

14. Мелехов, И.С. Лесоведение / И.С. Мелехов. - М.: Лесная промышленность, 1980. - 406 с.
15. Моисеев, Н.А. Об оценке запаса и прироста углерода в лесах России / Н.А. Моисеев, А.М. Алферов, В.В. Страхов // Лесное хозяйство. – 2000. - №4. - С.18-20.
16. Моисеенко, Ф.П. Возраст рубки леса / Ф.П. Моисеенко // Лесное хозяйство. – 1950. - №9. - С. 42-44.
17. Моисеенко, Ф.П. О закономерностях в росте, строении и товарности насаждений / Ф.П. Моисеенко // Доклад, обобщающий содержание опубликованных работ ... д-ра с.-х. наук / УСХА. - Киев, 1965. - 78 с.
18. Неверов, А.В. Эколого-экономическая спелость / А.В. Неверов, О.В. Лапицкая // Ресурсосберегающие технологии в лесном хозяйстве, лесной и деревообрабатывающей промышленности: матер. междуна. науч.-техн. конф., Минск, 1999 г. / БГТУ. - Минск, 1999. - С. 25-29.
19. Неверов, А.В. Спелость леса как эколого-экономическая категория / А.В. Неверов, О.В. Лапицкая // Сб. науч. тр. / ИЛ НАН Беларуси. – Гомель, 2001. - Вып. 53: Проблемы лесоведения и лесоводства. - С. 383-387.
20. Писаренко, А.И. Перспективы увеличения депонирования углерода в лесах России / А.И. Писаренко // Лесное хозяйство. – 2001. - №1. - С. 2-6.
21. Юркевич, И.Д. Растительный покров Белоруссии / И.Д. Юркевич, В.С. Гельтман. – Минск: Наука и техника. – 1969. – 175 с.



УДК 630*614

КОНЦЕНТРАЦИЯ ЛЕСОСЕК ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ПЛАНА РУБОК ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Лещинский С.Ю.

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

Введение. Под концентрацией лесосек понимают компактное размещение лесосек, назначаемых в рубку в один год или сезон года по территории объекта планирования. Основные преимущества такого расположения лесосек заключаются в уменьшении затрат на перебазирование техники и ремонт дорог при выполнении рубок, а также в лучшей организации труда на лесосеках [1]. Настоящая работа посвящена методам, обеспечивающим концентрацию лесосек при оптимизации плана сплошных рубок главного пользования на основании линейного программирования (ЛП).

Литературный обзор. Значительный вклад в изучение вопросов концентрации лесосек внесли литовские специалисты. Якубонис С.П. и Кенставичус И.И. [10] рассматривают факторы и критерии, которые следует учитывать при формировании рабочих блоков для концентрации лесосек. Антанайтис В.В. и др. [1] приводят методику и пример расчета экономической эф-

фективности концентрации лесосек. Дялтувас Р.П. [2] определяет факторы, влияющие на концентрацию лесосек, а также предлагает математические модели для формирования рабочих блоков.

Опытно-производственное лесоустройство с применением поквартальной формы организации рубок ухода было проведено Кожевниковым А.М. совместно с Гомельской лесоустроительной экспедицией [15]. Автор приводит рекомендации относительно оптимального количества блоков кварталов для организации таких рубок.

Федоренчик А.С. и Хотянович А.И. [8] рассматривают понятие концентрации лесосек и определяют формулы для расчета показателя концентрации лесосек по площади. Методика и алгоритм для совмещения времени проведения рубок главного и промежуточного пользования в пределах отдельных кварталов лесного фонда представлены в работе [9].

Для решения задач концентрации лесосек зарубежные авторы широко используют методы исследования операций. Шведские авторы предложили математическую модель группировки лесосек для уменьшения фрагментации условий обитания и снижения затрат на дорожное строительство [13]. Математическая модель для минимизации затрат на ремонт лесных дорог путем концентрации рубок рассматривается в работах [11, 12]. Американские исследователи [14] представили формулировку задачи целочисленного программирования (ЦП) для формирования компактных участков ненарушенно-го леса.

Методы концентрации лесосек. Сложность задачи концентрации рубок заключается в ее нелинейности. Базовое требование для моделей ЛП – независимость вкладов отдельных переменных в целевую функцию (ЦФ) – в данном случае не выполняется.

Для прямого учета взаимного расположения лесосек можно использовать нелинейную ЦФ. Например, К. Ohman и Т.Lamas [13] вводят дополнительные слагаемые в ЦФ, которые упрощенно можно представить в виде:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P X_{ip} \sum_j^N V_{jp} X_{jp}, \quad (1)$$

где X_{ip} – двоичная переменная, указывающая будет ли назначена рубка i -го насаждения в периоде p ; V_{jp} – запас вырубаемый в насаждении j в периоде p ; N_i – совокупность насаждений смежных по отношению к насаждению i .

Другим подходом является предварительное формирование групп участков, рубка которых должна проходить согласовано, и построение задачи ЛП на их основе [11, 12, 14]. С учетом эффективности методов ЛП именно этот подход будет использоваться в настоящей работе.

По аналогии с работами [1, 10] в качестве основы для концентрации будет использоваться рабочий блок – совокупность лесосек, которые в силу своего близкого расположения назначаются в рубку согласовано. Для формирования такой совокупности используется деление лесного фонда на кварталы. Базовыми критериями для формирования блоков являются: их ком-

пактность и примерное равенство запасов эксплуатационного фонда (ЭФ). Для повышения качества планирования также могут использоваться дополнительные критерии: рельеф, почвенно-грунтовые условия и прочие [10].

Для обеспечения концентрации лесосек использовалось 2 подхода. Рассмотрим каждый из них в отдельности.

Первый подход предполагает введение в задачу переменных, описывающих рубку отдельных блоков. Эти переменные должны вносить штраф в ЦФ при рубке лесосек блока. Величина штрафа увеличивается по мере роста числа блоков, охваченных рубкой в конкретном году. В ЦФ задачи при этом появятся следующие слагаемые:

$$\sum_{b \in B} \sum_{t=1}^n p^b z_{bt}, \quad (2)$$

где z_{bt} – двоичная переменная, принимающая значение 1, при рубке блока кварталов b в периоде t и 0 в противном случае; p^b – величина штрафа за проведение рубки в блоке кварталов b в периоде t ; n – число лет в периоде планирования. Чтобы обеспечить работу двоичных переменных в задачу вводятся следующие ограничения:

$$\sum_{i \in I_b} x_{it} - z_{bt} n_b \leq 0, \quad b \in B, t = 1, \dots, n; \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I_b} x_{it} - z_{bt} \geq 0, \quad b \in B, t = 1, \dots, n, \quad (4)$$

где x_{it} – двоичная переменная, принимающая значение 1 при рубке i -той лесосеки в t -том году и 0 в противном случае; n_b – количество лесосек в блоке b . Ограничение (3) заставляет переменную z_{bt} принимать значение 1 при рубке любого из участков блока. Ограничение (4) запрещает переменной z_{bt} принимать значение 1, если ни один из участков блока не рубится.

При использовании второго подхода для каждого рабочего блока определяются предпочтительные годы рубки. В коэффициенты переменных, обозначающих рубку лесосек в предпочтительные годы, вводится бонус. При этом появляется стимул для назначения участков одного блока в рубку только в заданные годы периода планирования.

Показатели концентрации лесосек. Определим критерии для оценки степени концентрации лесосек. Показатель концентрации лесосек по площади ($P_{\text{конц}}$) определяется как отношение площади лесосек назначенных в рубку в данный год к площади ЭФ всех кварталов, в которых находятся эти лесосеки [8]. Среди недостатков показателя отметим отсутствие учета расположения кварталов относительно друг друга.

Среднее расстояние между лесосеками одного года рассчитывается по формуле:

$$d_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}}{n^2} \quad (5)$$

где X_i, Y_i, X_j, Y_j – координаты центров i -той и j -той лесосек; n – количество лесосек. Полученная оценка опирается на прямой учет расстояний между участками, поэтому принадлежность лесосек к кварталам на нее не влияет.

Наиболее сложный метод заключается в оценке длины минимального остовного дерева (МОД), связывающего центры лесосек одного года. Остовное дерево – это связная сеть, содержащая все узлы исходной сети и не имеющая циклов [7]. Алгоритм построения МОД предполагает соединение всех узлов исходной сети с помощью путей минимальной длины. В случае лесосечного фонда узлами сети выступают центры лесосек. Пример МОД представлен на рис. 1.

Методика и объекты исследования. Составление планов рубок на 10-летний период было выполнено для лесов второй группы 4 лесничеств Петриковского и Осиповичского лесхозов. Характеристика объектов расчета приведена в табл.1. Исходными данными для расчетов послужили проекты ГИС «Лесные ресурсы».

В расчет включались насаждения 6 преобладающих пород: сосны, ели, дуба, березы, осины и ольхи черной, в которых возможно проведение главного пользования. Минимальный возраст насаждений, включаемых в расчет, был на 10 лет меньше, чем нижний предел возраста рубки для насаждений соответствующей породы во второй группе лесов. Рубка приспевающих насаждений запрещалась. Для формирования лесосек таксационные выделы большой площади подвергались нарезке согласно требованиям [6].

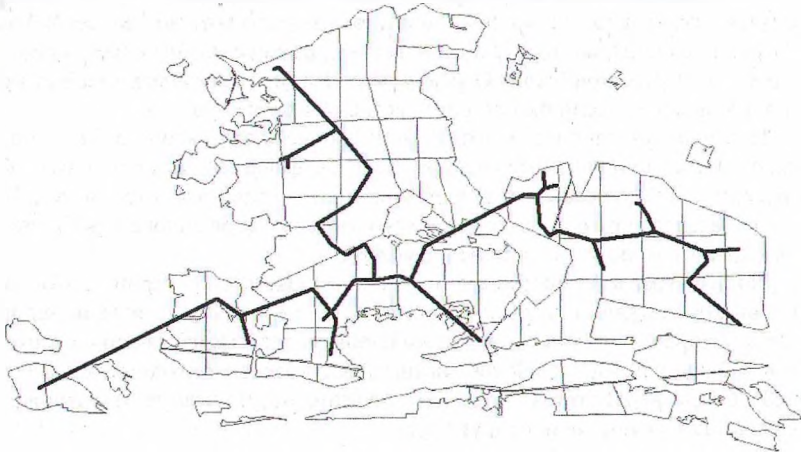


Рис. 1. Минимальное остовное дерево для лесосек 2015 года Сметанического лесничества без использования концентрации лесосек

Прогноз роста и товарной структуры древостоев выполнялся по элементам леса на основании таблиц хода роста разных авторов и товарных таблиц Багинского В.Ф [5].

В зависимости от обеспеченности спелым лесом по каждой из пород в качестве расчетной принималась нормальная лесосека, лесосека поспевания или лесосека с 10-летним сроком использования ЭФ. Формулы для расчета лесосек рассматриваются в [3].

Таблица 1 - Характеристика объектов расчета

Лесничество	Число лесосек	Площадь ЭФ, га	Запас ЭФ, т.м ³	Расчетная лесосека, т.м ³
Гродзянское	767	2251,2	600,0	23,7
Каранское	516	1455,8	362,2	16,7
Кошевичское	793	2756,5	638,1	20,9
Сметаничское	784	2660,8	684,6	19,3

Для каждого из лесничеств были сформированы схемы рабочих блоков с 5 и 10 блоками кварталов. При формировании блоков критерием компактности служило среднее расстояние от центров кварталов, составляющих блок, до центра блока:

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \sqrt{(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2}}{\sum_{i=1}^n M_i}, \quad (6)$$

где M_i – запас эксплуатационного фонда i -того квартала, X_i, Y_i – координаты центра i -того квартала; X, Y – координаты центра блока, n – число кварталов в блоке. Для оценки равенства запасов блоков использовалось стандартное отклонение запасов отдельных блоков от средней величины (σ_M). Характеристика сформированных блоков приведена в табл. 2.

Таблица 2 - Разделение лесосечного фонда на рабочие блоки

Лесничество	d_{cp} , км	Количество блоков кварталов			
		5		10	
		d_{cp} , км	σ_M , т.м ³	d_{cp} , км	σ_M , т.м ³
Кошевичское	4,2	1,7	21,3	1,2	10,9
Сметаничское	4,3	1,6	11,4	1,1	9,0
Гродзянское	4,4	2,0	9,5	1,2	5,8
Каранское	5,2	1,7	15,2	1,1	6,1

Оптимизация плана рубок выполнялась на основании модели смешанного ЦП, рассмотренной в работе [4]. Целевой функцией задачи является максимизация среднегодовой за период лесовыращивания таксовой стоимости древесины вырубаемых участков при минимуме отклонений от установленного размера лесопользования:

$$z = \sum_{i \in I} \sum_{t=1}^{n+1} \frac{c_{it}}{A_{it}} x_{it} + \sum_{s \in S} (p^p (v_s^{p, \min} + v_s^{p, \max}) + \sum_{t=1}^n p^a (v_{st}^{a, \min} + v_{st}^{a, \max})) \rightarrow \max \quad (7)$$

где c_{it} – таксовая стоимость запаса i -той лесосеки в t -ом году, тыс. руб.; I – совокупность всех участков, включенных в расчет; A_{it} – возраст i -того насаждения в t -ом году, лет; S – совокупность пород, включенных в расчет; $v_s^{p, \min}$, $v_s^{p, \max}$, $v_{st}^{a, \min}$, $v_{st}^{a, \max}$ – отклонения от минимальных и максимальных ограничений по размеру пользования для породы s за ревизионный период и для t -го года соответственно, м³; p^a , p^p – величина штрафов за отклонения от установленного размера пользования по годам и за период соответственно.

Задача имеет следующие ограничения:

$$x_{it} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, t = 1, \dots, n + 1; \quad (8)$$

$$\sum_{t=1}^{n+1} x_{it} \leq 1, \quad i \in I; \quad (9)$$

$$x_{it} = 0, \quad A_i + t < A_s^{\min}, \quad i \in I, t = 1, \dots, n; \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I_s} v_{it} x_{it} + v_{st}^{a, \min} \geq L_s (1 - d_s^{\text{ann}}), \quad s \in S; \quad t = 1, \dots, n; \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I_s} v_{it} x_{it} - v_{st}^{a, \max} \leq L_s (1 + d_s^{\text{ann}}), \quad s \in S; \quad t = 1, \dots, n; \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I_s} v_{it} x_{it} + v_{st}^{p, \min} \geq n L_s (1 - d_s^{\text{per}}), \quad s \in S; \quad (13)$$

$$\sum_{i \in I_s} v_{it} x_{it} - v_{st}^{p, \max} \leq n L_s (1 + d_s^{\text{per}}), \quad s \in S; \quad (14)$$

$$\sum_{i \in I_p} \sum_{t=y}^{y+e_s-1} x_{it} \leq q_p - 1, \quad p \in P, y = 1, \dots, n - e_s + 1, \quad (15)$$

где A_s^{\min} – минимальный возраст рубки для породы s ; v_{it} – запас i -ой лесосеки в t -ом году, м³; L_s – расчетная лесосека по рубкам главного пользования для породы s , м³; d_s^{ann} , d_s^{per} – максимально допустимые отклонения размера пользования по запасу от расчетной лесосеки для породы s по годам и за ревизионный период соответственно; I_s – совокупность участков породы s , включенных в расчет; e_s – срок примыкания лесосек для породы s ; P – совокупность всех ограничений по срокам примыкания лесосек; q_p – количество участков в p -ом ограничении; y – номер ограничения по сроку примыкания для данной группы участков.

Выражение (8) требует одновременности рубки отдельных участков. Неравенство (9) запрещает рубку участка более одного раза за ревизионный период. Ограничение (10) запрещает рубку участков, которые не достигли

возраста спелости. Ограничения (11–14) устанавливают допустимые отклонения от расчетной лесосеки по запасу. Ограничение (15) обеспечивает сроки примыкания лесосек.

Допустимые отклонения от расчетной лесосеки за период устанавливались на уровне 5% для каждой из пород. Годовые отклонения были установлены на уровне 25% отдельно для хвойных и мягколиственных пород и 40% для дуба. Сроки примыкания лесосек устанавливались согласно [6]. При расчетах использовались таксовые цены, утвержденные постановлением Совета Министров от 18.02.2008.

Оценивались варианты с 3-летним и 5-летним периодами повторяемости рубки отдельных блоков. Взаимное расположение блоков при этом не учитывалось. Схема назначения предпочтительных лет для 5 рабочих блоков представлена на рис. 2.

Номер блока	Годы ревизионного периода									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	+			+			+			+
2		+			+			+		
3			+			+			+	
4	+			+			+			+
5		+			+			+		

Рисунок 2 – Предпочтительные годы рубки при 5 блоках и 3-летнем периоде повторяемости (обозначены «+»)

Величина штрафов и бонусов устанавливалась на основании формулы:

$$B = k \sum_{p=1}^m \sum_{c=1}^n v_{pc} / mn, \quad (16)$$

где v_{pc} – таксовая цена древесины p -ой породы c -ой категории крупности; m – число пород, n – число категорий крупности древесины; k – коэффициент концентрации (КК). Средняя таксовая стоимость древесины используется для сопоставимости результатов при разных ценах.

Формирование блоков и составление планов рубок было выполнено в программе, написанной автором. Для решения задач ЛП использовалась программная библиотека LpSolve 4.5.

Результаты. Вычисления выполнялись до нахождения первого допустимого целочисленного решения. Все расчеты были выполнены на компьютере с процессором Athlon 64 с тактовой частотой 2,61 GHz. Время вычислений колебалось от 29,1 до 304,5 секунды.

Результаты расчетов для формулировки с двоичными переменными приведены в табл. 3. При ненулевых значениях КК наблюдается уменьшение длины МОД на 18,8–60,4 км и рост значения $P_{конц}$ на 1,95–6,3%. Среднее расстояние между участками, однако, остается почти неизменным и даже возрастает для Кошевичского лесничества.

Таблица 3 - Степень концентрации лесосек при использовании двоичных переменных (количество блоков – 5; период повторяемости – 5 лет)

Коэффициент концентрации	Набранный запас, %	Среднегодовые отклонения, %	Целевая функция, тыс.руб./год	Показатели концентрации		
				$P_{конц}, \%$	$d_{сред}, км$	Длина МОД, км
Каранское лесничество						
0	98,0	6,1	76686,3	13,74	6,02	333,1
100	98,1	9,7	76686,2	16,40	6,11	285,6
10000	102,1	8,5	76481,8	20,04	6,20	272,8
Кошевичское лесничество						
0	103,5	7,7	173495,1	9,57	5,21	326,0
100	104,2	10,0	173493,3	11,12	5,12	307,2
10000	108,3	9,6	173241,2	15,43	4,92	269,6

Слабую чувствительность модели к изменению КК можно объяснить особенностями решения задач ЦП. На первоначальном этапе двоичные переменные заменяются непрерывными с областью допустимых значений от 0 до 1. Ограничения (3, 4), обеспечивающие концентрацию лесосек, на данном этапе своих функций не выполняют. Назначение лесосеки в рубку в любой год периода приводит к наложению одинакового штрафа величины p^b/n_b .

Усилия по концентрации лесосек начинают прилагаться только на этапе округления переменных при работе алгоритма ветвей и границ. Область допустимых решений при этом оказывается существенно суженной.

Для подтверждения сказанного рассмотрим значения переменных z_{b_i} на разных этапах решения задачи на примере Кошевичского лесничества при КК=100. После нахождения оптимума ослабленной задачи только 4 из 50 переменных имели ненулевые значения. При нахождении допустимого целочисленного решения нулевые значения были только у 9 переменных. Таким образом, в каждом из блоков в среднем в 8 из 10 лет ревизионного периода была назначена рубка, что говорит о малой степени концентрации лесосек и неэффективности рассматриваемой модели.

Результаты расчетов для модели с предпочтительными годами рубки представлены в таблице 4. Для всех лесничеств наблюдается увеличение степени концентрации лесосек по мере увеличения КК. При КК=10 длина МОД сократилось на 110,7–204,4 км или на 40,0–52,6%. Среднее расстояние между участками уменьшилась на 38,4–47,3%. Коэффициент концентрации лесосек по кварталам увеличился на 7,43–10,78%.

Таблица 4 - Степень концентрации лесосек при разных значениях коэффициента концентрации (количество блоков – 5; период повторяемости – 5 лет)

Коэффициент концентрации	Набранный запас, %	Среднегодовые отклонения, %	Целевая функция, тыс.руб. в год	Показатели концентрации		
				$P_{конц.}$, %	$d_{ср.}$, км	Длина МОД, км
Кошевичское лесничество, Петриковский лесхоз						
0	109,5	13,8	173525,9	10,41	5,14	327,4
1	108,5	13,0	173545,5	11,25	4,62	289,2
3	108,1	10,4	173517,7	13,90	3,68	244,0
5	108,3	10,5	173450,5	16,43	3,35	216,4
10	103,8	11,7	173349,0	18,1	2,90	190,9
Сметаническое лесничество, Петриковский лесхоз						
0	109,1	13,3	215478,9	9,09	5,05	276,9
1	109,1	12,7	215474,2	11,06	4,55	233,3
3	109,4	12,3	215437,0	13,46	3,66	198,1
5	108,7	14,2	215396,2	14,67	3,39	187,5
10	105,8	9,4	215364,2	15,52	3,11	166,2
Гроднянское лесничество, Осиповичский лесхоз						
0	100,9	10,7	105242,8	26,29	5,80	388,8
1	101,8	10,2	105228,6	31,30	4,57	302,0
3	101,6	10,1	105212,9	34,62	3,97	246,2
5	101,0	8,0	105201,9	36,04	3,57	220,2
10	101,3	13,2	105184,8	37,07	3,27	184,4
Каранское лесничество, Осиповичский лесхоз						
0	97,2	16,6	76714,3	14,19	6,07	323,2
1	98,6	12,1	76701,9	17,59	4,38	272,3
3	98,3	11,8	76694,2	22,10	3,69	205,2
5	99,7	13,9	76685,2	22,65	3,53	198,0
10	98,4	9,0	76646,8	24,95	3,20	173,3

Запас, набранный в рубку, превышает расчетную лесосеку на 5,8–9,5% для лесничеств Петриковского лесхоза и находится в пределах 5%-ного отклонения для лесничеств Осиповичского лесхоза. Отклонения можно охарактеризовать как близкие к установленному уровню.

Среднегодовые отклонения набранного запаса от расчетной лесосеки составили 8,0–16,6%. В целом наблюдается тенденция к уменьшению среднегодовых отклонений от расчетной лесосеки по мере увеличения КК ($r = -0,376$). Однако некоторые значения выпадают из закономерности, например, Гроднянское лесничество при КК=10 или Каранское при КК=5.

По мере роста КК скорость сокращения длины МОД постепенно уменьшается (рис. 3). Уменьшение среднего расстояния между участками и рост $P_{конц}$ также наиболее активно протекают при малых значениях КК. Для всех объектов наблюдается сильная зависимость степени концентрации лесосек от КК, которая характеризуется коэффициентами корреляции 0,89 для $P_{конц}$, – 0,86 для $d_{ср}$ и –0,89 для длины МОД. Это говорит о хорошей чувствительности модели к входным параметрам.

Среднее значение коэффициента корреляции между значениями длины МОД и $d_{ср}$ в пределах лесничества составил 0,987; между длиной МОД и $P_{конц}$ – –0,992, что свидетельствует о хорошей взаимозаменяемости между этими показателями.

Имеют место большие различия средней величины $P_{конц}$ для лесничеств Петриковского (26,7%) и Осиповичского (13,4%) лесхозов, что обусловлено разной густотой кварталных сети в этих лесхозах.

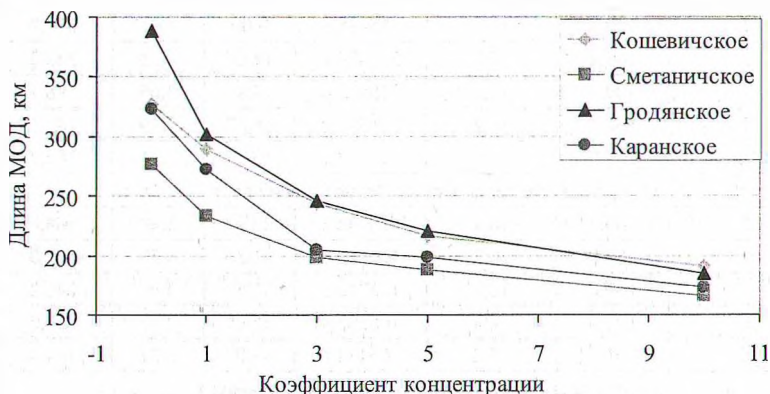


Рисунок 3. Зависимость длины МОД от коэффициента концентрации

По мере увеличения степени концентрации лесосек значение ЦФ для плана рубок снижается (табл. 4). Это обусловлено увеличением отклонений от оптимального возраста рубки отдельных участков. При этом встает вопрос об обосновании целесообразного уровня концентрации лесосек, экономический эффект которого покрывает потери среднего прироста древесины.

Длина МОД при разном количестве рабочих блоков и изменении периода повторяемости рубок колеблется незначительно – на 20,0 км или 6,1% от исходной величины (табл. 5). Представленные данные являются средними значениями по 4 лесничествам. При использовании 10 рабочих блоков заметно увеличивается среднее расстояние между лесосеками: с 3,87 км до 4,92 км. Это может происходить из-за отсутствия учета взаимного расположения блоков при назначении предпочтительных лет рубки.

Таблица 5 - Средняя степень концентрации лесосек в зависимости от количества блоков и периода повторяемости (КК = 3)

Число блоков	Период повторяемости, лет	Целевая функция, тыс. руб.	Параметры концентрации			Потери, тыс. руб. на 1 км МОД
			$K_{конц.}, \%$	$d_{сред.}, км$	Длина МОД, км	
0	--	142740,5	15,00	5,52	329,1	—
5	3	142711,8	18,88	4,14	232,6	20,8
5	4	142712,1	20,06	3,72	227,1	19,5
5	5	142715,5	21,02	3,75	223,4	16,6
10	3	142713,6	18,92	4,99	243,4	22,0
10	4	142716,7	20,73	4,98	231,6	17,1
10	5	142709,2	21,42	4,80	227,2	21,5

На рис. 4 представлено уменьшение ЦФ при сокращении МОД на 1 километр. ЦФ в данном случае рассчитывалась без использования бонусов, а ее значение было умножено на 70 (средний возраст насаждений), чтобы оценить потери среднего прироста за весь период лесовыращивания.

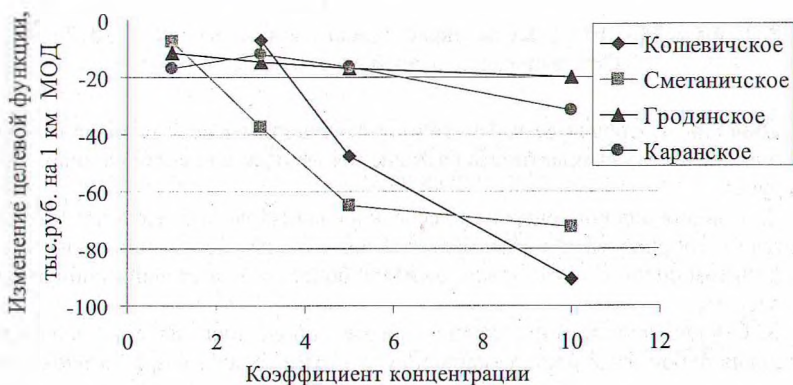


Рисунок 4. Зависимость целевой функции от коэффициента концентрации

Для Гродзянского и Каранского лесничеств при уменьшении длины МОД на 1 км потери ЦФ составили около 10–20 тысяч рублей. Величина КК для этих лесничеств оказывает сравнительное небольшое влияние на удельное снижение целевой функции. Для лесничеств Петриковского лесхоза удельное снижение ЦФ больше и достигает 50–70 тысяч рублей при КК=5. Это можно объяснить значительной долей в этих лесничествах насаждений дуба.

Длину МОД можно интерпретировать как минимальное расстояние, которое необходимо преодолеть для перемещения техники между лесосеками.

Исходя из этого, показатель можно использовать для приближенной оценки затрат на перебазирование техники и ремонт дорог при разных вариантах плана рубок. Примеры МОД при высокой степени концентрации лесосек представлены на рис. 5.

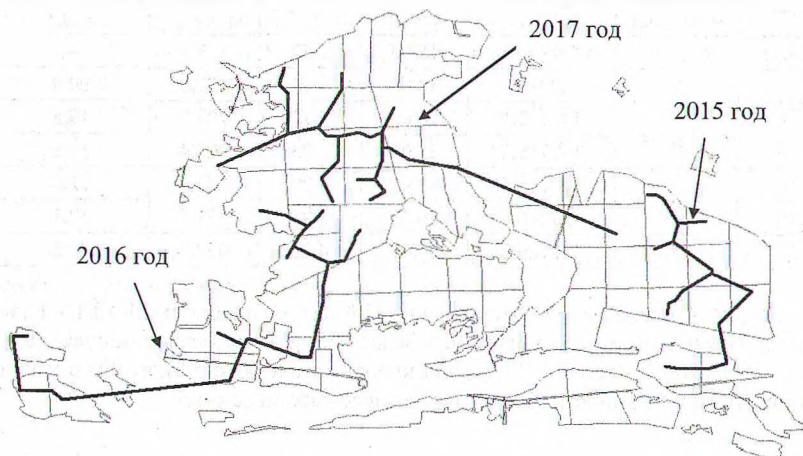


Рисунок 5. Минимальные остовные деревья для лесосек 2015-2017 гг. Сметанического лесничества при КК=10

Выводы. 1. Предлагаемый метод концентрации лесосек позволил существенно увеличить компактность размещения лесосек для составленных планов рубок.

2. Условия для концентрации лесосек в анализируемых лесничествах являются благоприятными в виду большой доли спелых лесов. Для лесничеств с дефицитом спелых лесов можно ожидать более низкой степени концентрации лесосек.

3. С увеличением концентрации лесосек происходит падение значений ЦФ плана рубок из-за роста отклонений от оптимального возраста рубки отдельных насаждений. Целесообразный уровень концентрации лесосек должен обосновываться с учетом этого факта.

4. Длина МОД, связывающего центры лесосек одного года, может использоваться для приближенной оценки затрат на перебазирование техники между участками и эффекта от концентрации лесосек. Более точная оценка этих показателей может быть получена на основании анализа лесотранспортной сети.

5. Предлагаемый метод позволяет достичь существенного роста концентрации лесосек при минимуме дополнительных затрат на планирование и выполнении основных требований к составлению плана рубок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антанайтис, В.В. Организация и ведение лесного хозяйства на почвенно-типологической основе / В.В. Антанайтис, Р.П. Дялтувас, Ю.Ф. Мажейка. – М.: Агрпромиздат, 1985. – 200 с.
2. 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.
3. Ермакоў, В. Я. Лесаўпарадкаванне / В. Я. Ермакоў, А. А. Атрошчанка, М. П. Дзямід. – Мінск: БДТУ, 2002. – 498 с.
4. Лещинский, С.Ю. Оптимизация плана рубок главного пользования с учетом сроков примыкания лесосек / Лещинский С.Ю. // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесн. хоз-во. – 2008. – Вып. XVI. – С. 55–59.
5. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР.– М.: Изд. ЦБНТИ, 1984.– 308 с.
6. Правила рубок леса в Республике Беларусь. – Минск, 2008. – 93 с.
7. Таха, Х.А. Введение в исследование операций / Х. А. Таха; пер. с англ. – 7-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 912 с.
8. Федоренчик, А.С. Определение концентрации лесосек. / А.С. Федоренчик, А.И. Хотянович // Труды БГТУ. Сер. 2. Лесная и д/о промышленность. – 2005. – Вып. XIII. – С. 4–8.
9. Федоренчик, А.С. Теория и методика концентрации лесосечного фонда / А.С. Федоренчик, А.И. Хотянович // Труды БГТУ. Сер. 2. Лесная и д/о промышленность. – 2008. – Вып. XVI. – С. 20–26.
10. Якубонис, С.П. Образование рабочих блоков и размещение рубок леса в пространстве и времени / С.П. Якубонис, И.И. Кенставичюс // Усовершенствование устройства лесов на почвенно-типологической основе. – Вильнюс: Моклас, 1976. – 200 с.
11. Andersson, D. Effects of temporal aggregation in integrated strategic/tactical and strategic forest planning / D. Andersson // For. Pol. and Econ. – 2007. – Vol. 9. – P. 965–981.
12. Gustafsson, E.J. Clustering timber harvests and the effect of dynamic forest management policy on forest fragmentation / E.J. Gustafsson // Ecosystems. – 1998. – Vol. 1(5). – P. 484-492.
13. Ohman, K. Clustering of harvest activities in multiobjective long-term forest planning / K. Ohman, T. Lamas // Forest Ecol. Manage. – 2003. – Vol. 176. – P. 161–171.
14. Rebain, S. A mixed integer formulation of the minimum patch size problem / S. Rebain, M.E. McDill // Forest Sci. – 2003. – Vol. 49(4) – P. 608-618.
15. Кожевников, А.М. Научные основы рубок ухода в лесах Белоруссии: автореф. дис. ...д-ра с.-х. наук: 06.03.03. / А.М. Кожевников. – Минск, 1973. – 35 с.