



3. ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ЛЕСНАЯ ТАКСАЦИЯ, ЭКОНОМИКА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 630*624

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕСОТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА РУБОК ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Лещинский С.Ю.

*Белорусский государственный технологический университет
(г. Минск, Беларусь)*

Введение. При оптимизации плана рубок главного пользования (РГП) решение об очередности назначения участков в рубку часто выполняется на основе таксационных показателей (ТП) насаждений и прогноза их динамики в течение периода планирования [1, 2]. Ошибки при определении ТП могут вести к снижению качества разрабатываемых планов рубок. Целью настоящей работы является изучение влияния ошибок в ТП насаждений на оптимальность планов РГП.

K. Duvemo и T. Lamas [3] подразделяет методы оценки потерь, связанных с ошибками в ТП, на аналитические и имитационные. При использовании аналитических методов потери при планировании определяются как

функция от точности определения ТП. Например, Антанайтис В.В. и др. [4] для оценки потерь, связанных с неточным определением запаса насаждений, рекомендуют пользоваться формулой:

$$П = M \times C_M \times P_M / 100 \quad (1)$$

где P_M – точность определения запаса для совокупности выделов, предназначенных к РГП, %, M – средний запас на выделе, м³/га, C_M – таксовая цена древесины руб./м³.

Имитационные методы основываются на моделировании ошибок в исходных данных при составлении плана хозяйственных мероприятий [3]. Примеры использования имитационных методов можно найти в работах [5-7]. Отклонения в ТП, вносимые при исследовании, могут носить случайный [5,7] и детерминированный характер [6]. Случайные отклонения могут быть независимыми [5] или коррелировать между собой [7]. Для получения усредненных результатов расчет проводят большое число раз (по 100 раз в работах [5, 7]).

Анализ потерь проводится, как правило, для небольшого числа насаждений: 12, 25 и 40 в работах [7,5,6] соответственно. Назначение схемы хозяйственных мероприятий может проводиться независимо для каждого из насаждений [6,7] или в рамках единой оптимизационной задачи [5]. Потери из-за неточных данных обычно выражаются в денежном виде [5-7], но могут измеряться и в иных показателях (например, снижении прироста древостоев) [7].

Методика и объекты исследования. Для расчета оптимальных планов РГП применялась модель линейного программирования (ЛП) хорошо известная в литературе [1,2]. Целевой функцией задачи была максимизация дисконтированной таксовой стоимости древесины в результате реализации плана рубок:

$$Z = \sum_{i \in I} \sum_{t=1}^{n+1} \frac{x_{it} c_{it}}{(1+r)^t} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где x_{it} – площадь i -того участка, поступившая в рубку в t -том году, га; c_{it} – таксовая стоимость запаса древесины в i -том выделе в t -ом году, тыс. руб./га; r – ставка дисконтирования (СД); I – совокупность выделов, включенных в расчет. Дополнительно анализировалась целевая функция, которая максимизирует среднегодовое значение таксовой стоимости за период лесовыращивания для насаждений, включенных в план рубки:

$$Z = \sum_{i \in I} \sum_{t=1}^{n+1} \frac{x_{it} c_{it}}{\prod_{y=1}^t (1 + \frac{1}{A_i + t})} \rightarrow \max, \quad (3)$$

где A_i – текущий возраст i -того насаждения.

Ограничениями задачи служили площади участков (4), установленный размер пользования по отдельным годам (5) и за ревизионный период (6):

$$\sum_{t=1}^{n+1} x_{it} \leq s_i, \quad i \in I; \quad (4)$$

$$L \times (1 - d^{ann.}) \leq \sum_{i \in I} v_{it} x_{it} \leq L \times (1 + d^{ann.}), \quad t = 1, \dots, n; \quad (5)$$

$$n \times L \times (1 - d^{per.}) \leq \sum_{i \in I} \sum_{t=1}^n v_{it} x_{it} \leq n \times L \times (1 + d^{per.}), \quad (6)$$

где s_i – площадь i -того насаждения; v_{it} – запас в i -том выделе t -том году, м³/га; $d^{ann.}$, $d^{per.}$ – предельные относительные отклонения от расчетной лесосеки по годам и за ревизионный период соответственно; L – расчетная лесосека по РГП, м³. Для обеспечения набора в рубку всех участков использовалось ограничение:

$$\sum_{i \in I} \sum_{t=1}^{n+1} x_{it} = \sum_{i \in I} s_i. \quad (7)$$

Расчет выполнялся для спелых и перестойных сосновых насаждений лесов второй группы Столбцовского лесхоза. Период планирования составлял 10 лет. Количество выделов в лесосечном фонде – 147, их суммарная площадь – 398,4 га, общий запас – 104,6 тыс.м³. Средний возраст насаждений – 87,9 лет, диаметр – 27,9 см, высота – 23,9 м, полнота – 0,59. Исходные данные для расчетов были получены из проекта ГИС «Лесные ресурсы».

Для прогноза динамики средних высот и диаметров насаждений использовались данные таблиц хода роста (ТХР) Моисеенко Ф.П. и Багинского В.Ф. для сосны и осины, Моисеенко Ф.П. для дуба, Мирошников В.С. и Трулля О.А. для ели, Атрощенко О.А. для березы [8]. Закономерности изменения высоты и диаметра в зависимости от возраста, приведенные в ТХР, сглаживались уравнением Дракина-Вуевского. В случае отсутствия класса бонитета расчет выполнялся по максимально близкому классу. Прогноз роста выполнялся для всех элементов леса первого и второго ярусов с долей участия в составе не менее 1 единицы. Для получения прогнозных значений средних диаметров и высот для t -того года ревизионного периода использовалась формула:

$$T_{A+t} = \frac{T_A}{T_A^p} \times T_{A+t}^p, \quad (8)$$

где T_A – значение показателя в настоящее время; T_A^p – значения показателя для возраста A согласно регрессионному уравнению для данной породы и класса бонитета. Прогноз динамики запасов древостоев выполнялся на осно-

вании прогнозных средних высот и стандартных таблиц сумм площадей сечений и запасов древостоев при полноте 1,0. Относительная полнота древостоев в течение периода планирования при этом считалось неизменной. Для товаризации древесного запаса использовались товарные таблицы Багинского В.Ф., Костенко А.Г. [8]. Оценка таксовой стоимости запаса выполнялась по таксовым ценам 2004 года.

В виду дефицита спелых лесов в качестве расчетной была принята лесосека, устанавливающая десятилетний срок использования эксплуатационного фонда. При наборе участков в рубку устанавливались 15%-ные отклонения от расчетной лесосеки по годам и 5%-ные отклонения за ревизионный период. Формирование и решение задач ЛП выполнялось с помощью программы на языке VBA, написанной автором.

При составлении планов рубок считалось, что первоначальные значения ТП являются истинными и не содержат ошибок. Для моделирования ошибок в ТП в исходные данные вносились отклонения. Отклонения были, во-первых, случайными, во-вторых, нормально распределенными относительно истинного значения, в-третьих, характеризовались заданной величиной среднеквадратического отклонения по каждому из показателей. Для генерирования таких отклонений использовалась функция обратного нормального распределения. Аргументами этой функции являются: математическое ожидание (μ) и дисперсия (σ^2) для распределения случайной величины, а также заданный уровень вероятности (p) в диапазоне от 0 до 1. Исходное значение таксационного показателя выступало в качестве математического ожидания. В качестве дисперсии использовалась среднеквадратическая ошибка определения показателя. Вероятность в диапазоне от 0 до 1 получалась при помощи генерации случайных чисел. Пример распределения отклонений, внесенных в ТП древостоев, представлен на рис. 1. Отклонения вносились в следующие показатели: возраст, диаметр, высота и относительная полнота. При изменении высоты или возраста для преобладающего элемента леса пересчитывался класс бонитета для насаждения. Исследовались 5 уровней отклонений (табл. 1). Отклонения для разных ТП одного насаждения были независимыми.

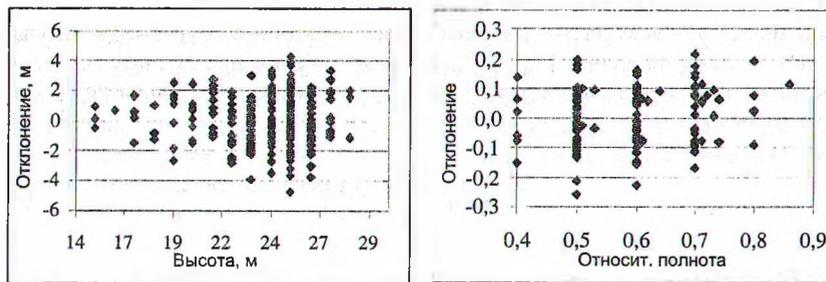


Рис. 1 – Случайные нормально распределенные отклонения в ТП насаждений ($V_H = 6,90\%$; $\sigma_p = 0,074$)

Дополнительно выполнялись расчеты при 5% и 10% вариации текущего прироста по диаметру и высоте. Относительная величина отклонения текущего прироста от прогнозного значения для конкретного насаждения определялась случайным образом и использовалась в течение всего ревизионного периода. Для совокупности насаждений отклонения прироста от расчетных значений были случайными и нормально распределенными. Вариация прироста для одного насаждения в пределах периода планирования, вызванная климатическими факторами, не рассматривалась.

Таблица 1 - Среднеквадратические отклонения, используемые в расчетах

Вариант расчета	Возраст, лет	Диаметр, %	Высота, %	Полнота
Вариант 1	±10	±20	±14	±0,1
Вариант 2	±7,5	±15	±10	±0,075
Вариант 3	±5	±10	±7	±0,05
Вариант 4	±2,5	±5	±3,5	±0,025
Вариант 5	±1	±2,5	±2	±0,01

При каждом уровне ошибок рассчитывалось 50 планов рубок. После чего их оптимальность оценивалась с использованием коэффициентов целевой функции, при истинных значениях ТП. Для оценки оптимальности планов использовался коэффициент оптимальности (КО), рассчитанный по формуле:

$$КО = \frac{z - z^{\min}}{z^{\max} - z^{\min}} \times 100, \% \quad (9)$$

где z – значение целевой функции для оцениваемого плана рубок; z^{\max} , z^{\min} – максимальное и минимальное значения целевой функции при данных ограничениях. Минимальное значение целевой функции определялось путем решения задачи ЛП на минимизацию.

Результаты. Средние коэффициенты оптимальности планов рубок при внесении отклонений в отдельные ТП при использовании целевой функции (3) приведены в табл. 2. Наблюдается снижение оптимальности плана рубок по мере увеличения среднеквадратической ошибки определения ТП. Наибольшее снижение оптимальности в случае 3-го варианта отклонений характерно при ошибках в определении возраста и диаметра (9,0%, 6,8% соответственно). Коэффициенты оптимальности в случае ошибок в определении высоты и полноты неожиданно велики (99,1% и 98,6%, соответственно).

Таблица 2- Коэффициенты оптимальности планов рубок при внесении отклонений в отдельные ТП, %

Величина ошибки	Возраст	Диаметр	Высота	Полнота
Вариант 1	82,6 ±0,49	89,3±0,23	98,0±0,07	95,7±0,36
Вариант 3	91,0±0,24	93,2±0,19	99,1±0,03	98,6±0,13
Вариант 5	95,7±0,12	96,3±0,12	99,5±0,06	99,6±0,06

Коэффициенты оптимальности планов рубок для целевой функции (2) при разных СД приведены на рис. 2. Наблюдается 2 типа изменения КО в зависимости от СД. При ошибках определения высоты и полноты максимум оптимальности наблюдается при СД = 1,0%. В случаях ошибок при определении возраста и диаметра наблюдается противоположная тенденция: при СД = 1,0% наблюдается минимум оптимальности.

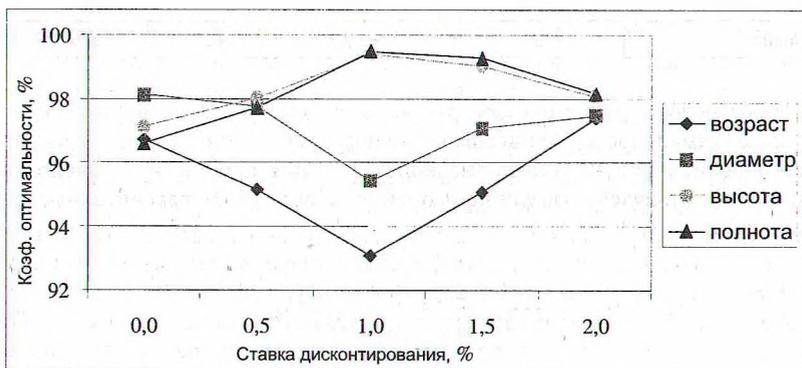


Рис. 2. – Коэффициенты оптимальности планов рубок при разных ставках дисконтирования (вариант 3; отклонения в отдельные ТП)

Обозначим возможные причины наблюдаемых закономерностей. Ошибка определения полноты изменяет величину запаса в настоящий момент времени. Прогнозируемый текущий прирост по запасу изменяется пропорционально изменению самого запаса. Снижение оптимальности планов рубок при этом происходит: а) в основном за счет изменения прогнозируемого прироста запаса в случае низких СД (до 1%); б) в основном за счет изменения наличного запаса при высоких ставках (выше 1%). При СД ≈ 1% эти две тенденции уравновешивают друг друга. Поэтому изменение полноты при СД ≈ 1% оставляют динамику изменения целевой функции для насаждения в течение периода планирования практически неизменной. При ошибках определения высоты, вероятно, имеет место схожая закономерность, поскольку на основании высоты определяется как наличный запас, так и его текущий прирост в течение периода планирования.

Минимум оптимальности планов при 1% СД в случае ошибок по возрасту и диаметру можно объяснить другими причинами. При данной величине СД спелость (максимум целевой функции) для многих насаждений будет наступать в течение периода планирования. Изменения целевой функции для отдельных насаждений при небольших отклонениях от возраста спелости (± 5 лет) сравнительно невелики. Поэтому разность между максимальным и минимальным значениями целевой функции $z^{\max} - z^{\min}$ оказывается минимальной именно при этой величине СД. Если рассматривать величину абсолютных потерь $(z - z^{\min})$, то указанного минимума оптимальности наблюдаться не будет.

Коэффициенты оптимальности планов РГП при внесении отклонений во все ТП (целевая функция (3)) приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Коэффициенты оптимальности планов рубок при внесении ошибок по совокупности ТП, %

Величина ошибки	Вариация прироста, %		
	0	5	10
Вариант 1	76,5 \pm 0,64	76,2 \pm 0,62	75,2 \pm 0,63
Вариант 2	82,2 \pm 0,45	81,5 \pm 0,39	80,0 \pm 0,55
Вариант 3	86,9 \pm 0,29	85,0 \pm 0,37	82,9 \pm 0,46
Вариант 4	92,7 \pm 0,22	89,9 \pm 0,30	85,6 \pm 0,38
Вариант 5	97,0 \pm 0,12	92,4 \pm 0,19	87,3 \pm 0,27

Коэффициенты оптимальности для третьего варианта отклонений, который наиболее близок к нормативной точности определения ТП при лесоустройстве [9], составляет 86,9%. Учет вариации текущего прироста ТП в течение ревизионного периода значительно снижает оптимальность планов только при небольшой величине отклонений (варианты 4 и 5). Отметим, что разность $z^{\max} - z^{\min}$ в случае целевой функции (3) составила 9,97 млн. руб., или 0,7% от суммарной таксовой стоимости запаса. Коэффициенты оптимальности в табл. 3. выражены в процентах от этой величины.

Заключение. 1. Рассмотренный метод оценки может использоваться для обоснования предельного экономического эффекта от оптимизации плана РГП в условиях неточных данных. В случае сосновой хозяйки Столбцовского лесхоза значение целевой функции (3) в среднем оказалось на 1,3 млн. рублей меньшим, чем можно было ожидать при условии абсолютно точных данных (табл.3, вариант 3). В пересчете на 1 га это составит 3,28 тысяч рублей. Отметим, что величина потерь может оказаться большей в случае избытка спелых лесов, когда в течение ревизионного периода вырубается лишь часть эксплуатационного фонда.

2. Представляет интерес использование рассмотренного метода оценки потерь для обоснования точности лесинвентаризации. Для его успешного

применения необходимо учитывать и другие виды потерь, связанных с ошибками определения ТП.

3. Усовершенствование метода лежит в дополнительном учете влияния систематических ошибок определения ТП, а также рассмотрении большего числа факторов при составлении оптимальных планов рубок главного пользования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буй, А.А. Применение методов линейного программирования в планировании рубок главного пользования / А.А. Буй. – Тр. БГТУ Сер. I. Лесное хозяйство. – 1995. – Вып. V. – С. 94-96.

2. Пушкин, А.А. Оптимизация планирования главного пользования в сосновых лесах с использованием методов линейного программирования / А.А. Пушкин. – Тр. БГТУ Сер. I. Лесн. хоз-во. – 2005. – Вып. XIII. – С. 24-27.

3. Duvemo, K. The influence of forest data quality on planning processes in forestry / K. Duvemo, T. Lamas. – Scand. J. For. Res. – 2006. – Vol. 21. – P. 327-339.

4. Нормативы точности и методы таксации древостоев / В.В. Антанайтис, Н.И. Заунене, А.А. Кулешис, Р.А. Юкнис. – Каунас: ЛитСХА, 1975. – 76 с.

5. Eid, T. Use of uncertain inventory data in forestry scenario models and consequential incorrect harvest decisions / T. Eid. – Silva Fennica. – 2000. – Vol. 34(2). – P. 89-100.

6. Holopainen, M. Effect of data acquisition accuracy on timing of stand harvest and expected net present value / M. Holopainen, M. Talvitie. – Silva Fennica. – 2006. – Vol. 40(3). – P. 531-543.

7. Kangas, A.S. Optimization bias in forest management planning solutions due to error in forest variables / A.S. Kangas, J. Kangas. – Silva Fennica. – 1999. – Vol. 33(4). – P. 303-315.

8. Мирошников, В.С. Справочник таксатора / В.С. Мирошников, О.А. Труль, В.Е. Ермаков и др. – Минск, 1980. – 360 с.

9. Инструкция по проведению лесоустройства государственного лесного фонда: Утв. Комлесхоз. Республики Беларусь: 23.09.2002 / Комлесхоз Республики Беларусь. – Минск., 2002. – 88 с.