

УСТОЙЧИВОСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА РУБОК ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ К ИЗМЕНЕНИЮ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ

The reduction of optimality of plans of final felling because of change in objective function is considered. Calculations were made for pine forests of 10 forest enterprises of Republic of Belarus. In each case optimal plans were calculated under different objective functions by means of linear programming. Objective functions differed in terms of discount rate (DR) from 0 to 7%. Then optimality of each plan was estimated under objective function with other DR.

Results show considerable loss of optimality of calculated plans while changing DR in range 0–2%. Optimality of plans calculated under 0% DR was on average only 28,7% while assessing them under 2% DR. Changes in DR in range over 2% had relatively small effect on optimality of plans.

Введение. Целевая функция в задаче оптимизации плана рубок отражает цели лесопользования. Разнообразие целевых функций обусловлено разнообразием управленческих задач и природно-экономических условий, в которых выполняется планирование. При определении целевой функции присутствует некоторый субъективизм из-за сложности согласования различных целей. Задача настоящего исследования – оценить потери, связанные с неверным выбором целевой функции. Под планом рубок в настоящей работе понимается проект пространственного размещения и очередности поступления в рубку участков спелого леса в размере действующей расчетной лесосеки [1].

Обзор целевых функций. В табл. 1 приведены целевые функции в работах отечественных и зарубежных авторов. Перечислим различия в их построении.

1. В качестве целевой функции могут рассматриваться исключительно сырьевые функции леса, имеющие стоимостную оценку [2–8], например максимум дисконтированного дохода от реализации плана рубок [6, 7, 8] или максимум размера пользования по запасу [2]. Кроме того, могут учитываться экологические функции лесов, не имеющие стоимостной оценки, например максимум площади ненарушенного леса [7]. Экологические требования нередко учитываются в виде ограничений [7, 8] или на этапе построения задачи [5].

2. Способ учета доходов и расходов от проведения рубок леса. В целевой функции могут рассматриваться, во-первых, доходы и расходы [6–8, 10], во-вторых, только расходы [9], в-третьих, только доходы [2–5]. При этом очевидно, что доходы должны максимизироваться, а затраты, наоборот, быть минимальными.

Таблица 1

Целевые функции в работах отечественных и зарубежных авторов

Автор	Страна	Целевая функция	Структура затрат	СД, %	Длина периода
Волков В. Д., 1975 [2]	СССР	Максимум размера пользования по запасу	–	≥ 8	оборот рубки
Бочков И. М., 1978 [3]	СССР	Минимум отклонений от макс. среднегодового прироста ведущих сортиментов	–	–	оборот рубки
Дялтувас Р. А., 1986 [4]	СССР	Максимум общей производительности лесов	–	0	–
Пушкин А. А., 2004 [5]	Беларусь	Максимум таксовой стоимости вырубленного запаса	–	0	10 лет
Andersson D., 2007 [6]	Швеция	Максимум чистого дисконтированного дохода (ЧДД)	проведение рубки, ремонт дорог	3	5 лет
Crowe K., 2003 [7]	Канада	Максимум ЧДД	проведение рубок	4	60 лет
Boston K., 2001 [8]	США	Максимум ЧДД	проведение рубки и транспорт леса	8	15 лет
Karlsson J., 2004 [9]	Швеция	Минимум затрат	проведение рубок, транспорт леса и ремонт дорог	0	1 год
Ohman K., 1998 [10]	Швеция	Максимум ЧДД + максимум площади ненарушенного леса	проведение рубок	3	40 лет

Минимум отклонений от максимума доходов можно рассматривать как вариант максимизации доходов [3]. В случае одновременного учета доходов и расходов целевая функция, как правило, формулируется в виде максимизации чистого дисконтированного дохода [6–8, 10].

3. Способ учета фактора времени. Целевые функции могут использовать фиксированную ставку дисконтирования (СД) [2, 6–8, 10], изменяющуюся СД [3] и не учитывать фактор времени, то есть использовать нулевую СД [4, 5, 9].

4. Сравнительная ценность различных категорий древесины. Во-первых, ценность может устанавливаться на основании рыночных или таксовых цен на древесину [5–8, 10]. Во-вторых, ценность отдельных категорий древесины может устанавливаться без учета цен. Это имеет место в случае максимизации вырубемого запаса [2, 4] или максимизации среднегодового прироста ведущих сортиментов [3]. В первом случае предполагается одинаковая ценность всех категорий древесины. Во втором случае ценностью обладает лишь древесина ведущих сортиментов.

5. Наличие учета стоимости древесного запаса, оставшегося после истечения периода планирования. Такой учет используется в работе [10]. Также о наличии такого учета можно говорить во всех случаях долгосрочного планирования [2, 3, 7], когда планы уточняются задолго до истечения срока их реализации.

6. Различие в компонентах затрат, связанных с проведением лесозаготовок, для целевых функций, учитывающих затраты [6–10]. Во всех случаях учитываются затраты на проведение рубки [6–10]. Кроме того, могут рассматриваться затраты на транспорт леса [8, 9] и ремонт дорог [6, 9].

Методы и объекты исследования. Оптимальный план рубок, полученный при некоторой целевой функции, оценивался с точки зрения других целевых функций. Анализировались целевые функции, которые можно представить в виде:

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

где I – совокупность выделов, включенных в расчет; n – число лет в периоде планирования; x_{it} – площадь i -того участка, поступившая в рубку в период t , га; c_{it} – таксовая стоимость древесины в i -том выделе в t -том году, тыс. руб./га; r – ставка дисконтирования. Целевые функции отличались величиной ставки дисконтирования r .

Дополнительно анализировалась целевая функция с изменяющейся ставкой дисконтирования:

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

где A_i – текущий возраст i -того насаждения; y – год периода планирования.

Использование этой функции ведет к максимизации среднегодового значения таксовой стоимости за период лесовыращивания для насаждений, включенных в план рубки. Выражение $1 / (A_i + y)$ определяет величину СД для i -того насаждения в t -тый год периода планирования. Зависимость величины ставки дисконтирования от возраста насаждения представлена на рисунке.

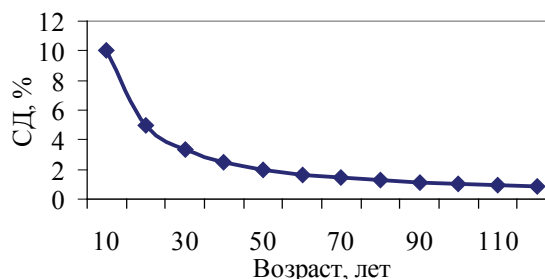


Рисунок. Зависимость ставки дисконтирования от возраста насаждения для целевой функции (2)

Для расчета оптимальных планов рубок применялась модель линейного программирования (ЛП), описанная в источнике [5]. Ограничениями задачи служили площади участков, а также установленный размер пользования по годам ревизионного периода.

При оценке планов рубок, отличных от оптимального, использовался коэффициент оптимальности КО, %, рассчитанный по формуле

$$КО = \frac{z - z^{\min}}{z^{\max} - z^{\min}} 100, \quad (3)$$

где z – значение целевой функции для оцениваемого плана рубок; z^{\min} , z^{\max} – соответственно минимальное и максимальное значения целевой функции при данных ограничениях.

Минимальное значение целевой функции рассчитывалось путем решения задачи ЛП на минимизацию. При этом для обеспечения набора в рубку всех участков дополнительно использовалось ограничение

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

где a_i – площадь i -того участка, га.

Выражение, стоящее в знаменателе формулы (3), показывает предельный размер эффекта, который может быть получен за счет оптимизации очередности рубки отдельных насажде-

ний. В настоящей работе оно будет называться потенциалом оптимизации (ПО). Относительное значение ПО, %, можно получить по формуле

$$ПО = \frac{z^{\max} - z^{\min}}{z^{\max} + z^{\min}} \cdot 200. \quad (5)$$

Для сравнения планов с точки зрения времени рубки отдельных участков использовался индекс идентичности (ИИ), который можно представить в виде

$$ИИ = \left(1 - \frac{\sum_{i \in I} a_i |y_i - y_i^{cp}| / n}{\sum_{i \in I} a_i} \right) 100, \quad (6)$$

где y_i – год проведения рубки i -того участка согласно базовому плану; y_i^{cp} – год проведения рубки согласно сравниваемому плану.

ИИ, равный 100%, свидетельствует о полном соответствии времени рубки согласно двум планам. Нулевое значение свидетельствует о том, что ни одно из насаждений, которое было назначено в рубку согласно одному плану, не было назначено в рубку на основании другого плана.

Планы рубок были рассчитаны для 10 лесхозов Беларуси: Глубокского, Кобринского, Костюковичского, Мозырского, Оршанского, Осиповичского, Россонского, Сморгонского, Столбцовского, Щучинского. В расчет включались спелые и перестойные сосновые насаждения лесов второй группы. Период планирования составлял 10 лет. В зависимости от обеспеченности спелым лесом в качестве расчетной лесосеки выбиралась либо лесосека равномерного пользования, либо лесосека, устанавливающая десятилетний срок использования эксплуатационного фонда. Для

прогноза текущего прироста насаждений по диаметру и высоте использовались данные таблиц хода роста. Для товаризации запаса использовались товарные таблицы В. Ф. Багинского. Оценка таксовой стоимости запаса выполнялась по таксовым ценам 2004 г. Исходные данные для расчетов были получены из проектов ГИС «Лесные ресурсы». Формирование и решение задач ЛП выполнялась с помощью программы на языке VBA, написанной вторым автором в среде MS Excel.

Результаты. Средние значения относительного ПО приведены в табл. 2. Результаты свидетельствуют об увеличении потенциала оптимизации по мере роста СД (с 0,89% при СД = 1% до 10,3% при СД = 7%). Одновременно наблюдается увеличение потенциала оптимизации в условиях отсутствия дисконтирования по сравнению с 1%-ной ставкой (2,28% и 0,89% соответственно). Полученные результаты позволяют говорить о минимуме ПО в районе СД = 1% и его увеличении при отклонении СД в ту или иную сторону.

Коэффициенты оптимальности представлены в табл. 3. КО планов рубок, рассчитанных без использования дисконтирования, достаточно высоки только в случае использования СД = 1% и целевой функции (2). Тогда как уже при СД = 2% оптимальность планов снижается в среднем до 2,87%. Почти столь же существенно падает оптимальность планов рубок, рассчитанных при 1%-ной ставке. Начиная с СД = 2%, при дальнейшем увеличении ставки оптимальность планов почти не снижается, достигая 97% при 7%-ной ставке. КО планов рубок, рассчитанных при высоких СД, оказываются низкими при их оценке при СД, равных 0% и 1%, а также с точки зрения целевой функции (2).

Таблица 2

Относительные потенциалы оптимизации при разных ставках дисконтирования

Показатель, %	Ставка дисконтирования, %						
	0	1	2	3	5	7	$1 / 100A_i$
Средний ПО	2,28	0,89	2,03	3,71	7,09	10,34	0,64
Ошибка среднего	$\pm 0,05$	$\pm 0,04$	$\pm 0,07$	$\pm 0,10$	$\pm 0,17$	$\pm 0,25$	$\pm 0,03$

Таблица 3

Коэффициенты оптимальности планов рубок, %

СД при расчете плана, %	Ставка дисконтирования при оценке плана, %						
	0	1	2	3	5	7	$1 / 100A_i$
0	–	87,5 \pm 2,1	28,7 \pm 1,6	17,6 \pm 1,2	12,2 \pm 0,9	10,5 \pm 0,8	81,7 \pm 2,8
1	93,0 \pm 0,9	–	46,9 \pm 1,8	34,6 \pm 1,9	28,2 \pm 1,8	26,3 \pm 1,8	98,3 \pm 0,3
2	20,2 \pm 1,6	68,5 \pm 2,6	–	99,1 \pm 0,1	97,7 \pm 0,2	97,0 \pm 0,3	71,9 \pm 2,6
3	14,7 \pm 1,3	60,3 \pm 2,7	99,0 \pm 0,1	–	99,6 \pm 0,1	99,3 \pm 0,1	64,5 \pm 2,6
5	11,6 \pm 1,2	54,5 \pm 2,8	97,4 \pm 0,3	99,7 \pm 0,0	–	100,0 \pm 0,0	59,2 \pm 2,6
7	10,6 \pm 1,0	52,6 \pm 2,7	96,7 \pm 0,3	99,4 \pm 0,1	100,0 \pm 0,0	–	57,6 \pm 2,6
$1 / 100A_i$	90,7 \pm 1,1	98,3 \pm 0,3	48,0 \pm 1,8	36,2 \pm 1,9	30,2 \pm 1,9	28,4 \pm 1,9	–

Индексы идентичности планов рубок, %

СД при расчете плана, %	Ставка дисконтирования при оценке плана, %						
	0	1	2	3	5	7	1 / 100A _i
0	–	76,7±1,2	60,4±1,1	56,8±1,0	54,7±0,9	54,2±0,9	74,8±1,1
1	76,7±1,2	–	73,6±1,2	67,7±1,2	64,2±1,2	63,2±1,1	91,2±0,7
2	60,4±1,1	73,6±1,2	–	91,0±0,5	86,2±0,6	84,7±0,7	74,9±1,1

Результаты свидетельствуют о малой величине снижения оптимальности при изменении СД в диапазонах 0–1% и 2–7% и резком снижении оптимальности при переходе СД через рубеж приблизительно 1–2%. Этому факту можно дать следующее объяснение. Относительный текущий прирост таксовой стоимости для большинства сосновых насаждений согласно использованным таксовым ценам и лесотаксационным нормативам находится в пределах диапазона 1–2%. В случае низких СД спелость (максимум целевой функции) для большинства насаждений в течение ревизионного периода не наступает. Тогда как при использовании СД выше 2% спелость наступает еще до начала периода планирования. В зависимости от этого существенным образом меняется очередность набора участков в рубку. При СД = 2% и выше основное влияние на назначение участков в рубку оказывает наличный запас. При СД = 1% и ниже помимо наличного запаса существенную роль будет оказывать прогнозируемый текущий прирост по запасу. Минимум ПО при СД ≈ 1% можно объяснить теми же причинами.

Индексы идентичности планов рубок приведены в табл. 4. При изменении СД наблюдается весьма существенное изменение времени рубки отдельных участков. Так, план рубок, рассчитанный при СД = 1%, будет характеризоваться ИИ около 75% при сравнении с планами рубки, рассчитанными при отсутствии дисконтирования и 2%-ной ставке. Значение ИИ, равное 75%, указывает на изменение времени рубки отдельных участков в среднем на 2,5 года. Между КО и ИИ наблюдается тесная корреляционная связь, характеризующаяся коэффициентом корреляции 0,92.

Закключение. 1. Потери в результате изменения ставки дисконтирования в целевой функции могут быть значительны и порой снижать оптимальность планов рубок до 10–20%.

2. Даже незначительные изменения целевой функции при составлении плана рубок могут приводить к существенному изменению очередности рубки отдельных участков. Так, время рубки отдельных участков смещается в среднем на 2,5 года при переходе от нулевой к 1%-ной ставке дисконтирования.

3. Практическое значение имеет исследование устойчивости оптимального плана рубок

главного пользования к изменению других компонентов целевой функции, например способа учета доходов и затрат от лесопользования и относительной ценности разных категорий древесины.

Литература

1. Ермакоў, В. Я. Лесаўпарадкаванне / В. Я. Ермакоў, А. А. Атрошчанка, М. П. Дзямід – Мінск: БДТУ, 2002. – 498 с.
2. Волков, В. Д. Математическая модель оптимизации размера главного пользования лесом / В. Д. Волков // Современное лесоустройство и таксация леса. – М.: ВНИИЛМ, 1974. – № 4. – С. 245–261.
3. Бочков, И. М. Определение размера главного пользования лесом с применением линейного программирования и ЕС ЭВМ в лесоустройстве / И. М. Бочков, Н. Г. Синицин, В. Е. Плиско. – М.: ЦБТИ, 1978. – 30 с.
4. Дялтувас, Р. П. Теоретическое и практическое обоснование целевого леса и древесинопользования.: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02 / Р. П. Дялтувас. – Киев, 1986. – 35 с.
5. Пушкин, А. А. Оптимизация главного пользования в сосновых лесах при сохранении их биологического разнообразия / Пушкин, А. А. // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2004. – Вып. XII. – С. 83–87.
6. Crowe, K. Solving the area-restricted harvest-scheduling model using branch and bound algorithm / K. Crowe, J. Nelson, M. Boyland // Can. J. For. Res. – 2003. – Vol. 33. – P. 1804–1814.
7. Öhman, K. The core area concept in forming contiguous areas for long-term forest planning / K. Öhman, L. O. Eriksson // Can. J. For. Res. – 1998. – Vol. 28. – P. 1032–1039.
8. Boston, K. Development of spatially feasible forest plans: a comparison of two modeling approaches / K. Boston, P. Bettinger // Silva Fennica. – 2001. – Vol. 35(4). – P. 425–435.
9. Andersson, D. Effects of temporal aggregation in integrated strategic/tactical and strategic forest planning / D. Andersson, L. O. Eriksson // Forest Policy Econ. – 2007. – Vol. 9. – P. 965–981.
10. Karlsson, J. An optimization model for annual harvest planning / J. Karlsson, M. Rönquist, J. Bergström // Can. J. For. Res. – 2004. – Vol. 34. – P. 1747–1754.