

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОСВОЕНИЯ ЛЕСОСЫРЬЕВОЙ БАЗЫ В ЛЕСАХ ВТОРОЙ ГРУППЫ

The question on designing a network of forest roads is considered in connection with that in areas with a decreasing volume of logging on cabins of the main using forest manufacture for preservation and augmentation of stocks of wood and others utility woods is intensified. For maintenance intensive development of forestry is necessary to create the developed network of automobile forest roads.

**Введение.** На 1 января 2006 года общая площадь лесного фонда составила 9394,3 тыс. га, или 45,3% территории республики. Увеличение за последние 5 лет достигло 146,8 тыс. га.

Основной пользователь лесного фонда Беларуси – Министерство лесного хозяйства, на долю которого приходится 86,7% лесных площадей. Затем идут Управление делами Президента Республики Беларусь – 7,6%, Министерство обороны и Министерство по чрезвычайным ситуациям – по 2,3%, Национальная Академия наук, а также местные исполнительные и распорядительные органы – по 0,4%, Министерство образования – 0,3%.

Самая большая площадь лесного фонда республики сосредоточена на Гомельщине – 24%. В Витебской области – 19,4; Минской – 18,2; Брестской – 14,9; Могилевской – 13,2; Гродненской – 10,3%. В Гомельской области и самая большая лесистость – 44,6% ее территории, наименьшая – 33,9 в Гродненской. Еще более заметна разница лесистости по административным районам: от 9,6 – в Несвижском до 66,8% – в Лельчицком.

Напомним, что всех административных районов в республике 118. В 15 из них лесистость превышает 50%. Малолесных районов, где лесистость менее 20%, у нас 8. В числе последних Берестовицкий и Зельвенский, где соотношение покрытых лесом площадей к общей территории составляет менее 15%. В целом по стране лесистость равняется 37,7%.

Итоги единовременного государственного учета лесного фонда представляют огромную ценность. Они позволяют оценить состояние лесов, эффективность управления и лесохозяйственной деятельности по основным показателям лесного фонда, а также являются основой для ведения государственного лесного кадастра, лесного мониторинга.

Материалы такого учета используются в планировании развития смежных отраслей – деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной, в разработке программы рационального использования лесосырьевых ресурсов, решении других вопросов социально-экономического развития республики.

**Теоретические основы размещения лесотранспортных схем в лесосырьевой базе.** В настоящее время в связи с ухудшением эко-

логической обстановки и увеличением лесных массивов все большее значение приобретает оптимизация использования лесных ресурсов на основе принципа непрерывного неистощительного лесопользования. При этом необходимо решить целый комплекс задач, среди которых одной из важнейших является формирование требуемой дорожной сети в экономически доступной сырьевой базе лесозаготовительного предприятия, которое обеспечит рациональное лесопользование.

Целью решения этой задачи является разработка метода и программного обеспечения оптимизации схемы транспортной сети освоения лесосырьевой базы, позволяющей до минимума снизить транспортно-технологические и эксплуатационные затраты. Очевидно, что эта задача нетривиальна. При ее решении необходимо руководствоваться системным подходом с учетом взаимосвязей всех основных факторов [4].

К особенностям сухопутного транспорта леса относятся:

- собирательный характер работы лесотранспортных путей в лесу (сборание заготавливаемого леса с большой площади и доставка его в одну точку на нижний склад или к потребителю);
- односторонность лесного грузопотока; лесные грузы вывозят только в одном направлении из лесосеки на нижний склад; в обратном (негрузовом) лесовозные поезда идут без груза, порожняком;
- перевозка длинномерных грузов (дереьев, хлыстов, бревен);
- возрастающие с каждым годом расстояния вывозки леса в связи с перемещением лесозаготовок из ближайших к нижнему складу участков в более отдаленные;
- сезонность работы многих участков сети лесных дорог, часть которых работает только зимой, часть только летом.

Все перечисленные особенности в той или иной мере влияют как на конструктивные решения, принимаемые при проектировании лесных дорог, так и на условия работы последних в процессе эксплуатации. Собирательный характер работы путей лесовозного транспорта предопределяет необходимость постройки в пределах лесосырьевой базы густой сети путей, имеющих различные сроки действия. Сеть путей лесной дороги, как правило, состоит из магистрали – основно-

го пути, действующего в течение всего срока освоения данного лесного массива, веток и усов – путей кратковременного действия (1–2 года), служащих для вывозки леса из лесосек.

Для построения оптимального варианта сети лесных дорог необходимо исследовать влияние каждого фактора на результат решения. Провести такое исследование в реальных условиях, т. е. путем строительства и последующего анализа каждого из вариантов, конечно, невозможно. В таких случаях исследование проводится на математических моделях, которые описывают исследуемый процесс, явление или объект в виде уравнений и неравенств. Подставляя в модель конкретные числа, производят необходимые вычисления и получают искомый результат или нужные зависимости [3].

При проектировании транспортного освоения лесных массивов возникает задача по определению очередности освоения и строительства лесных дорог. От правильности ее решения зависит ритмичность работы предприятий, динамика освоения инвестиций и в конечном итоге эффективность лесозаготовительного производства. Основное требование при расчете очередности транспортного освоения сырьевой базы – обеспечить заданный по отдельным периодам план транспортировки древесины с использованием построенных дорог при минимуме суммарных приведенных затрат на строительство дорог, их содержание и вывозку по ним древесины.

Задача о проектировании лесовозной дороги может быть успешнее решена методами динамического программирования, особенно в случае прокладки лесовозной дороги в сложных рельефных условиях и при необходимости учета возможности использования дороги для лесохозяйственных целей и перевозок различных грузов. В этой задаче шаги приходится вводить искусственно, и чем меньше длина шага, тем точнее может быть решена задача. Оптимальному решению будет соответствовать выбор такой трассы дороги, суммарные затраты на сооружение которой и перевозки по которой будут наименьшими.

Для нахождения оптимального плана прокладки дорог используется инструментарий теории графов, поскольку одной из основных задач этой теории как раз и является нахождение оптимальных путей. В таком случае территория лесозаготовительного предприятия представляется в виде связанного взвешенного графа, в котором вершины – лесосеки, а ребра возможные транспортные пути между ними, характеризующиеся соответствующими стоимостями прокладки дорог [1].

В основу методики решения задачи, оптимизации схемы транспортной сети освоения

лесосырьевой базы положен инструментарий теории графов. Представим территорию лесозаготовительного предприятия в виде связанного взвешенного графа, в котором вершины – лесосеки, а ребра – возможные транспортные пути между ними, характеризующиеся соответствующими стоимостями прокладки дорог [1].

**Проектирование лесной дороги.** Прокладывается участок лесовозной дороги между нижним складом лесопромхоза и погрузочной площадкой по пересеченной местности. Требуется провести дорогу, чтобы затраты на сооружение участка были минимальными.

Искусственно отрезок  $[LM]$  между нижним и верхним складами разделим на  $m$  частей, проведем через точки деления прямые, перпендикулярные отрезку  $[LM]$ , и будем считать на каждом шаге участок пути прямолинейным. Шаговое управление на  $i$ -м шаге представляет собой угол  $\phi$ .

Управление всей операцией состоит из совокупности шаговых управлений  $\phi = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_m)$ .

Требуется найти такое оптимальное управление, при котором суммарные затраты  $W$  на сооружение участков минимальны:

$$W = \sum_{k=1}^m W_k \rightarrow \min .$$

Дадим графическую интерпретацию задачи (рис. 1), разделив отрезок от нижнего склада  $L$  до верхнего склада  $M$  в направлении сторон света, допустим, на 3 части. В общем случае коэффициент дробления может быть каким угодно. В нашем случае трасса от  $L$  до  $M$  состоит из  $m = 3 + 3 = 6$  участков, направленных на север или восток.

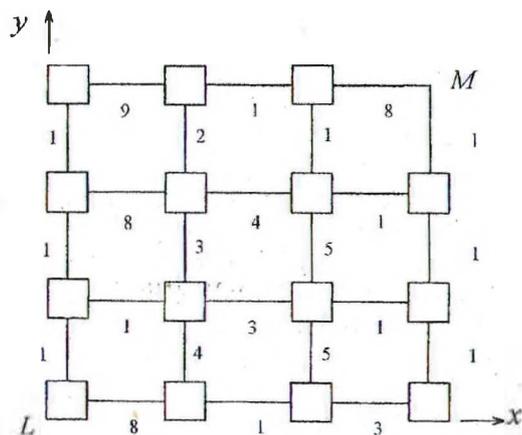


Рис. 1. Затраты на сооружение отдельных участков дороги

Проставим на каждом из отрезков число, выражающее затраты на строительство дороги на этом участке. Требуется выбрать такой путь из  $L$  в  $M$ , для которого сумма чисел, стоящих на отрезках, была бы минимальна.

Будем рассматривать сооружаемую дорогу как управляемую систему, перемещающуюся под влиянием управления из начального состояния  $L$  в конечное  $M$ . Состояние этой системы перед началом каждого шага будет характеризоваться двумя координатами: восточной ( $x$ ) и северной ( $y$ ), обе – целочисленные.

Для каждого состояния системы, т. е. узловой точки прямоугольной сетки, необходимо найти условное оптимальное управление, двигаясь на:

- 1) север ( $\uparrow$ );
- 2) юг ( $\downarrow$ );
- 3) восток ( $\rightarrow$ );
- 4) запад ( $\leftarrow$ ).

Выбирается это управление так, чтобы затраты всех оставшихся до конца шагов (включая данный) были минимальными. Эти затраты принято называть условным оптимальным выигрышем для данного состояния системы перед началом очередного шага.

Процедуру условной оптимизации будем разворачивать в обратном направлении – от  $M$  к  $L$ . Во-первых, произведем условную оптимизацию последнего 6-го шага.

Рассмотрим правый верхний угол прямоугольной сетки (рис. 2). За один (последний) шаг можно попасть в точку  $M$  из точек  $A_1$  и  $A_2$ . Из этих точек управление вынужденное: из  $A_1$  необходимо двигаться на восток ( $\rightarrow$ ), что обойдется в 8 условных единиц, а  $A_2$  – на север ( $\uparrow$ ), что приводит к затратам в 1 единицу.

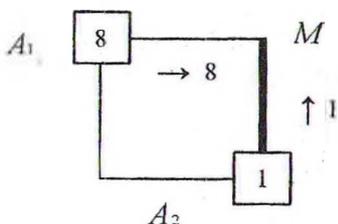


Рис. 2. Первый шаг

Таким образом, условная оптимизация последнего шага проведена и условный оптимальный выигрыш для каждой из точек  $A_1$  и  $A_2$  найден и записан в соответствующем квадрате.

Аналогично оптимизируем предпоследний 5-й шаг (рис. 3), который может быть сделан из точек  $B_1$ ,  $B_2$  и  $B_3$ .

Отличие данного шага от последнего 6-го заключается в том, что управление здесь уже не вынужденное. Например, из точки  $B_2$  возможно движение как на север ( $\uparrow$ ) с затратами до точки  $M$  в  $8 + 1 = 9$  единиц, так и на восток ( $\rightarrow$ ) с затратами  $1 + 1 = 2$  единицы.

Условное оптимальное управление из точки  $B_2$  помечено на рис. 3 в виде стрелки ( $\rightarrow$ ).

Найденные для  $B_1$ ,  $B_2$  и  $B_3$  – условные оптимальные управления и условные оптималь-

ные выигрыши также представлены соответственно в виде стрелок и значений в квадратах.

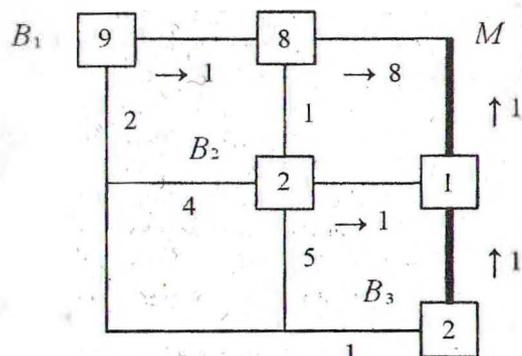


Рис. 3. Второй шаг

Двигаясь от предпоследнего шага назад, к  $L$ , найдем для каждой точки с целочисленными координатами условное оптимальное управление ( $\uparrow$ ), ( $\rightarrow$ ), ( $\leftarrow$ ) и т. д.

Условный оптимальный выигрыш (затраты до конца пути) записывается в квадрате.

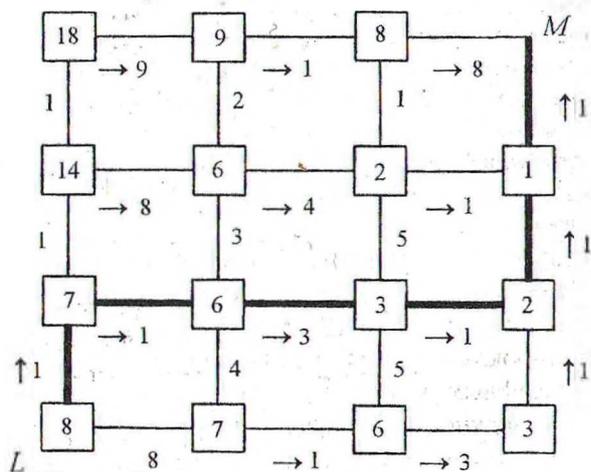


Рис. 4. Оптимальная трасса

В прямоугольнике при точке  $L$  записан оптимальный выигрыш на всем протяжении пути из  $L$  в  $M$ :

$$W^* = 8.$$

Оптимальная трасса отмечена утолщенной линией. В текстовом виде оптимальное управление будет:

$$u = (\uparrow, \rightarrow, \rightarrow, \rightarrow, \uparrow, \uparrow),$$

т. е. первый участок трассы от нижнего склада необходимо вести на север, затем повернуть на восток и проложить три участка, далее – два участка на север.

**Заключение.** В результате анализа проведенных исследований можно сделать вывод, что выбранный метод проектирования лесных дорог, основанный на инструментарии теории графов, позволяет проектировать сеть дорог с

учетом экономической доступности и динамики лесного фонда исходя из размеров расчетной лесосеки лесосырьевой базы.

Схема дорожной сети в лесосырьевых базах назначается с учетом наиболее полного использования преимуществ зимней вывозки и решается на основе следующих положений [2]:

– в зону зимней вывозки выделять преимущественно участки лесного массива с неустойчивыми и заболоченными грунтами, а также с разбросанными слабоконцентрированными запасами древесины, требующими для освоения большой протяженности и сильной разветвленности дорог;

– лесные дороги, предназначенные для вывозки лесоматериалов зимой, прокладывают в местности со спокойным рельефом и небольшими продольными уклонами;

– ветки назначаются, как правило, летнего или зимнего действия, а последующие, более удаленные от пункта примыкания, – зимнего действия;

– вдоль веток или участков дорог летнего действия не допускается расположение зимних лесосек.

Комплексная методика определения эколого-экономической доступности участков лесного фонда устраняет все отмеченные в вышеперечисленных методиках недостатки и ограничения и позволяет с помощью разработанных моделей на базе системного подхода решать комплексную задачу определения размера главного пользования, экономической доступности отдельных участков лесного фонда, проектирования оптимальной транспортной схемы освоения лесосырьевой базы.

Она позволяет планировать лесопользование на кратко-, средне- и долгосрочную пер-

спективу, моделировать любые возможные изменения технико-экономической и финансовой ситуации с целью принятия соответствующих оперативных решений [4].

В соответствии с изложенным представляется возможным выделить следующие основные этапы оптимизации транспортно-технологических схем освоения лесосырьевой базы в лесах второй группы. Это создание:

1) оптимальной сети автомобильных лесных дорог;

2) оптимальной очередности строительства и реконструкции отдельных лесных дорог;

3) оптимального транспортно-эксплуатационного уровня отдельных дорог (геометрические элементы, конструкция проезжей части);

4) оптимальной организации зимнего и летнего содержания автомобильных лесных дорог;

5) оптимальной системы регулирования и управления дорожным движением.

### Литература

1. Рекомендации по проектированию сети автомобильных дорог областного и местного значения. – М.: Союздорнии, 1970. – 40 с.

2. Ильин, Б. А. Основы размещения лесовозных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий: лекции для студентов специальности 0901 / Б. А. Ильин. – Л.: ЛТА, 1987. – 64 с.

3. Редькин, А. К. Применение теории массового обслуживания на лесозаготовках / А. К. Редькин. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 152 с.

4. Игнатенко, В. В. Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок / В. В. Игнатенко, И. В. Турлай, А. С. Федоренчик. – Минск: БГТУ, 2004. – 180 с.