоводам инструкцией для назначения и проведения рубок ухода, используется для планирования и контроля за ними [1, 2].

Использование современных информационных технологий позволяет выполнять расчет множества вариантов программ рубок ухода различной интенсивности и повторяемости для каждого таксационного выдела. Расчет программ рубок ухода должен выполняться на оборот главной рубки для оценки заготавливаемой древесины и таксационных показателей к возрасту спелости древостоя. В соответствии с конечной целью лесовыращивания того или иного насаждения пользователь может выбрать наиболее оптимальный вариант проведения рубок ухода.

Система автоматизированного проектирования рубок ухода разработана на основе ГИС

«Лесные ресурсы» и специализированного программного модуля, предназначенного для расчета показателей проектируемых уходов и сортиментации выбираемых запасов.

В целом работу системы можно условно разбить на несколько этапов: подготовка и ввод исходных данных для расчета, прогноз таксационных показателей древостоев, расчет таксационных показателей древостоев после проведения рубки, расчет таксационных показателей и сортиментной структуры вырубаемой части. Все вышеуказанные программные блоки взаимосвязаны согласно общему алгоритму системы (рисунок).

Подготовка исходных данных к расчету производится в ГИС «Лесные ресурсы» путем построения запроса к повыдельной базе данных. На основании выполнения данного запроса формируется файл исходных данных, представляющий собой таблицу базы данных в формате dBase, где для каждого таксационного выдела, участвующего в расчете, приводятся площадь, возраст, бонитет, высота, диаметр, тип леса, сумма площадей сечений, относительная полнота и запас древостоя на выделе. Формирование файла исходных данных выполняется в разрезе объектов расчета: по группам и категориям защитности лесов.

Сформированный таким образом файл исходных данных загружается в программный модуль расчета программ рубок ухода, где дополнительно необходимо указать метод проведения ухода, возраст главной рубки и интенсивность выборки запаса.

Разработка данного программного обеспечения выполнена с использованием объектно-ориентированного языка высокоуровневого программирования Delphi.

На первом этапе работы программы выполняется оценка относительной полноты древостоев. Для этого используется модель вида

$$P = G_A / (b_0 H^4 + b_1 H^3 + b_2 H^2 + b_3 H + b_4), \quad (1)$$

где  $G_A$  – сумма площадей сечений древостоя;  $H$  – средняя высота древостоя;  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  – коэффициенты полинома.

Если полнота достигает минимально необходимого значения, то в данном насаждении проектируется рубка ухода. Значение минимально необходимой для проведения рубок ухода полноты принимается в зависи-

мости от вида ухода, группы состава насаждений в соответствии с «Правилами рубок леса в Республике Беларусь». Если же полнота не достигает минимально необходимого значения, выполняется прогноз таксационных показателей на заданный период, после чего опять оценивается относительная полнота. Чем меньше период прогноза таксационных показателей, тем более своевременно будет назначена рубка.

Данный цикл расчетов повторяется до тех пор, пока не будет достигнут предельный для проведения рубок ухода возраст. Виды уходов и их нормативы проектируются в соответствии с «Правилами рубок леса в Республике Беларусь» [5].

Разработка программ рубок ухода на оборот главной рубки предполагает, что таксационные показатели древостоев изменяются в соответствии с определенными функциями роста.

Составление программ рубок ухода выполняется на основе моделей прогноза роста и производительности древостоев [3].

Прогноз текущего изменения, средних диаметров и высот сосновых древостоев выполняется по регрессионным моделям, составленным по классам бонитета, типам леса, а также уровням производительности.

Для сосновых древостоев республики принято три режима ухода:

- 1) М – малая интенсивность рубок ухода (полнота 0,8–1,0);
- 2) С – средняя интенсивность (полнота 0,7–0,6);
- 3) Т – сильная интенсивность (полнота 0,4–0,5).

В пределах каждого уровня режима ухода (М, С, Т), класса бонитета, типа леса и возраста выделяются три уровня производительности насаждений (верхний, средний, нижний). Средний уровень производительности устанавливается как наиболее вероятный средний уровень по запасу древостоев (на основе массовых наблюдений) в пределах величины среднеквадратического отклонения  $\pm\sigma$  (случайной ошибки таксации запасов). Верхний уровень выше среднего с размахом  $+2\sigma$ , нижний уровень ниже среднего, т. е.  $-2\sigma$  [1].

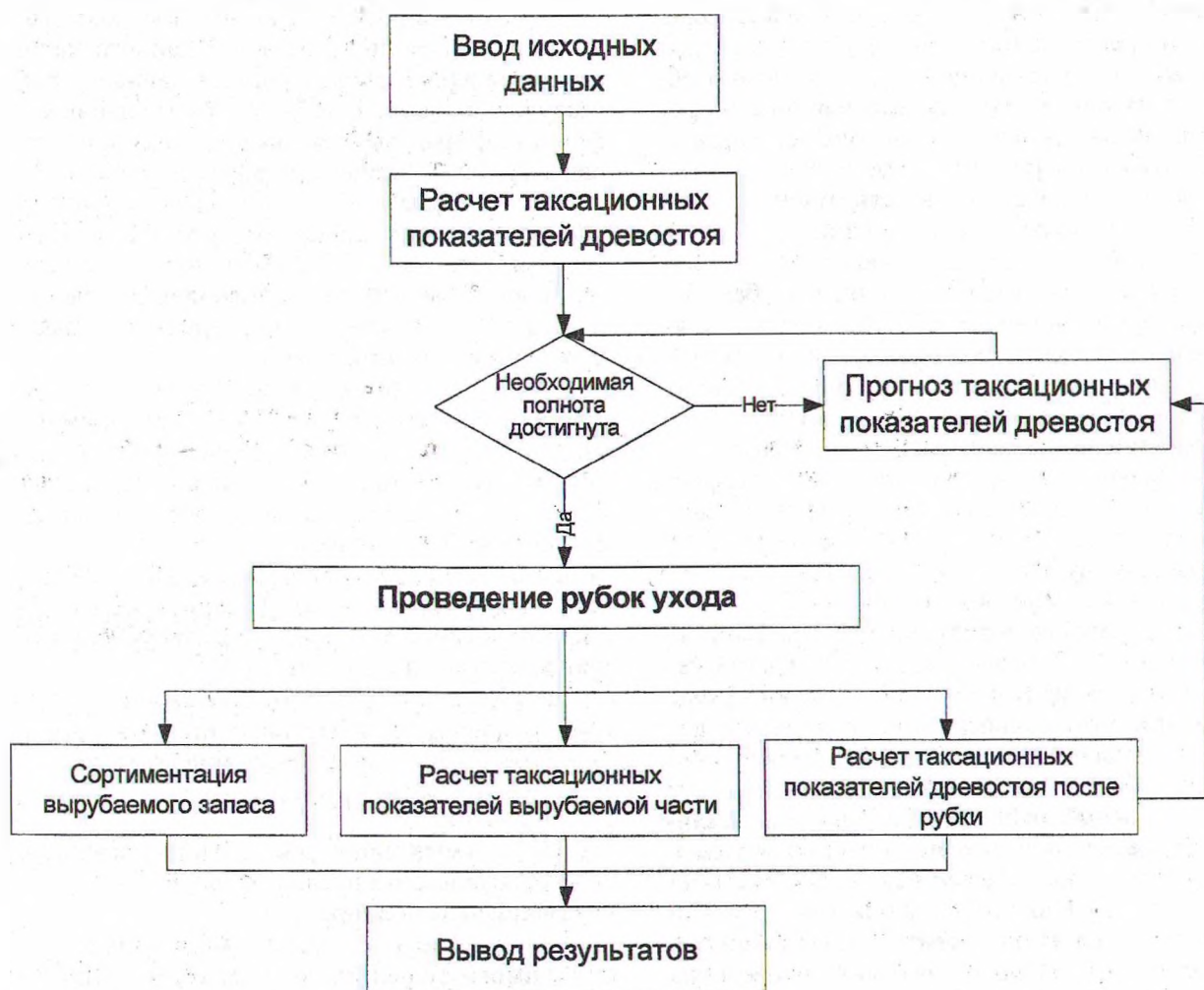


Рисунок. Блок-схема алгоритма программы проектирования рубок ухода

Для моделирования хода роста древостоев по высоте, диаметру и запасу с возрастом и классом бонитета исследованы следующие регрессионные модели связи:  $\lg y = f(\lg A, \lg H_{100})$ ;  $\lg y = f(\lg A, \lg^2 A, \lg H_{100})$ ;  $\lg y = f(\lg^2 A, \lg H_{100})$ . По результатам статистической оценки регрессий для моделирования принята модель вида

$$\lg y = (b_0 + b_1 \lg A + b_2 \lg H_{100}), \quad (2)$$

где  $y$  – зависимый признак (средняя высота, диаметр или запас древостоя);  $A$  – возраст древостоя;  $H_{100}$  – индекс класса бонитета.

Для хвойных и твердолиственных семенного происхождения насаждений индексы классов бонитета ( $H_{100}$ ) являются средними высотами в 100 лет, для мягколиственных и порослевых твердолиственных – средними высотами в 50 лет ( $H_{50}$ ).

Регрессионные уравнения типа (2) описывают ход роста по высоте, диаметру и запасу древостоев от Ia до Va классов бонитета в возрасте от 10 до 120 лет. Регрессии достоверны по критерию Фишера  $F$ , объясняют 91–98% вариации зависимого показателя с относительной ошибкой 5–10%.

Определение прогнозных таксационных показателей выполняется по формулам

$$D_{A+n} = D_A + D_A P_D n; \quad (3)$$

$$H_{A+n} = H_A + H_A P_H n, \quad (4)$$

где  $D_{A+n}$ ,  $H_{A+n}$  – прогнозные значения среднего диаметра и высоты древостоя соответственно;  $D_A$ ,  $H_A$  – значения среднего диаметра и высоты древостоя в начале прогноза;  $n$  – период прогноза, лет.

Связь видовой высоты с высотой и диаметром древостоев выражена регрессией связи

$$HF = b_0 + b_1 H + b_2 HD^{-2} + b_3 H_{100}, \quad (5)$$

где  $HF$  – видовая высота древостоя;  $H$ ,  $D$  – средние высоты и диаметр древостоя;  $b_0, \dots, b_3$  – коэффициенты регрессии.

Расчет других необходимых таксационных показателей (число стволов, сумма площадей сечений, запас, объем ствола среднего дерева) осуществляется по формулам связи лесной таксации:

$$N_{A+n} = N - NP_{\text{отп}}; \quad (6)$$

$$G_{A+n} = 0.0000785 D_{A+n}^2 N_{A+n}; \quad (7)$$

$$M = GHF; \quad (8)$$

$$V_{\text{ств}} = M / N, \quad (9)$$

где  $N_{A+n}$  – число стволов в конце прогноза;  $N$  – число стволов в начале прогноза;  $P_{\text{отп}}$  – процент прогнозируемого отпада;  $G_{A+n}$  – сумма площа-

дей сечений в конце прогноза;  $V_{\text{ств}}$  – объем ствола среднего дерева.

В системе проектирования определяются также таксационные показатели вырубимой части и древостоя после рубок ухода. Определение данных показателей выполняется в соответствии с введенными значениями интенсивности рубки и метода проведения ухода [4].

Таксационные показатели после проведения рубки ухода рассчитываются по формулам

$$D_{\text{после}} = \left[ 1.1287 \sqrt{G_{\text{после}} / N_{\text{после}}} \right] / 100;$$

$$G_{\text{после}} = G_A - G_A P_b; \quad (11)$$

$$M_{\text{после}} = M_A - M_A P_b; \quad (12)$$

$$V_{\text{ств}} = 0.0000785 D^2 HF; \quad (13)$$

$$N_{\text{после}} = M_{\text{после}} / V_{\text{ств}}, \quad (14)$$

где  $D_{\text{после}}$  – диаметр древостоев после проведения рубки;  $G_{\text{после}}$  – сумма площадей сечения древостоя после проведения рубки;  $N_{\text{после}}$  – число стволов после проведения рубок ухода;  $P_b$  – интенсивность рубки;  $M_{\text{после}}$  – запас древостоя после проведения рубки;  $M_A$  – запас древостоя до проведения рубки;  $V_{\text{ств}}$  – объем ствола после проведения рубки.

Видовая высота и относительная полнота находятся, соответственно, по формулам (5) и (1).

Таксационные показатели вырубимой части определяются по формулам

$$\lg H = -0.1127 - 0.0116D + 1.1105 \lg D + 0.0065 H_{100}; \quad (15)$$

$$N_{\text{выр}} = N_A - N_{\text{после}}; \quad (16)$$

$$G_{\text{выр}} = 0.0000785 D_{\text{выр}}^2 N_{\text{выр}}; \quad (17)$$

$$M_{\text{выр}} = M_A - M_{\text{после}}, \quad (18)$$

где  $H$  – средняя высота вырубимой части древостоя;  $D$  – средний диаметр вырубимой части;  $N_{\text{выр}}$  – число вырубимых стволов;  $M_{\text{выр}}$  – вырубимый запас.

Средний диаметр вырубимой части определяется в зависимости от метода ухода. Объем среднего вырубимого ствола находится по формуле, аналогичной (14).

Расчитанные значения таксационных показателей до и после рубок ухода заносятся в базу данных расчета (файл с именем ru.dbf) и доступны для просмотра в рамках программного интерфейса. Таким образом пользователь имеет возможность визуального контроля и анализа результатов расчетов для каждого таксационного выдела. Рассчитанная программа рубок может быть принята к исполне-

нию или вычислена заново при новых значениях интенсивности, новом методе ухода, периоде прогноза и др.

Выполняя таким образом многовариантные расчеты программ рубок ухода, проектант может выбрать наиболее подходящую из них для заданных условий ведения хозяйства.

Таксационные показатели вырубаемой части выводятся в отдельный файл результатов расчета текстового формата TXT.

На основании рассчитанных таксационных показателей вырубаемой части выполняется расчет товарной и сортиментной структуры выбираемого при рубках ухода запаса. Используя рассчитанные значения среднего диаметра, средней высоты и класса товарности древостоя, из товарных таблиц выбираются соответствующие проценты выхода деловой древесины по категориям (крупная, средняя, мелкая) от общего запаса древостоя и выхода промышленных сортиментов, от запаса деловой древесины. С учетом полученных процентов определяется сортиментная и товарная структура выбираемого при рубках ухода запаса по каждому таксационному выделу.

На конечном этапе в системе формируется итоговая таблица, где для каждого таксационного выдела указывается: возраст проведения рубки ухода, средняя высота и диаметр оставшегося на корню древостоя, сумма площадей сечений, относительная полнота, число стволов, общий запас, а также объем среднего дерева. Для вырубаемой части приводятся значения средней высоты и диаметра, выбираемого запаса и суммы площадей сечений, а также запас крупной, средней и мелкой деловой древесины, пиловочника, строительного бревна, рудстойки и балансов. Кроме того, рассчитываются таксационные показатели древостоев к возрасту спелости, что позволяет прогнозировать товарную и сортиментную структуру древостоев в возрасте главной рубки.

Фрагмент файла результатов расчетов приведен в таблице.

Сформированная база данных расчетов подключается к цифровой карте в ArcView GIS 3.2, на основании которой могут генерироваться тематические карты распределений таксационных выделов по видам и времени проведения рубок ухода, выходу сортиментов и др.

Таблица

Результаты расчета программ рубок ухода

№ квартала	№ выдела	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	Число стволов, шт.	Запас, м <sup>3</sup>	Объем выр. ст. м <sup>3</sup>	Крупная, м <sup>3</sup>	Средняя, м <sup>3</sup>	Мелкая, м <sup>3</sup>	Пиловочник, м <sup>3</sup>	Стройбревно, м <sup>3</sup>	Рудстойка, м <sup>3</sup>	Балансы, м <sup>3</sup>
68	20	45	10,9	9,8	2,60	343	156	0,1229	0	8	123	5	3	73	50
		55	12,6	11,8	2,90	270	202	0,2022	0	10	159	7	3	95	64
68	25	50	12,9	12,0	3,00	268	62	0,1928	0	3	49	2	1	29	20
		55	13,8	13,1	2,90	212	62	0,2437	0	15	37	8	5	26	13
68	35	55	14,3	13,7	2,80	186	271	0,2698	0	64	164	34	23	114	57
68	37	40	11,2	9,5	2,70	389	17	0,1093	0	1	13	1	0	8	5
		45	12,3	10,5	2,70	308	18	0,1461	0	1	14	1	0	8	6
		55	14,2	12,6	3,00	241	23	0,2386	0	1	18	1	0	11	7
70	20	45	10,5	9,4	2,90	417	285	0,1020	0	14	225	10	5	134	91
		50	11,4	10,3	2,70	329	295	0,1338	0	15	233	10	5	139	94
70	28	45	10,5	9,4	2,50	365	56	0,1023	0	3	44	2	1	26	18
		55	12,2	11,2	2,80	287	73	0,1696	0	4	58	2	1	34	23
70	34	50	12,9	12,0	3,00	268	431	0,1938	0	22	340	14	7	203	138
		55	13,8	13,1	2,90	213	433	0,2449	0	102	262	55	36	182	91
72	10	50	13,1	12,3	2,70	224	75	0,2093	0	4	59	3	1	35	24
73	5	40	12,8	11,1	3,10	320	47	0,1632	0	2	37	2	1	22	15
		45	13,9	12,3	3,00	253	50	0,2196	0	3	39	2	1	24	16
		50	15,0	13,5	2,90	201	52	0,2875	0	12	31	7	4	22	11

Полученные тематические карты могут быть выведены на печать или экспортированы в ГИС «Лесные ресурсы» для дальнейшего использования в лесохозяйственной практике.

Эффект от внедрения и использования подобных систем в практике ведения лесного хозяйства включает две составляющие: повышение хозяйственной ценности насаждений к возрасту главной рубки за счет более своевременного и обоснованного назначения рубок ухода, а также увеличение выхода необходимых промышленных сортиментов при проведении рубок ухода.

Опытные работы по внедрению разработанной системы проектирования рубок ухода в сосновых лесах проведены на базе Смолевичского лесхоза. Выполненные расчеты программ рубок ухода для сосновых лесов данного лесхоза показывают, что эффект проектирования программ рубок ухода в рамках изложенного алгоритма зависит в первую очередь от принятой интенсивности, а также вводимого периода прогноза таксационных показателей. Чем больше интенсивность, тем больше древесины вырубается и тем больший экономический эффект наблюдается. Применяемый период прогноза таксационных показателей обуславливает своевременность назначения рубки ухода в насаждении. Чем меньше период прогноза, тем чаще выполняется оценка относительной полноты древостоя и более своевременно назначаются рубки ухода. Расчеты показывают, что для сосновых древостоев можно применять период прогноза таксационных показателей 3–5 лет.

В целом необходимо отметить, что в соответствии с «Правилами рубок леса в Республике Беларусь» основная цель рубок ухода заключается в формировании высокопроизводительных древостоев к возрасту главной рубки. В этой связи основная цель использо-

вания системы проектирования рубок ухода заключается в подборе таких программ проведения уходов, при которых к возрасту главной рубки формируется высокопроизводительный товарный древостой и в тоже время удается получить максимально возможный выход товарной древесины и целевых сортиментов от рубок ухода.

Использование системы проектирования рубок ухода в практике ведения лесного хозяйства позволит производить многовариантные расчеты программ рубок ухода в сосновых древостоях при различной интенсивности и повторяемости приемов на оборот рубки, а также выполнять их оптимизацию путем выбора из множества рассчитанных вариантов наиболее оптимального в соответствии с целью и условиями ведения хозяйства.

### Литература

1. Атрощенко О. А. Система моделирования и прогноза роста древостоев (на примере БССР): Дис. д-ра с.-х. наук: 06.03.02. – Киев, 1986. – 294 с.
2. Атрощенко О. А. Современное направление моделирования роста леса на ЭВМ // Лесоведение и лесное хозяйство. – Мн., 1981. – Вып. 16. – С. 79–83.
3. Атрощенко О. А., Костенко А. Г. Направление применения моделей роста леса (на примере БССР). – Мн.: БелНИИЛТИ, 1980. – 45 с.
4. Атрощенко О. А., Пушкин А. А. Система проектирования рубок ухода в сосновых древостоях на ЭВМ // Междунар. науч.-практ. конф. «Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов». – Мн., 2005. – С. 52–54.
5. Правила рубок леса в Республике Беларусь // Минлесхоз Республики Беларусь. – Мн., 2003. – 78 с.