

УДК 630*624

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДОЛГОСРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В ФИНЛЯДИИ

О. А. АТРОЩЕНКО (БТИ)

В Финляндии разрабатывается система MISS — лесоинвентаризации и планирования лесного хозяйства. Создана автоматизированная система долгосрочного планирования лесопользования и подготовки программ рубок леса на основе модели производства древесины [1].

Модель 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 [1].

Для решения задачи на ЭВМ лесная территория разделена на вычислительные единицы, каждая из которых включает отдельные насаждения или блок однородных. Группировка их осуществляется на основании преобладающей породы, почвенно-грунтовых характеристик, типа условий произрастания, степени осушения и суммы площадей сечения. Первые пять классов условий произрастания характеризуют лесные насаждения, шестой — низкопродуктивные заболоченные земли, седьмой — открытые болота. Информацию для вычислительной единицы получают в процессе лесоинвентаризации: площадь, тип условий произрастания, степень осушения, структура яруса, класс ухода, метод лесовосстановления. Для каждого яруса насаждения дополнительно вводятся преобладающая порода, возраст, сумма площадей сечения, средняя площадь сечения и высота, распределение запаса по породам.

Модель производства древесины имеет две основные системы — прогноз и принятие решения. В систему «прогноз» вносятся текущие изменения после лесоинвентаризации. Прогнозирование роста насаждений проводится по таблицам хода роста (для молодняков) и регрессионным моделям, где текущий годичный прирост по запасу представлен как функция древесной породы, возраста, класса условий произрастания и растущего запаса. 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. Первые обычно применяются ко всей лесной территории, вторые — к вычислительной единице. Наиболее важные фактические решения — при-

нятый размер лесопользования и объем лесовосстановления. В процессе лесоинвентаризации также готовится ряд решений: списки участков, намеченных под рубки леса, низкопродуктивных молодняков, участков, где проведено лесосушение и применены удобрения; способ лесовосстановления и древесные породы.

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 [2]. Лесовыращивание — процесс производства древесины, главный фактор которого есть оценка земли (X_1) и растущего запаса (X_2). Этот процесс описывается следующей функцией производства:

$$Y = (W/x_3, \dots, x_n) x_1, \quad (1)$$

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

С точки зрения рационального использования земли и растущего запаса насаждение будет частью лесного предпринимательства. Общая цель лесоуправления — получение максимальной прибыли от выращивания древесины на единице площади. Понятие ведущего процента оборота капитала является центральным в проблеме лесоуправления. Ведущий процент оборота капитала (земли и растущего запаса) или процент интереса выражает минимальный процент прибыли на капиталовложения в производство древесины:

$$P = \sqrt[n]{\frac{g+s}{s}}, \quad (2)$$

где P — процент интереса в десятых долях;
 n — период капиталовложения, лет;
 g — маргинальная оценка текущего прироста по запасу за период «п», финских марок;
 s — капиталовложения для получения дополнительной единицы (1 м³) растущего запаса, финских марок.

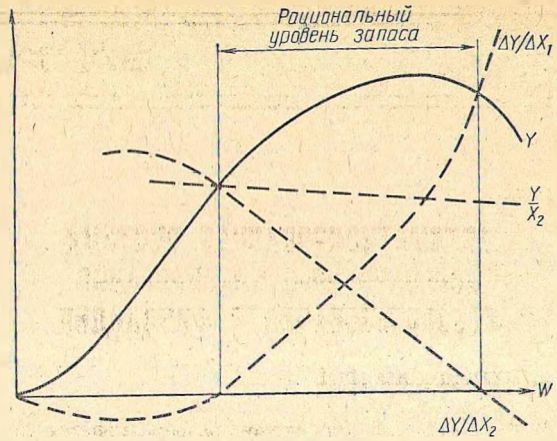
Оптимальный оборот рубки, установленный для совокупности насаждений хозсекции, может значительно отклоняться от оптимальных оборотов рубки для отдельных насаждений. Оптимальные схемы ухода в насаждениях (с целью получения максимума прибыли) разрабатываются на ЭВМ путем установления оптимального уровня растущего запаса и оптимального оборота рубки для каждого насаждения. Частная производная функции (1) в отношении площади насаждения ($\Delta Y/\Delta X_1$) дает маргинальную продуктивность земли, а производная в отношении растущего запаса ($\Delta Y/\Delta X_2$) — маргинальную продуктивность запаса. Рациональный уровень растущего запаса насаждения с точки зрения долгосрочного производства древесины тот, при котором маргиналь-

Рис. 1. Определение оптимального уровня растущего запаса насаждения маргинальным анализом

ная продуктивность земли и растущего запаса являются положительными величинами (рис. 1). Степень оборота капитала (земли и растущего запаса) в процессе производства древесины выражается процентом внутреннего оборота капитала. Этот процент устанавливается как отношение маргинальной оценки годичного прироста по запасу к маргинальной оценке растущего запаса (табл. 1). Таким образом формируются правила ухода в насаждении: рубки ухода проводятся в том случае, если процент внутреннего оборота капитала (растущего запаса) меньше ведущего процента интереса, а сплошная рубка и лесовосстановление — если процент внутреннего оборота капитала (растущего запаса и земли) меньше ведущего процента интереса.

Рассмотрим условный пример определения оптимального уровня растущего запаса в 50-летних сосновых насаждениях II класса бонитета (см. табл. 1). Примем таксовую стоимость 1 м³ древесины 10 руб. Маргинальная оценка запаса получена как разность между таксовой стоимостью древесины соседних уровней запаса. Маргинальная оценка годичного прироста выражается процентом внутреннего оборота капитала, например (30×100) : 500 = 6%.

При ведущем проценте интереса $P=4,0\%$ оптимальный уровень растущего запаса в насаждении — 300 м³/га (ведущий процент интереса равен проценту внутреннего оборота капитала). Насаждения, имеющие более низкие проценты оборота с запасом 350—450 м³/га, должны быть пройдены рубками ухода и приведены к оптимальному уровню. Почему уровень запаса 300 м³/га является оптимальным? Рассмотрим уровень 450 м³/га с ежегодным выходом 160 руб. Это не максимум прибыли. Можно вырубить 150 м³, остается 300 м³/га, доход от реализации древесины (150×10 руб. = 1500 руб.) перевложить в другое насаждение и получить дополнительно 54 руб. (1500×3,6% прироста). Общая прибыль составит 184 руб. в год (130 руб. дает прирост насаждения с запасом 300 м³/га плюс 54 руб.). Следовательно, потеря в прибыли равна 24 руб. (184—160), если насаждение выращиваем до запаса 450 м³/га. Можно показать, что



уровень запаса выше или ниже оптимального (для данного процента интереса) не является выгодным с точки зрения получения максимальной прибыли. Наименьший ведущий процент интереса — наибольший оптимум запаса (для $P=3\%$ оптимум — 350 м³/га). С другой стороны, с уменьшением процента уменьшается процент минимальной прибыли.

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 [3], выход которой используется в качестве входной информации для подготовки модели линейного программирования. Оптимальные схемы ухода соответствуют действиям модели линейного программирования (4): максимум

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij} x_{ij} \quad (3)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} = b_i \quad (i = 1, \dots, m)$$

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

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_i — площадь вычислительной единицы (i), га;

d_k — ограничение переменной (k);

d_{ijk} — число переменных (k) при действии ($x \dots$);

m — число вычислительных единиц;

n_i — число схем ухода для вычислительной единицы (i);

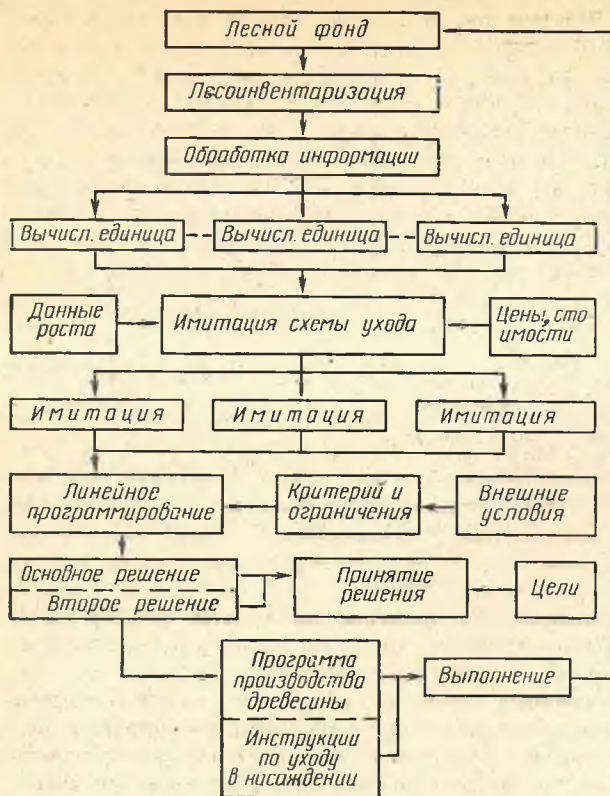
p — число ограничений.

Первое ограничение — площадь (b_i) для каждой вычислительной единицы. Это означает, что сумма площадей при разных схемах рубок должна быть равна общей площади вычислительной единицы. Второе ограничение (d_k) выражает функцию принятого чистого дохода в начале каждого 10-летия. Целевая функция (Z) —

Таблица 1

Определение оптимального уровня растущего запаса в сосновых насаждениях

Запас, м ³ /га	Таксовая стоимость, руб.	Текущий годичный прирост по запасу			Маргинальная оценка запаса, руб.	Маргинальная оценка текущего годичного прироста	
		м ³ /га	Таксовая стоимость, руб.	%		руб.	внутренний оборот, %
200	2000	8	50	4,0	—	—	
250	2500	11	110	4,4	500	30	
300	3000	13	130	4,3	500	20	
350	3500	14,5	145	4,1	500	15	
400	4000	15,5	155	3,9	500	10	
450	4500	16	160	3,6	500	5	



максимальная прибыль в конце каждого 10-летнего периода планирования. Коэффициент (C_{ij}) целевой функции представляет настоящий чистый доход единицы площади i -го насаждения, пройденного рубками схемы (j) для получения максимальной прибыли в конце 10-летия. В модели производства древесины предусмотрено второе решение проблемы (рис. 2). Оптимальная схема ухода (j) для насаждения (i) получена так же, как максимум минимальной стоимости насаждения (Y_{ij}), определяющейся по формуле

$$Y_{ij} = C_{ij} + \sum_{k=1}^p W_k d_{ijk}, \quad (4)$$

где W_k — минимальная цена (финских марок/м³), соответствующая ограничению d_k .

Таким образом, правила ухода для всех насаждений выражаются в конкретной форме нескольких минимальных цен. В качестве примера этих цен при определении оптимальной схемы ухода рассмотрим еловое насаждение в возрасте 90 лет с запасом 202 м³/га. Первая схема ухода предполагает сплошную рубку и лесовосстановление в 95, вторая — в 105 лет. Ведущий процент интереса = 3%. Ограничения включают минимальный размер рубки для пяти 10-летних периодов и минимальный объем растущего запаса в конце 50-летия. Минимальная стоимость насаждения при первой схеме ухода составит: $V_1 = 16791 + 7,3820 \times 233 + 1,8691 \times 0 + 0,2431 \times 0 + 0,8891 \times 0 + 1,4052 \times 69 + 0,1165 \times 87 = 18\,618$ финских марок/га (табл. 2), при второй схеме ухода — $V_2 =$

Рис. 2. Структура системы долгосрочного планирования лесопользования

Таблица 2
Определение оптимальной схемы ухода в еловом насаждении

Ограничения d_k	Минимальная цена, ф. м./м ³ W_k	Схемы ухода, м ³		Настоящий чистый доход, ф. м/га	
		V_1	V_2	C_{i1}	C_{i2}
Объем рубки:					
в первом 10-лети	7,3820	233	0	16 791	17 150
во втором	1,8691	0	299		
в третьем	0,2431	0	0		
в четвертом	0,8891	0	0		
в пятом	1,4052	69	0		
Запас в конце 50-лети	0,1165	87	87		

$= 17\,719$ финских марок/га. Следовательно, схема ухода V_1 является оптимальной в насаждении.

Автоматизированная система долгосрочного планирования лесопользования может представить различные программы производства древесины в зависимости от возможных границ производства, периода прогноза и уровня цен на древесину. Возможные границы производства зависят от принятого размера лесопользования, объема лесовосстановительных работ и других факторов. Функция этих границ производства представлена как

$$Z = f(d_1, \dots, d_p), \quad (5)$$

где d_1, \dots, d_p — факторы или ограничения.

Для принятия оптимального решения применяется функция полезности:

$$u = \varphi(Z, d_1, \dots, d_p / d_{p+1}, \dots, d_z). \quad (6)$$

Функция полезности в каждой программе производства древесины вычислялась как функция следующих переменных: значения настоящего чистого дохода, объема деловой древесины, растущего запаса насаждений после первого 10-летия, наименьшего процента насаждений в возрасте старше 20 лет.

При известных границах производства и функции полезности оптимальный критерий для принятия программы производства древесины является

$$\frac{\partial u}{\partial d_k} + W_k \frac{\partial u}{\partial Z} = 0. \quad (7)$$

Модель производства древесины была проверена на лесной территории 2,75 млн. га. Общее число вычисли-

Таблица 3
Программа рубок на 1973—1983 гг.

Рубки, сортименты, м ³	Сосна	Ель	Листвен- ные	Итого
	<i>Проходные</i>			
Пиловочник	1206	3469	819	5 494
Баласы	1777	5817	2699	10 293
Дрова и отходы	88	262	117	467
	<i>Линейные и т. д.</i>			

Таблица 4
Программа производства древесины на 1973—2023 гг.

Показатели	Абсолютное значение, 1973 г.	В процентах к 1973 г.					
		1973	1983	1993	2003	2013	2023
Запас, м ³	113 018	100	99	99	102	107	115
Прирост, м ³ /год	5 138	100	103	111	122	134	136
Распределение насаждений по классам возраста, га:							
(0—10 лет)	314	22	20	16	14	12	11
(81—100 лет)	123	9	17	8	7	7	6
Площадь рубок по 10-летиям, га:							
прореживание	0	0	37	42	46	73	—
Посадка, га	225	100	92	60	63	52	—
Удобрения, га	226	100	44	62	42	30	—

тельных единиц 226. Информация для вычислительных единиц получена в процессе лесоинвентаризации по 8718 выборочным пробам [1].

УДК 630*232

ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ В ЗОНЕ ПРИМОРСКОЙ ПУСТЫНИ ЛИВИИ

Е. В. ПОЛУЭКТОВ, кандидат сельскохозяйственных наук

Серьезную угрозу пастбищным угодьям Ливии представляют подвижные приморские пески и пески, надвигающиеся со стороны пустыни Сахары. Эти угодья отличаются крайне низкой (1—2 ц/га сухой поедаемой массы) продуктивностью, обусловленной продолжительной и высокой солнечной радиацией, действием иссушающих южных и юго-восточных ветров и пыльных бурь.

Климат центральной части страны характеризуется резкими контрастами и неустойчивостью погоды. Среднегодовое количество осадков — 137 мм, из них 81% приходится на ноябрь — февраль. Максимум осадков (40,6 мм) отмечен в январе.

Несмотря на незначительное количество осадков, эффективность их довольно высока, так как основная масса выпадает за короткий промежуток времени и приурочена к прохладному периоду, когда испаряемость в 2—3 раза ниже по сравнению с жарким временем. Например, на прохладный влажный период (с середины октября по март) приходится 90,4% годовой нормы (123,9 мм), среднемесячная температура воздуха +15,7°С, среднегодовая +20,3°С, а жаркого сухого периода +24,1°С. Все это создает удовлетворительные экологические предпосылки для роста и развития лесных насаждений.

Исследуемая территория представлена бурными аридными почвами песчаного и супесчаного механического состава, а также приморскими и континентальными песками, которые местами комплексируются с корами, литосолями и солончаками. Бурные аридные почвы супесчаного механического состава и пески лучше других

Практическое применение модели производства древесины зависит от ряда факторов. Как отмечают авторы работы [1], наибольшее значение имеют надежные данные о росте и производительности насаждений. Фактические решения о размере лесопользования и лесовосстановления и другие переменные модели должны приниматься на государственном уровне. Это является трудноразрешимой задачей в Финляндии ввиду большого частновладельческого сектора в лесном хозяйстве и низкопродуктивных насаждений.

Список литературы

1. Kilkki P., Pökälä R. A long-term timber production model and its application to a large forest area. *Asta Forestalia Fennica*, vol. 143, 1975, 45 p.
2. Kilkki P. Income-oriented cutting budget. *Asta Forestalia Fennica*, vol. 91, 1968, 54 p.
3. Kilkki P. Optimization of stand treatment based on the marginal productivity of land and growing stock, *Acta forestalia Fennica*, vol. 122, 1971, 7 p.
4. Kilkki P., Sitonen M. Principles of a forestry information system. University and Finnish Forest Research Institute, 1976, 10.

используют атмосферные осадки, имеют относительно благоприятный водный режим и обладают большой конденсационной способностью.

Для предотвращения наступления песков в стране проводится закрепление дюн с помощью лесных насаждений. Это предотвращает наступление песков, уменьшает засорение русел рек и портов, улучшает микроклимат местности.

Работы по закреплению песчаных дюн начаты в 1916 г. В настоящее время для посадки используют различные породы деревьев и кустарников. В зависимости от требовательности к почвенно-климатическим условиям они делятся на две группы. Одни из них обладают высокой солеустойчивостью и могут произрастать на морских дюнах в непосредственной близости от моря, другие не выносят засоления и хорошо развиваются на бурых аридных почвах легкого механического состава при неглубоком (5—8 м) уровне залегания грунтовых вод.

Лучшей породой является акация австралийская (*Acacia suaveolens*). Она имеет мощную корневую систему, которая ветвится как в горизонтальном направлении, распространяясь близко от поверхности почвы, так и уходит в нее на значительную (6—8 м) глубину, что позволяет растению использовать не только влагу верхних горизонтов, но и грунтовые воды. Этот вид акации надежно защищает почву от эрозии, а широкая раскидистая крона ее — домашних животных от жарких лучей солнца. Кроме того, листья этих деревьев могут скармливаться животным в засушливые годы.

Другой вид акации — африканской (*Acacia cyclops*) — обладает высокой солеустойчивостью и высаживается в непосредственной близости от моря.

Эвкалипты (*Eucalyptus camaldulensis* и *gomphocarpa*) хорошо растут на бурых аридных почвах при неглубоком залегании грунтовых вод. Однако при высаживании только одной этой породы на закрепленных механическим способом песках или песчаных почвах нельзя обеспечить хорошую защиту от передвижения песков