

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОМ ПРИ КРАТКОСРОЧНОМ ПЛАНИРОВАНИИ

The formulation of a linear programming problem which decision will allow minimizing losses in an output of leaders assortments is resulted, at the set degree of normalization of age structure of woods is described in this paper.

Введение. Главное пользование лесом является важнейшим этапом в цикле лесовыращивания, и его оптимизация может внести существенный вклад в повышение продуктивности лесов. Существует множество методов расчета размера главного пользования лесом [1]. При этом нередки случаи, когда при неблагоприятной возрастной структуре лесов некоторые методы расчета дают такие объемы главного пользования лесом, которые приводят к рубке приспевающих или накоплению перестойных древостоев.

В системе обработки лесоустроительной информации для сравнения различных методов расчета размера главного пользования лесом используется коэффициент оптимальности, который учитывает обеспеченность расчетной лесосеки спелым лесом, а также объем и равномерность пользования на протяжении длительного периода (как правило, на протяжении оборота рубки) [2]. Однако на практике один и тот же метод расчета никогда не используется на протяжении такого длительного времени. Как правило, для каждого нового ревизионного периода (10 лет) используется другой метод расчета размера главного пользования лесом. Данное несоответствие – выбирается лесосека по результатам анализа за длительный период времени (оборот рубки), а используется на протяжении короткого периода – приводит к тому, что выбранные с помощью коэффициента оптимальности расчетные лесосеки в течение ревизионного периода могут привести как к рубке приспевающих древостоев, так и к накоплению перестойных. Описанная ситуация вынуждает лесоустроителей отслеживать такие неблагоприятные случаи. В результате довольно часто принимается не наилучшая по критерию оптимальности лесосека, а максимально или минимально возможная, не приводящая к рубке приспевающих или накоплению перестойных древостоев.

Таким образом, в системе обработки лесоустроительной информации на практике фактически никакой оптимизации при расчете размера главного пользования лесом не выполняется.

Для решения задач оптимизации широко применяются методы линейного программирования. Не является исключением и главное пользование лесом. При оптимизации размера

главного пользования лесом на период, равный обороту рубки, задача линейного программирования формулируется следующим образом [3]. При построении целевой функции учитываются описанные ниже соображения. Наибольший выход ведущих сортиментов наблюдается тогда, когда древостой поступает в рубку в возрасте технической спелости, т. е. в момент, когда среднее изменение запаса ведущих сортиментов максимально. Если древостой поступает в рубку в другом возрасте, выход ведущих сортиментов будет ниже на величину

$$t \left(\frac{M(t_0)}{t_0} - \frac{M(t_1)}{t_1} \right), \quad (1)$$

где t – период ведения хозяйства; $M(t)$ – выход ведущих сортиментов с 1 га насаждения в возрасте t лет; t_0 – возраст технической спелости; t_1 – возраст рубки насаждения. Основываясь на выражении (1), авторы получают величину потерь, которые будут иметь место в результате того, что при реализации какого-либо плана главного пользования лесом на оборот рубки древостой могут быть вырублены в возрасте, отличающемся от возраста технической спелости:

$$F = \sum_{j=1}^{m_0} \sum_{i=1}^n ((M_{m_0} - M_i) S_{ij} + (i - m_0) 10 Z_0 S_{ij}), \quad (2)$$

где m_0 – номер класса возраста технической спелости; n – число 10-летних классов возраста в хозсекции; M_i – выход ведущих сортиментов с 1 га в i -м классе возраста; S_{ij} – площадь насаждений i -го класса возраста, назначаемая в рубку в j -м десятилетии оборота рубки; Z_0 – среднее изменение запаса ведущих сортиментов в возрасте технической спелости.

Минимизация функции (2) позволяет получить наибольший выход ведущих сортиментов. В качестве эквивалента минимизации выражения (2), при условии что каждый участок насаждения поступает в рубку один раз за оборот рубки, авторы в формулировке задачи линейного программирования используют максимизацию функции:

$$G = \sum_{j=1}^{m_0} \sum_{i=1}^n M_i S_{ij} + \sum_{j=1}^{m_0} Z_0 10 j Y_j, \quad (3)$$

где Y_j – площадь насаждений j -го класса возраста к концу оборота рубки.

На базе последнего выражения (3) авторы строят целевую функцию для задачи линейного программирования, оптимизирующей размер рубки главного пользования на период, равный обороту рубки:

$$G = \sum_{j=1}^{m_0} \sum_{i=1}^n M_i X_{ij} + \sum_{i=1}^{m_0} Z_0 10i Y_{im_0} \rightarrow \max, \quad (4)$$

где X_{ij} – площадь насаждений i -го класса возраста, назначаемая в рубку в j -м десятилетии; Y_{ij} – площадь насаждений i -го класса возраста, имеющаяся к началу $(j+1)$ -го десятилетия.

В рассматриваемой задаче линейного программирования используются следующие ограничения:

$$Y_{ij} = Y_{i-1,j-1} - X_{i-1,j}; \quad (5)$$

$$Y_{i0} = S_i; \quad (6)$$

$$X_{ij} \leq Y_{i,j-1}; \quad (7)$$

$$Y_{1j} = \sum_{i=1}^n X_{i,j}; \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} - \sum_{i=1}^n X_{i,j+1} \leq \alpha \sum_{i=1}^n X_{ij}, \quad j=1, \dots, m_0-1, \quad (9)$$

где S_i – площади 10-летних классов возраста; α – коэффициент, называемый показателем равномерности.

Ограничения (5)–(8) отражают динамику величин X_{ij} , Y_{ij} и связь между ними. Ограничение (9) диктуется требованием относительной равномерности главного пользования лесом.

Линейное программирование используется не только на этапе оптимизации размера главного пользования лесом, но и на следующем – при оптимизации порядка поступления выделов в рубку. Это направление оптимизации главного пользования лесом развивается не только за рубежом [4, 5], но и в нашей республике [6]. При такой оптимизации используется следующая целевая функция:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n V_{ij} X_{ij} \rightarrow \max \quad (10)$$

с ограничениями

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq S_i; \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^m V_{i,j+1} X_{i,j+1} = \left(\frac{100 + P_{j+1}}{100} \right) \sum_{i=1}^m V_{ij} X_{ij}, \quad (12)$$

где X_{ij} – площадь i -го выдела, который будет вырублен в год j , га; V_{ij} – запас древесины в i -м

выделе в j -м году, м³/га; S_i – площадь i -го выдела; P_{j+1} – процент ежегодного изменения величины лесосеки.

Таким образом, целевая функция (10) позволяет максимизировать запас вырубаемой древесины в течение ряда лет n с установленного количества выделов m . При этом ограничение (12) позволяет выбирать различные варианты пользования: равномерное ($P_{j+1} = 0$), убывающее ($P_{j+1} < 0$) или возрастающее ($P_{j+1} > 0$).

Оптимизация главного пользования лесом при краткосрочном планировании с применением линейного программирования. В лесном хозяйстве в основу расчета размера главного лесопользования положен принцип непрерывности, неистощимости, комплексности и рациональности использования древесных сырьевых ресурсов [7]. Это значит, что для оптимизации главного пользования лесом, основанной на целевой функции (10), период расчета должен быть достаточно большим ($n \rightarrow \infty$). По крайней мере, он должен значительно превышать оборот рубки. Тогда можно говорить о том, что оптимизация учитывает принцип непрерывного пользования лесом. Однако на практике применение такой оптимизации ограничивается периодом, составляющим лишь доли оборота рубки. Дело в том, что выполнить оптимизацию для продолжительного периода времени весьма затруднительно из-за чрезвычайно большого объема вычислительных работ. Кроме того, оптимизация на очень длительный период не может дать удовлетворительных результатов из-за того, что она не учитывает множество случайных факторов, таких как, например, стихийные бедствия (пожары, ветровалы и т. д.).

Таким образом, наиболее реальной задачей является оптимальное планирование главного пользования лесом на небольшой период времени. Но для того чтобы такая оптимизация удовлетворяла принципу непрерывного пользования лесом, в целевой функции (10) вместо запасов древостоев или отдельных целевых сортиментов следует обратить внимание на их среднее изменение. Ведь известно, что максимальный выход древесины вообще или отдельных ведущих сортиментов в единицу времени с единицы площади имеет место в том случае, если древостои поступают в рубку в момент достижения максимального значения средним изменением запаса древостоя или средним изменением запаса ведущих сортиментов в зависимости от целей лесовыращивания. На этом свойстве основано определение многих спелостей леса: количественной, технической, хозяйственной и т. д.

На практике древостои, как правило, поступают в рубку в возрасте, отличающемся от возраста наступления соответствующей спелости.

В результате этого лесное хозяйство несет потери. В работе [3] именно это учитывается при построении целевой функции. Однако в последнем случае формулировка задачи линейного программирования, оптимизирующей выход ведущих сортиментов при планировании размера рубок главного пользования, предполагает, что все древостои, представляющие какой-либо класс возраста хозсекции, имеют одинаковый выход ведущих сортиментов, что на самом деле не так. Для того чтобы учесть различия в выходе ведущих сортиментов отдельных насаждений и по возможности уменьшить потери, вызванные несвоевременной рубкой древостоев, необходимо взять следующую целевую функцию:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n+1} X_{ij} \left(Z_i^{\text{cp,max}} - \frac{V_{ij}}{A_{ij}} \right) \rightarrow \min, \quad (13)$$

где X_{ij} – площадь i -го выдела, который будет вырублен в год j , га; $Z_i^{\text{cp,max}}$ – максимально возможное значение среднего изменения запаса древостоя или ведущих сортиментов, в i -м выделе, м³/га; V_{ij} – запас древесины или отдельных целевых сортиментов в i -м выделе в j -м году, м³/га; A_{ij} – возраст древостоя в i -м выделе в j -м году, лет.

В целевой функции (13) используется $n + 1$ год, выходящий за расчетный период. Это сделано для того, чтобы оценить возможные потери в среднем изменении запаса древостоя или среднем изменении запаса ведущих сортиментов, которые могут произойти из-за того, что некоторые насаждения не будут вырублены в течение периода оптимизации, в то время как максимальный средний прирост в них наступит до окончания этого периода.

Целевая функция (13) имеет явный минимум в точке

$$X_{ij} = 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n.$$

Это решение соответствует полному отсутствию пользования и в связи с этим не имеет смысла для лесного хозяйства. Исключить эту точку из области допустимых решений можно, введя систему ограничений (14), которая приведет к тому, что в расчет будут вовлекаться все древостои:

$$\sum_{j=1}^{n+1} X_{ij} = S_i, \quad i = 1, \dots, m. \quad (14)$$

Большинство методов расчета размера главного пользования лесом в той или иной степени нормализует возрастную структуру лесов. Предлагаемая целевая функция (13) не приводит к выравниванию распределения лесов по классам возраста. Вместе с тем в настоящее время лесной фонд республики имеет весьма неблагоприятную возрастную структуру. И хо-

тя количество спелых лесов в последнее время увеличивается, недостаток молодняков может привести к тому, что через некоторое время в Беларуси опять будет недостаточно спелого леса. В связи с этим при определении размера главного пользования лесом лесостроители стараются принять такой объем пользования, который будет не только удовлетворять потребности народного хозяйства в древесине, но и способствовать улучшению возрастной структуры лесов.

Для того чтобы возрастная структура улучшалась, при оптимизации размера главного пользования лесом методом линейного программирования надо добавить в формулировку задачи дополнительные ограничения. Известно, что наилучшим образом выравнивает возрастную структуру лесов лесосека равномерного пользования. Таким образом, если с помощью дополнительных ограничений установить максимально допустимые отклонения расчетной лесосеки от лесосеки равномерного пользования Δ , то при оптимизации размера главного пользования лесом будет улучшаться также и возрастная структура лесов. Причем чем меньше установленные допустимые отклонения, тем интенсивнее будет выравниваться распределение лесов по классам возраста. Эти дополнительные ограничения выглядят следующим образом:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \geq L_{p,n} - \Delta, \quad j = 1, \dots, n; \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq L_{p,n} + \Delta, \quad j = 1, \dots, n, \quad (16)$$

где $L_{p,n}$ – лесосека равномерного пользования по площади; Δ – максимально допустимые отклонения расчетной лесосеки от лесосеки равномерного пользования.

Оценить результаты нормализации возрастной структуры лесов можно путем анализа распределения лесов по классам возраста, получаемого на конец расчетного периода. Для анализа возрастной структуры лесов, ожидаемой в конце периода проектирования, при разработке лесостроительных проектов используется индекс возрастной структуры лесов J_b :

$$J_b = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |S_{ij}^{\text{т}} - S_{ij}^{\text{ф}}|}{2S_n}. \quad (17)$$

где $S_{ij}^{\text{т}}$ – теоретическая площадь j -го класса возраста с преобладанием i -й породы при нормальной возрастной структуре; $S_{ij}^{\text{ф}}$ – фактическая площадь насаждений j -го класса

возраста с преобладанием i -й породы; S_n – лесная площадь.

Этот показатель может изменяться в пределах от нуля до единицы. Он показывает, какая часть площади лесного фонда соответствует нормальному распределению лесов по классам возраста. Дополнение индекса возрастной структуры лесов до единицы соответствует доли площади лесного фонда, где необходимо иметь древостой других возрастов, чтобы обеспечить нормальное распределение лесов по классам возраста в объекте проектирования. Однако информации, которую дает индекс возрастной структуры лесов, недостаточно для полного анализа ситуации. Одно и то же значение индекса может быть получено как в случае большого числа незначительных отклонений от нормальной возрастной структуры, так и в случае небольшого количества значительных отклонений. Как правило, второй вариант менее благоприятен для лесного хозяйства, так как может привести к большим колебаниям размера лесопользования в сравнении с первым вариантом. В таких ситуациях получить дополнительную информацию можно, используя приведенный ниже показатель:

$$S_b^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (S_{ij}^{\tau} - S_{ij}^{\phi})^2}{2S_n} \quad (18)$$

При равных значениях индекса возрастной структуры лесов данный показатель в случае большого числа незначительных отклонений от нормальной возрастной структуры будет иметь меньшую величину, чем в случае небольшого количества больших отклонений.

Заключение. Таким образом, для оптимизации главного пользования лесом при краткосрочном планировании целесообразно создать автоматизированную систему, позволяющую выполнять многовариантные расчеты. Такая система должна быть способна методом линейного программирования минимизировать целевую функцию (13) при условии соблюдения ограничений (14)–(16), по результатам оптимизации рассчитать возрастную структуру лесов в конце расчетного периода и вычислить показатели (17) и (18) для анализа полученной возрастной структуры.

Кроме того, для получения полной картины нужно, чтобы система определяла величину потерь, которые могли быть вызваны тем,

что момент наступления максимального значения среднего изменения запаса древостоя или среднего изменения запаса ведущих сортиментов в некоторых насаждениях наступил до момента начала периода оптимизации. Эти потери следует выделить отдельно в связи с тем, что никакая оптимизация изменить их уже не сможет.

Изменяя величину максимально допустимых отклонений от лесосеки равномерного пользования, с помощью такой системы можно просчитать различные варианты пользования. По результатам расчета каждого варианта проектант будет иметь минимально возможную при данной интенсивности нормализации возрастной структуры лесов величину потерь, представленную итоговым значением целевой функции (13), и показатели, характеризующие возрастную структуру лесов, которая будет получена в конце периода оптимизации (17) и (18). Сопоставляя эти величины, проектант может отдать предпочтение тому или иному варианту расчета пользования, который при незначительных потерях будет существенно улучшать возрастную структуру лесов.

Литература

1. Расчет размера лесопользования / С. Г. Синицын, Н. А. Моисеев, В. В. Загребев, Н. П. Анучин; Под общ. ред. Синицына С. Г. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 176 с.
2. Порядок определения, рассмотрения и утверждения расчетной лесосеки по рубкам главного пользования в лесах Республики Беларусь. – Мн., 2002. – 10 с.
3. Бочков И. М., Синицын С. Г., Плиско В. Е. Определение размера главного пользования лесом с применением линейного программирования и ЕС ЭВМ в лесоустройстве. – М., 1978. – 32 с.
4. Littschwager J., Tcheng T. Solution of a large-scale forest scheduling problem by linear programming decomposition // Journal of forestry. – 1969. – Vol. 69. – № 9.
5. Louck D. The development of an optimal program for sustained-yield management // Journal of Forestry. – 1964. – Vol. 62. – № 7.
6. Буй А. А. Планирование главного лесопользования на основе методов исследования операций с использованием ГИС «Лесные ресурсы» // Труды БГТУ. Сер. I. Лесное хоз-во. – 1996. – Вып. IV. – С. 94–96.
7. Ермаков В. Е. Лесоустройство. – Мн.: Выш. шк., 1993. – 259 с.