

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

The result of tests of the optimization planning of main harvesting in pine woods of the basis of model linear programming are presented.

В современном интенсивном лесном хозяйстве проблема рационального и неистощительного лесопользования стоит особенно остро [3]. Одним из способов рационализации лесопользования является оптимизация планирования главного пользования лесом [4]. Развитию данного направления способствует внедрение в лесное хозяйство республики информационных технологий, использование системы лесоустройства с актуализацией картографических и повыведельных баз данных, а также повышение производительности современных компьютеров, позволяющих решать задачи оптимизации больших систем.

Наибольшее распространение при решении оптимизационных задач получили методы линейного программирования. Целесообразность использования данных методов обусловлена детально разработанными вычислительными алгоритмами, а также относительной простотой их реализации на ЭВМ.

Для оптимизации планирования главного пользования разработана модель линейного программирования при заданных ограничениях и критериях оптимальности (1)–(6).

Целевая функция

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{z=1}^k x_{ij} M_{ij}^k C_k \rightarrow \max \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{z=1}^k x_{ij} M_{ij}^k \leq b_{\max} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{z=1}^k x_{ij} M_{ij}^k \geq b_{\min} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{z=1}^k x_{ij} M_{ij}^k = L \sum_{i=1}^m \sum_{z=1}^k x_{ij+1} M_{ij+1}^k, \quad (6)$$

где Z – значение целевой функции; x_{ij} – искомая площадь насаждения, вырубаяемая в i -м выделе в j -й год плана; M_{ij}^k – запас k -й древесной породы в i -м выделе в j -год плана; C_k – таксовая стоимость k -й древесной породы; S_i – общая площадь i -го выдела; b_{\max} и b_{\min} – соответствен-

но максимальный и минимальный объем вырубki по всем выделам за один год; S – площадь лесопользования за весь период планирования; L – коэффициент, указывающий, во сколько раз должно увеличиться лесопользование в $j+1$ -м году по отношению к j -му году; m – количество выделов, участвующих в оптимизации; n – число лет планирования; k – число древесных пород на выделе.

Представленная оптимизационная модель разработана на основе модели линейного программирования, предложенной проф. О.А. Атрощенко с учетом методических положений Х. Таха, А.В. Кузнецова [1, 5].

В качестве управляемых переменных модели выступают площади насаждений вырубаемые в i -м выделе в j -й год плана. Модель оптимизации обеспечивает максимизацию целевой функции при заданном критерии оптимальности. Критерием оптимальности могут быть: максимум размера лесопользования, объема крупной деловой древесины, объема крупной и средней деловой древесины, таксовой стоимости леса на корню.

Параметры b_{\max} и b_{\min} модели определяют промежуток, в котором может находиться годичная расчетная лесосека по запасу, и учитывают необходимость равномерного планирования лесопользования. Неравенства (3) и (4) обеспечивают составление плана рубки по годам лесопользования с учетом заданного коэффициента равномерности. Для расчета строго равномерно возрастающего или убывающего режима лесопользования вместо неравенств (3) и (4) вводится уравнение (6). Неравенство (5) ограничивает площадь лесопользования за весь период планирования (расчетная лесосека по площади).

В качестве исходных данных для оптимизации планирования главного пользования используются: 1) параметры оптимизации – период планирования, значения ограничений, режим планирования, критерий оптимальности; 2) прогнозные значения средних диаметров, высот, запасов и товарной структуры древостоев по выделам на каждый год периода планирования.

Исходная информация для проведения прогнозов выбирается из повыведельной базы данных ГИС «Лесные ресурсы». Определение товарной структуры древостоев, планируемых к рубке, выполняется по товарным таблицам В.Ф. Багин-

ского и А.Г. Костенко, представленных в электронной форме.

Для поиска оптимального решения используется итерационный алгоритм симплекс-метода. Результатом проведения оптимизации планирования рубок главного пользования являются: 1) план очередности назначения лесосек в рубку; 2) объемы деловой древесины по категориям крупности и древесным породам, планируемых к рубке по годам плана; 3) значение целевой функции; 4) динамика размера лесопользования (по площади и массе) по годам планирования; 5) двойственные оценки ресурсов модели, т. е. увеличение размера лесопользования на дополнительный гектар площади лесов.

Применение модели линейного программирования для оптимизации планирования главного пользования предполагает, что запас насаждения, его средний диаметр и средняя высота ежегодно увеличиваются в соответствии с определенными функциями роста.

Прогноз запасов, средних диаметров и высот сосновых древостоев выполнен по регрессионным моделям проф. О.А. Атрощенко [2].

$$\lg P_{\Delta M} = b_0 + b_1 \lg A + b_2 \lg M, \quad (7)$$

$$\lg P_{D,H} = b_0 + b_1 \lg A + b_2 \lg^2 A + b_3 \lg H_{100}, \quad (8)$$

где $P_{\Delta M}$ – процент текущего изменения запасов древостоев; b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты регрессий в зависимости от древесной породы; A – возраст насаждения, лет; M – запас древостоя на выделе, m^3 ; $P_{D,H}$ – процент текущего изменения среднего диаметра и средней высоты соответственно; H_{100} – индекс класса бонитета.

Определение прогнозных таксационных показателей выполняется по формулам:

$$D_{A+n} = D_A + D_A P_{Dn}, \quad (9)$$

$$M_{A+n} = M_A + M_A P_{Mn}, \quad (10)$$

$$H_{A+n} = H_A + H_A P_{Hn}, \quad (11)$$

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

Модели повыделной актуализации (7), (8) оценивались по систематическим и среднеквадратическим ошибкам путем сравнения данных прогноза с данными перечислительной таксации на пробных площадях. Всего было заложено 32 временные пробные площади в спелых сосновых древостоях Сморгонского, Вилейского, Лепельского и Полоцкого лесхозов. Прогнозы выполнялись на период 1–10 лет. Анализ результатов расчетов показал, что от-

клонения прогнозных данных по основным таксационным показателям древостоев находятся в пределах установленных лесоустойчивой инструкцией нормативов. Систематическая ошибка прогноза средней высоты спелых сосновых древостоев составила +0,4%, среднего диаметра – (+2,6%), запаса древостоев – (–1,9%). Среднеквадратическая ошибка прогноза средней высоты составила ±3,2%, среднего диаметра – ±4,0%, запаса – ±4,3%.

На основании моделей прогноза роста сосновых древостоев и оптимизационной модели линейного программирования создана имитационная система оптимизации планирования главного пользования в ГИС «Лесные ресурсы».

Анализ модели линейного программирования выполнялся по данным таксации сосновых древостоев эксплуатационного фонда, полученным при базовом лесоустройстве Сморгонского, Вилейского и Лепельского лесхозов.

Поскольку в модели линейного программирования может быть задано неопределенно большое число возможных схем ограничений, при выполнении расчетов приняты некоторые общие допущения: 1) составление плана рубок главного пользования производится на ревизионный период (10 лет); 2) в рубку должны быть назначены все насаждения, участвующие в расчете; 3) отклонение размера лесопользования за год должно составлять не более 15% от среднегодового пользования за период планирования. При расчете оптимальных планов рубок задавались следующие режимы пользования: 1) равномерное лесопользование по запасу на протяжении всего периода планирования; 2) относительно равномерное лесопользование с предельно допустимым отклонением расчетной лесосеки за год от средней за период планирования на 15%, 10%, 5%; 3) равномерно возрастающее лесопользование с темпом увеличения 1,5% в год по отношению к предыдущему году. При этом расчеты выполнялись поочередно для трех критериев оптимальности: 1) максимальный выход крупной деловой древесины; 2) максимальный выход крупной и средней деловой древесины; 3) максимальная таксовая стоимость леса на корню. Таким образом, в общей сложности рассчитывалось 15 вариантов оптимальных планов рубок.

Анализ результатов показывает, что для оптимальных планов рубок характерно увеличение общего среднего запаса лесосекового фонда на 1–3 m^3 /га, крупной деловой древесины – на 2–3 m^3 /га. Средний возраст вырубаемых древостоев увеличивается на 0,2–0,8 года.

**Отклонения размера лесопользования при оптимальных планах рубок
от запроектированного при базовом лесоустройстве (Сморгонский опытный лесхоз)**

Вариант расчета	Отклонение запаса, м ³				
	общий	ликвид			
		крупная деловая	средняя деловая	мелкая деловая	дровяная
1	442	697	-247	-24	-26
2	519	494	65	-74	-7
3	545	700	-109	-52	-40
4	639	966	-329	-49	-18
5	704	754	-10	-102	-5
6	735	973	-194	-77	-35
7	575	876	-302	-39	-20
8	644	662	21	-92	-2
9	669	884	-171	-67	-38
10	509	788	-276	-31	-22
11	583	578	42	-82	-4
12	607	792	-140	-60	-39
13	509	788	-277	-31	-22
14	582	581	41	-83	-4
15	608	792	-138	-59	-39

При характеристике общего размера пользования в сосновых лесах необходимо отметить рост суммарного объема лесопользования и увеличение выхода крупной деловой древесины для всех вариантов расчета (таблица).

Выход деловой древесины средней крупности в большинстве вариантов расчета уменьшается. В случаях использования в качестве критерия оптимальности максимального суммарного выхода крупной и средней древесины сосны наблюдается некоторое увеличение выхода средней деловой древесины (варианты 2, 5, 8, 11, 14). Во всех вариантах расчета уменьшается выход мелкой деловой и дровяной древесины. Таким образом, оптимизация планирования главного лесопользования позволяет не только увеличить общий размер лесопользования, но и улучшить товарную структуру эксплуатационного фонда.

Наиболее высокие показатели размера главного пользования достигаются при относительно равномерном режиме планирования с предельно допустимым отклонением ежегодного размера пользования от среднего на 15% (варианты 4, 5, 6). Далее наблюдается закономерное уменьшение размера главного пользования для относительно равномерного режима планирования с предельно допустимым отклонением расчетной лесосеки за год от средней за период планирования на 10% (варианты 7, 8, 9), на 5% (варианты 10, 11, 12), а также для равномерно возрастающего лесопользования с темпом увеличения 1,5% по отношению к предыдущему году (варианты 13, 14, 15). Наименьший размер пользования характерен для расчетов при равномерном планировании главного пользования (варианты 1, 2, 3).

При рассмотрении экономической эффективности планирования рубок главного пользования необходимо произвести оценку увеличения размера главного пользования и улучшения товарной структуры лесосечного фонда.

Расчет экономической эффективности планирования рубок главного пользования в сосновых лесах произведен согласно лесным таксам от 22.01.2004. При проведении расчетов экономического эффекта предполагалось, что затраты на заготовку древесины и ее вывозку при оптимальном плане рубок и при плане рубок, составленном при базовом лесоустройстве, одинаковы. Прирост таксовой стоимости запаса древостоев эксплуатационного фонда определялся как отношение увеличения таксовой стоимости к общему размеру лесопользования, запроектированному при базовом лесоустройстве.

Наибольший прирост таксовой стоимости достигается при выборе в качестве критерия оптимальности таксовой стоимости леса на корню, поскольку в данном случае в уравнении целевой функции учитывается товарная ценность всех древесных пород, входящих в состав эксплуатационного фонда. Наименьшая эффективность модели оптимизации планирования получена при выборе в качестве критерия оптимальности максимального выхода крупной и средней деловой древесины (рисунок).

Сравнительный анализ эффективности при различных режимах планирования показывает, что при прочих равных условиях наиболее эффективен вариант относительно равномерного планирования с максимально допустимым отклонением годичной лесосеки от средней $\pm 15\%$. Наименьшая эффективность наблюдается при равномерном планировании лесопользования (рисунок).

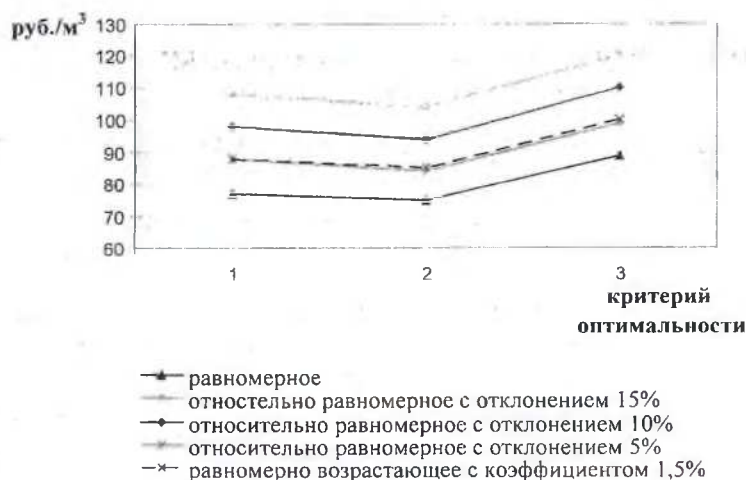


Рис. Прирост таксовой стоимости леса на корню при разных вариантах планирования и критериях оптимальности (Сморгонский опытный лесхоз), руб./м³: 1 – максимальный выход крупной деловой древесины; 2 – максимальный выход крупной и средней деловой древесины; 3 – максимальная таксовая стоимость леса на корню

По результатам расчетов среднее значение прироста таксовой стоимости при оптимизации планирования главного пользования в сосновых лесах Сморгонского, Вилейского и Лепельского лесхозов составляет 78 руб./м³. Среднегодовая расчетная лесосека по рубкам главного пользования в сосновых лесах Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь равна 2210,9 тыс. м³ (за 1999–2002 гг.). Тогда среднегодовой экономический эффект при оптимизации планирования рубок главного пользования в сосновых лесах Министерства лесного хозяйства может составить 172 млн. руб. (в ценах лесных такс от 22.01.2004).

Таким образом, оптимизация планирования главного лесопользования позволяет увеличить размер пользования лесом, улучшить товарную структуру заготавливаемой древесины, что в целом позволит получить дополнительный экономический эффект и будет способствовать более рациональному использованию лесных ресурсов.

Литература

1. Атрощенко О.А. Проблема оптимизации лесопользования в Белоруссии // Проблемы лесопользования в западном регионе СССР: Материалы межреспубликанской научной конференции. – Гомель: БелНИИЛХ, 1990. – С. 58–68.
2. Атрощенко О.А. Лесотаксационные нормативы для актуализации лесного фонда БССР // Лесоведение и лесное хозяйство: Сб. – Мн.: Вышэйшая школа, 1985. – № 20. – С. 80–83.
3. Багинский В.Ф., Есимчик Л.Д. Лесопользование в Беларуси: История, современное состояние, проблемы перспективы. – Мн.: Беларуская навука, 1996. – 367 с.
4. Буй А.А. Планирование главного лесопользования на основе методов исследования операций с использованием ГИС «Лесные ресурсы» // Тр. БГТУ Сер. I. Лесн. хоз-во. – Мн., 1996. – Вып. 4. – С. 94–96.
5. Таха Х. Введение в исследование операций. – М.: Мир, 1985. – 479 с.