

УДК 630*624

О. А. Атрощенко, профессор; А. В. Гутырчик, аспирант

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ УЧАСТКОВОМ МЕТОДЕ ЛЕСОУСТРОЙСТВА

The question of forest harvesting optimization by linear programming and by programs of stand formation at a divisional method of forest inventory is considered.

Современное лесоустройство стран с развитым лесным хозяйством характеризуется организацией целевого лесовыращивания по участковому методу на базе детального обследования условий местопроизрастания, широким применением объективных выборочных методов инвентаризации древостоев, использованием достижений спутниковой геодезии, лазерных и электронных таксационных приборов, максимальной компьютеризацией технологических процессов. ГИС-технологии значительно расширили и подняли на новый уровень возможности лесоустроительного проектирования и повышения продуктивности и устойчивости лесов.

Существующая технология лесоустроительных работ в Беларуси базируется на методе классов возраста, который не позволяет в достаточной степени учитывать индивидуальные особенности роста и развития древостоев, на преимущественно глазомерной таксации, характеризующейся недопустимыми в условиях интенсивного ведения лесного хозяйства среднеквадратическими и систематическими ошибками определения характеристик лесов. Практически не применяются экономико-математические методы оптимизации породной и возрастной структуры, многовариантные расчеты пользования-лесовосстановления, затруднено получение информации о лесах, не предусмотренной стандартными формами учета.

Лесоустройству как системе государственных мероприятий, без которых невозможно ведение рационального хозяйства в лесах, отводится важнейшая роль ускорителя технического прогресса в лесохозяйственной отрасли.

Основу лесоустроительного проектирования составляет рациональное (оптимальное) проектирование размеров лесопользования и лесовосстановления. В основе большинства существующих методов расчета размера лесопользования лежит принцип непрерывного пользования лесом, вытекающий из теории нормального леса. В основу теории нормального леса положены четыре требования: наивысший средний прирост насаждений, равномерное распределение насаждений по классам возраста в пределах оборота рубки; нормальное (оптимальное) распределение насаждений по территории; качество прироста и запаса насаждений, которые должны обеспечивать постоянный лесной доход и рентабельность капиталовложений. В настоящее время основной задачей лесоустройства является разработка моделей целевых (оптимальных) древостоев и целевых (оптимальных) лесов, моделей лесного многоцелевого хозяйства [1].

Задача оптимизации главного лесопользования может быть решена путем оценки максимального размера лесопользования при данных условиях и ограничениях. Целевая функция – максимум размера лесопользования. Оптимальное решение соответствует действию модели линейного программирования:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{i,j} X_{i,j} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $M_{i,j}$ – запас, вырубемый в i -м квартале в j -м году (лесосека по массе); $X_{i,j}$ – лесосека по площади в i -м квартале в j -м году при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n X_{i,j} \leq A_i, \quad (2)$$

где A_i – общая площадь i -го квартала; m – число квадратов; n – число периодов рубки.

Размер главного пользования может быть постоянным, возрастающим и убывающим. Если в хозсекции наблюдается равномерное распределение насаждений по классам возраста, то размер главного пользования может быть постоянным, т. е. лесосека по массе в $j + 1$ -м году равна лесосеке в j -м предыдущем году:

$$\sum_{i=1}^m M_{i,j+1} X_{i,j+1} = \sum_{i=1}^m V_{i,j} X_{i,j}. \quad (3)$$

Если увеличить размер пользования в $j + 1$ -м году на P процентов к j -му году, то получится ограничение к целевой функции:

$$\sum_{i=1}^m M_{i,j+1} X_{i,j+1} = \left(\frac{100 + P_{j+1}}{100} \right) \sum_{i=1}^m M_{i,j} X_{i,j}. \quad (4)$$

Чтобы уменьшить размер пользования, в формулу подставляется отрицательное значение P_{j+1} .

Если план главных рубок составляется на Y лет, (например, $Y = 20$ лет), а оборот рубки в насаждениях равен R (например, $R = 100$ лет), то в модель оптимизации (1) вводится ограничение, чтобы общая площадь ежегодной рубки не превышала отношения Y/R :

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{i,j} \leq (Y/R) \sum_{i=1}^m A_i. \quad (5)$$

Можно предписать различный оборот рубки различным участкам леса (кварталам, насаждениям и т. д.), тогда ограничение в модели (1) будет следующим:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{i,j} \leq Y \sum_{i=1}^m A_i / R_i, \quad (6)$$

где R_i – оборот рубки в i -м квартале.

Если объем рубки не должен превышать прироста, то в модель вводится ограничение

$$\sum_{j=1}^n M_{i,j} X_{i,j} \leq Z_{i,j}, \quad (7)$$

где $Z_{i,j}$ – текущий прирост по запасу в i -м квартале в j -м году.

Американские исследователи разработали систему *MAX-million* планирования главных рубок и лесовосстановления [1]. Цель лесоправления – привести существующие леса на определенной территории к "целевому лесу", т. е. разработать оптимальный

план рубок леса. Предполагается сплошная рубка с последующим созданием лесных культур. Целевая функция – максимум прибыли:

$$\Pi = \sum_{i=1}^z \sum_{k=1}^m X_{ik} D_{ik} \rightarrow \max, \quad (8)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^s \sum_{k=1}^m Z_{ijk} X_{ik} \geq L_j, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^s \sum_{k=1}^m Z_{ijk} X_{ik} \leq f_j, \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^s \sum_{k=1}^m Y_{ijk} X_{ik} \geq b_i, \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^s \sum_{k=1}^m Y_{ijk} X_{ik} \leq C_j, \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^m X_{ik} = 1, X_{i,k} = 0, \quad (13)$$

где X_{ik} – i -й участок рубки, пройденный по k -му плану; D_{ik} – прибыль от i -го участка при k -й схеме рубки; Z_{ijk} – площадь лесовосстановления в i -м участке леса в j -м периоде рубки при k -м режиме лесоуправления; Y_{ijk} – производительность насаждений i -го участка леса в j -м периоде рубки при k -м режиме лесоуправления; $i = 1, \dots, S$ – число участков (блоков, насаждений) главной рубки; $j = 1, \dots, n$ – число периодов рубки; $k = 1, \dots, m$ – число режимов лесоуправления.

Неравенства (9) и (10) – ограничения на лесовосстановление (площадь равна L_j , но не больше f_j); (11) и (12) – ограничения на производительность насаждений (площадь равна b_j , но не больше прироста C_j).

Оптимизацию размера главного пользования в лесных предприятиях предлагают осуществлять по модели

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_i X_{i,j} + \sum_{i=1}^m Z_m 10^i Y_{im} \rightarrow \max, \quad (14)$$

при ограничениях

$$X_j - X_{j+1} \leq \alpha X_{ji},$$

$$L_1 \leq L_{сн} + L_{сп},$$

где F – целевая функция (максимум размера пользования); M_i – запас древесины требуемого качества в i -м классе возраста, $m^3/\text{га}$; m – номер класса возраста технической спелости; n – число классов возраста; $X_{i,j}$ – площадь насаждений i -го класса возраста, назначаемых в расчет в j -м десятилетии; Z_m – среднее изменение запаса товарной древесины в возрасте технической спелости, m^3 ; Y_m – площадь насаждений i -го класса возраста к концу оборота рубки; α – коэффициент, регулирующий размерность лесополь-

зования (для лесов 2 группы $\alpha = 0.15$); L_1 – лесосека первого десятилетия; $L_{сп}$ – лесосека по спелости; $L_{сп}$ – лесосека поспевания.

Модель регулирования лесов (целевые леса) при многоцелевой функции ведения лесного хозяйства (выращивание древесины, других продуктов леса, защитные и социальные функции и т. д.) может быть сложной, и решить задачу оптимизации многоцелевого лесопользования весьма проблематично. Применение методов математического программирования дало возможность оценивать несколько переменных в модели оптимизации.

В обычной модели линейного программирования в целевой функции при оптимизации берется одна переменная (максимум лесопользования, минимум затрат и т. д.), а другие переменные представляют ограничения целевой функции. Такая структура модели оптимизации является эффективной, если переменная целевой функции и переменные ограничения не взаимозаменяемы, т. е. ограничения накладываются окружающей средой (цены, площади и т. д.). Если ограничения составляют часть целевой функции, т. е. они взаимозаменяемы, то оптимальное решение в модели получить практически невозможно.

Целенаправленный, хорошо организованный и профессионально выполненный уход в насаждениях является решающим фактором производственного успеха. Предпосылкой такого ухода при УМЛ является квалифицированное индивидуальное планирование, при котором учитываются все цели ведения хозяйства в соответствии с их иерархией, особенностями насаждения и потенциалом условий произрастания.

Подобное планирование можно осуществить на основе использования программ формирования древостоев, основанных на моделях роста и производительности [2,3]. Особую ценность имеют программы формирования древостоев при различных режимах рубок ухода, показывающие размерно-качественную характеристику древесины, вырубаемой при рубках главного и промежуточного пользования.

Разработаны имитационные модели, позволяющие просчитать на ПЭВМ различные режимы рубок ухода по повторяемости, интенсивности для каждого выдела в зависимости от первоначального числа деревьев на 1 га или других таксационных показателей [4]. Моделирование рубок ухода дает возможность получить информацию о выходе промышленных сортиментов, общей производительности древостоя за оборот рубки, приросте древостоев по запасу. Особое внимание при этом уделяется экономической спелости и прибыли от общей производительности выращиваемых насаждений. Эта информация позволяет выбрать для конкретного выдела вариант с максимальной общей производительностью и наибольшим выходом деловой крупномерной древесины при наименьшем обороте рубки.

Упомянутые модели должны быть усовершенствованы для применения их в смешанных и сложных насаждениях всех основных лесобразующих пород. Для сравнения понадобится и вариант расчета с суммарным планированием в пределах породы для групп насаждений, где необходима одинаковая интенсивность ухода.

При этом программное обеспечение должно давать возможность произвести расчет для следующих условий: по назначенным в уход выделам на момент расчета; с учетом насаждений, которые потребуют ухода в будущем (т. н. "приходящих"); с учетом прироста насаждений; с учетом прироста и приходящих насаждений.

Рубки ухода являются важным инструментом в формировании лесов, соответствующих целевому составу древостоев на основе карты лесов будущего.

Одним из способов решения проблемы оптимизации многоцелевого использования лесных ресурсов является обобщение всех целей в одну функцию полезности. Конечная цель лесопользования – максимизация полезности (практической выгоды) от вложения капитала в лесохозяйственное производство.

В Финляндии разработана система MISS – лесоинвентаризации и планирования лесного хозяйства. Создана автоматизированная система долгосрочного планирования лесопользования и подготовки программ рубок леса на основе модели производства древесины.

Модель для долгосрочного производства древесины разработана для прогноза динамики лесных площадей объекта и принятия оптимальных решений проведения лесохозяйственных мероприятий в насаждениях с целью получения максимального размера лесопользования при данных капиталовложениях [5].

Модель для производства древесины имеет две основные системы – прогноз и принятие решения. В систему «прогноз» вносят текущие изменения после лесоинвентаризации. Прогнозирование роста насаждений производится по таблицам хода роста (для молодняков) и регрессионным моделям. В системе «принятие решения» определяются оптимальные лесохозяйственные мероприятия (рубки леса, естественное и искусственное лесовосстановление, осушение и применение удобрений), которые необходимо выполнить в вычислительных единицах.

Решения, в свою очередь, подразделяются на фактические и автоматические.

Автоматические решения на ЭВМ применяются в отношении рубок леса и лесовосстановления. Оптимизация схем ухода в насаждении в течение оборота рубки рассматривается как экономическая проблема, решаемая с помощью маргинального анализа [5]. Лесовыращивание – процесс производства древесины, главный фактор которого есть оценка земли (X_1) и растущего запаса (X_2). Этот процесс описывается следующей функцией производства:

$$Y = \left(\frac{W}{x_3, \dots, x_n} \right) x_1, \quad (15)$$

где $W = x_2$; x_1 ; Y – текущий годичный прирост по запасу древостоя; x_3, \dots, x_n – другие факторы, которые предполагаются постоянными.

Общая цель лесопользования – получение максимальной прибыли от выращивания древесины на единице площади. Ведущий процент оборота капитала (земли и растущего запаса), или процент интереса, выражает минимальный процент прибыли на капиталовложения на производство древесины:

$$P = \sqrt[n]{\frac{g+s}{S}}, \quad (16)$$

где P – процент интереса в десятых долях; n – период капиталовложения, лет; g – маргинальная оценка текущего прироста по запасу за период « n »; s – капиталовложения для получения дополнительной единицы (1 м^3) растущего запаса.

Оптимальный оборот рубки, установленный для совокупности насаждений хозяйственной секции, может значительно отклоняться от оптимальных оборотов рубки для отдельных насаждений. Оптимальные схемы ухода в насаждениях (с целью получения максимума прибыли) разрабатываются на ЭВМ путем установления оптимального уровня растущего запаса и оптимального оборота рубки для каждого насаждения. Рациональ-

ный уровень растущего запаса насаждения с точки зрения долгосрочного производства древесины тот, при котором маргинальная продуктивность земли и растущего запаса являются положительными величинами.

Имитация схем рубок леса выполняется на ЭВМ для 10 ведущих процентов интереса: 0,5; 1; ...; 5, т. е. практически для двух насаждений возможно 100 потенциальных схем рубок леса. Альтернативные схемы ухода в насаждениях моделируются с помощью имитационной модели, выход которой используется в качестве входной информации для подготовки модели линейного программирования. Оптимальные схемы ухода соответствуют действиям модели линейного программирования [5]: максимум

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_j} C_{ij} x_{ij} \quad (17)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{n_j} x_{ij} = b_j (j = 1, \dots, m),$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} d_{ijk} x_{ij} \leq d_k; k = 1, \dots, p; x_{ij} \geq 0,$$

где x_{ij} – часть вычислительной единицы (i), пройденной уходом в соответствии со схемой ухода j, га; C_{ij} – коэффициент целевой функции, соответствующий действию x_{ij} ; b_j – площадь вычислительной единицы (i), га; d_k – ограничения переменной (k); d_{ijk} – число переменных (k) при действии (x...); m – число вычисленных единиц; n_j – число схем ухода для вычислительной единицы (i); p – число ограничений.

Целевая функция (Z) – максимальная прибыль в конце каждого 10-летнего периода планирования. Оптимальная схема ухода (j) для насаждения (i) получена так же, как максимум минимальной стоимости насаждения (Y_{ij}), определяющейся по формуле

$$Y_{ij} = C_{ij} + \sum_{k=1}^p W_k d_{ijk}, \quad (18)$$

где W_k – минимальная цена, соответствующая ограничению d_k .

Автоматизированная система долгосрочного планирования лесопользования может представить различные программы производства древесины в зависимости от возможных границ производства, периода прогноза и уровня цен на древесину.

Практическое применение модели производства древесины зависит от ряда факторов. Наибольшее значение имеют надежные данные о росте и производительности насаждений.

С точки зрения рационального использования земли и растущего запаса процесс производства древесины будет частью лесного предпринимательства. Общая цель лесопользования – получение максимальной полезности от процесса лесовыращивания. Капиталом являются земля и растущий запас насаждений. Необходимо так распорядиться капиталом, чтобы получить максимум функции полезности.

С помощью оптимального плана рубок леса лесовод может контролировать уровень растущего запаса древостоев, прирост, возрастную и породную структуры лесов, оборот капитала и прибыль предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атрощенко О.А. Исследование операций в лесохозяйственных задачах: Учебное пособие по дисциплинам "ЭВМ в лесном хозяйстве и лесоустройстве", "Математические методы и модели в расчетах на ЭВМ" для студ. спец. 31.12. Ч. II. Мн.: БТИ им. С.М. Кирова, 1992.
2. Детальный план реализации Компонента Проекта развития лесного хозяйства Республики Беларусь. – Мн., МЛХ РБ, 1994.
3. Forest Resources of the United States, 1992 / USDA Forest Service. – Washington, 1993.
4. Севко О.А. Моделирование оптимальной производительности естественных сосновых древостоев в условиях Беларуси. Дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02. – Мн., 1997.
5. Атрощенко О.А. Автоматизированная система долгосрочного планирования лесопользования в Финляндии // Лесное хозяйство. 1980. № 12. С. 68-71.

УДК 630*181

Г. Я. Климчик, доцент; Л. С. Пашкевич, доцент; Л. И. Мухуров, ассистент

**РАЗНООБРАЗИЕ ТРАВЯНИСТОЙ И ПОДЛЕСОЧНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ НЕМАНСКОГО
КОМПЛЕКСА ЛЕСНЫХ МАССИВОВ**

The grassy and underforest vegetation biovariety for a northeast part of Nyoman-sky wood's complex is determined.

Еловые леса распространены в пределах северо-восточной части Неманского комплекса лесных массивов мелкими разрозненными участками и занимают наиболее плодородные и достаточно увлажненные почвы. В зависимости от плодородия почвы они подразделяются на субборовые, судубравные и дубравные, а в зависимости от степени и характера ее увлажнения – на свежие, влажные, сырые и мокрые, с наполняющими их 12 типами леса и характерной растительностью.

Ельники субборовые занимают 0.6% площади формации и представлены брусничным (0.4%), долгомошным (0.1%) и осоковым (0.1%) типами леса. Подлесок очень редкий, из можжевельника обыкновенного, лещины, рябины, бересклета бородавчатого, крушины ломкой, черемухи обыкновенной, ив.

В напочвенном покрове установлено 4 вида мхов и 15 видов сосудистых растений, в том числе 1 хвощ, 1 плаун, 1 папоротник, 12 покрытосеменных. Последние представлены 4 видами однодольных, относящихся к 3 семействам (Poaceae, Juncaceae, Liliaceae), и 8 видами двудольных из 5 семейств (Ericaceae, Rosaceae, Scrophulariaceae, Oxalidaceae, Lamiaceae).

Основу травяно-кустарничкового яруса составляют брусника, вейник наземный, часты вереск, черника, ландыш майский, ожика волосистая, орляк обыкновенный, кислица.

Доминантами мохового покрова выступают плеурозиум Шребера, дикранум многоножковый.

Судубравные ельники самые распространенные на территории комплекса и занимают 57,8% площади формации. Напочвенный покров их богат и разнообразен. Здесь установлено наибольшее количество видов, которое колеблется от 38 (30 сосудистых и 8 мхов) во влажных ельниках до 63 (49 сосудистых и 14 мхов) видов в сырых ельниках.