



УДК 630*37

Е.И. Бавбель, П.А. Лыщик

Белорусский государственный технологический университет

Бавбель Евгения Ивановна родилась в 1983 г., окончила в 2006 г. Белорусский государственный университет, аспирант кафедры транспорта леса Белорусского государственного технологического университета. Область научных исследований – проектирование лесных дорог, прогнозирование размещения лесотранспортных путей в лесах второй группы.

E-mail: jane18@mail.ru

Лыщик Петр Алексеевич родился в 1944 г., окончил в 1968 г. Белорусский технологический институт, кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе Белорусского государственного технологического университета, член-корреспондент Международной академии технического образования, член правления общества «Беларусь – Финляндия». Имеет более 120 печатных трудов по разработке конструкций автомобильных лесовозных дорог, регулированию водно-теплого режима земляного полотна и дорожной одежды, укреплению дорожных грунтов, использованию геоинформационных систем для проектирования лесотранспортных схем.

Тел.: (10-375-17) 227-89-44



ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

Разработана модель размещения лесотранспортных путей с использованием теории графов, позволяющая минимизировать суммарные приведенные затраты.

Ключевые слова: абстрактная лесотранспортная сеть, лесотранспортные пути, теория графов.

При выборе варианта лесотранспортной сети (ЛТС) критерием оптимизации служит минимум приведенных затрат на строительство, содержание и эксплуатацию лесных дорог. Проектирование схемы транспортного освоения эксплуатационных лесов заключается в определении оптимальных конфигурации и структуры лесотранспортных путей. Под конфигурацией ЛТС понимают организованное пространственное расположение транспортных путей и узлов, инженерных сооружений; под структурой – категории транспортных путей и типы транспортных узлов. Для ЛТС характерна большая размерность. Это выражается, во-первых, в том, что ЛТС размещается на площадях до 10^4 км² и более. Во-вторых, размерность ЛТС как большой системы определяется в зависимости от числа пунктов формирования и приема грузопотоков; развилок путей; транспортных путей всех категорий; сооружений, обеспечивающих прокладку путей через преграды; периодов строительства ЛТС. Структура является наиболее консервативным свойством ЛТС, оставаясь неизменной в течение десятилетий, в то время как конфигурация и размерность периодически меняются.

1. Исследование абстрактных лесотранспортных сетей. Изучение структуры ЛТС неразрывно связано с исследованием их сложности. Среди основных показателей, влияющих на структуру и сложность транспортных сетей, обычно выделяют: число и разнообразие компонентов, связей, число уровней иерархии системы.

Реальные ЛТС удобно исследовать в виде абстрактных моделей, построенных с помощью теории графов [1]. Для оценки ЛТС можно использовать те же количественные показатели, что и для анализа транспортных сетей другого назначения: число вершин сети N_x , число ребер N_l , длину ребра l_v . Эти параметры в различных сочетаниях объединяются в группы, определяющие: степень центральности; связность; меру формы; компактность и экономическое состояние.

Число вершин ЛТС находят по формуле

$$N_x = N_l + N_s + N_v,$$

где N_l , N_s , N_v – соответственно число центров сосредоточения запасов древесины, развилок путей и пунктов примыкания.

Степень центральности определяется максимальным числом Кеннига. Для нашего случая это число ребер от корневой вершины (пункта примыкания) до наиболее удаленной вершины фрагмента сети, примыкающего к данному пункту.

Показателем связности сети является соотношение

$$\beta_c = N_l / N_x.$$

Мера формы сети определяется параметром

$$\gamma_l = \Sigma L / D_l,$$

где ΣL – общая протяженность сети, представляющая собой сумму длин ребер;

D_l – длина диаметра сети, равная расстоянию между максимально удаленными вершинами сети.

Мера компактности и экономического состояния представляет собой среднее расстояние до вершин:

$$l_{xcp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_l} l_{vi}}{N_l},$$

где l_{vi} – расстояние от пункта примыкания V до i -й вершины.

Корневые вершины абстрактных ЛТС условно назовем пунктами примыкания. Соединить грузообразующие вершины между собой транспортными связями можно несколькими неравноценными способами, важно найти оптимальный. Например, для сети с пятью вершинами и одним пунктом примыкания возможны следующие построения:

а) эстафетное соединение, формирующее кратчайшую по длине сеть при обходе всех вершин, начиная с корневой (рис. 1, а).

б) иерархическое соединение пункта примыкания со всеми остальными (рис. 1, б).

в) соединение вершин в виде связывающего дерева, имеющего минимальную суммарную длину путей (рис. 1, в).

г) введение дополнительных вершин – развилок путей (рис. 1, г).

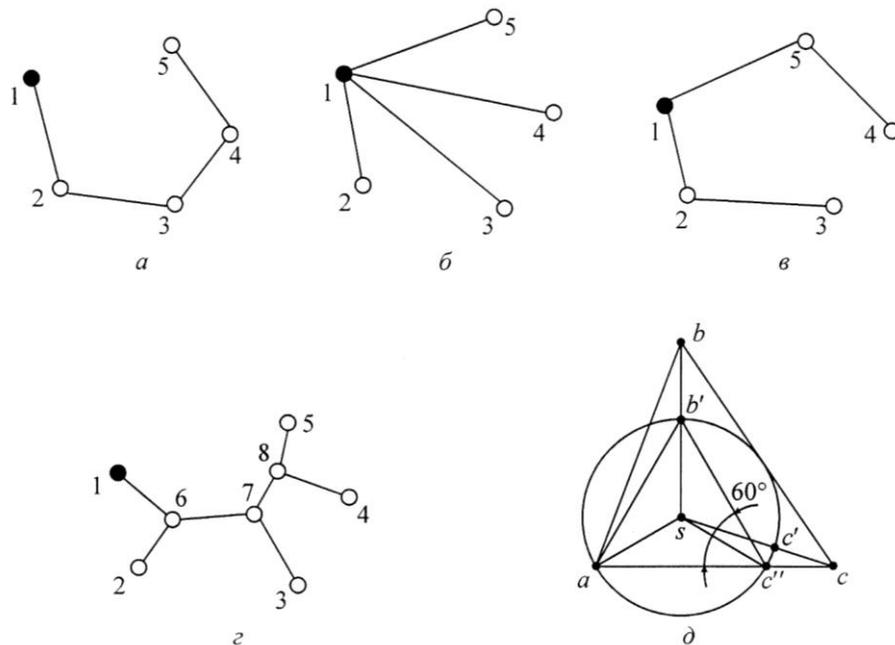


Рис.1. Варианты построения абстрактных сетей

При решении задач синтеза ЛТС практический интерес представляют построения, приведенные на рис. 1, *в* и *г*. В первом случае строится кратчайшее связывающее дерево (КСС) для N_I грузообразующих вершин в виде графа – «дерева Прима» [2], имеющего минимальную длину путей.

Вариант, изображенный на рис. 1, *г*, получен добавлением к КСС трех дополнительных вершин в целях уменьшения его длины. В этом случае задача сводится к поиску «минимального дерева Штейнера» (МДШ), связывающего исходные и дополнительные вершины (называемые точками Штейнера) и имеющего минимальную суммарную длину путей среди всех возможных МДШ с $N_s = N_I - 2$ допустимым числом точек Штейнера [2]. При этом усложняется только целевой функционал задачи в следующем порядке: минимальная длина – минимальные транспортные расходы – минимальные приведенные затраты. Очевидно, что построение оптимальной транспортной сети для нескольких исходных вершин связано с решением задачи поиска МДШ. Для проверки правильности такого вывода выполним оценку длины МДШ для трех грузообразующих вершин.

Пусть на евклидовой плоскости построена транспортная сеть с $N_I = 3$ исходными и $N_s = N_I - 2$ дополнительными точками (рис. 1, *д*).

Доказательство. Пусть точка a – ближайшая к дополнительной точке s и справедливы выражения:

длина КСС

$$L_p = ac + bc;$$

длина МДШ

$$L_s = as + bs + cs.$$

Если точка s не существует, т. е. $as \rightarrow 0$, то $L_s \rightarrow L_p$. Это означает, что длина КСС является верхней границей для МДШ ($L_s = L_p$).

На отрезке bs находим такую точку b' , чтобы $b's = as$ и $c's = as$. Тогда

$$L_s = as + b's + c's + b'b + c'c = \frac{\sqrt{3}}{2} (ab' + ac') + b'b + c'c.$$

Из рис. 1, δ видно, что

$$ab' = ac'' \text{ и } cc' = cc'', ab = ab' + b'b \text{ и } ac = ab' + c'c,$$

тогда
$$L_s = \frac{\sqrt{3}}{2} (ab + ac) + (1 - \frac{\sqrt{3}}{2})(b'b + c'c). \quad (1)$$

Если рассмотреть случай, когда совпадают точки b и b' , c и c' , то можно преобразовать формулу (1) для определения нижней границы МДШ следующим образом:

$$L_s = 0,86603 (ab + ac) = 0,36503 L_p. \quad (2)$$

Э.П. Гильберт и Г.О. Поллак [3], исследуя проблему Штейнера, также пришли к выводу, что за начало построения МШД можно принять КСС при условии обеспечения невозрастающей последовательности приращений длины МДШ, и определили соотношение между максимумом L_p и значением L_s :

$$L_s = L_p [(1 - \frac{1}{2} (1 - \cos 30^\circ))] = 0,933 L_p. \quad (3)$$

Изложенное позволяет сделать вывод, что поиск лучшего варианта ЛТС необходимо свести к поиску оптимальной модели – «минимального дерева Штейнера».

2. Применение методики построения опорной сети лесных дорог в геоинформационных технологиях. В качестве компонента системы оптимизации ЛТС может быть использовано программное обеспечение, разработанное в Белорусском государственном технологическом университете, а также разработки РУП «Белгослес» и Института леса НАН Беларуси (Геоинформационная система «Лесные ресурсы» FORMAP for Windows версия 2.0: Руководство пользователя / НПООО «БелИнвестЛес». – Минск, 1999. – 96 с.).

На рис. 2 представлена структурная схема по проектированию ЛТС в эксплуатационных лесах.

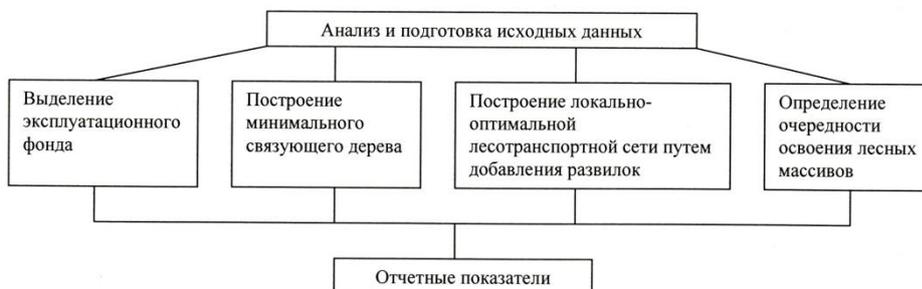


Рис. 2. Структурная схема программы

Особенностью проектирования сети лесных дорог на основе геоинформационных технологий является формирование массивов исходных данных. Геоинформационные системы позволяют не только производить распределение насаждений по хозяйственным частям, сформированным в пределах групп леса и категорий защитности, но также учитывать индивидуальные особенности выделов (почвенно-грунтовые, гидрологические, рельефные и т. д.).

3. Экспериментальное испытание предложенной методики выполнено на предприятии ГЛХУ «Червенский лесхоз» Рованичского лесничества Республики Беларусь, занимающемся заготовкой леса и первичной переработкой древесины. Заготовка и вывозка леса осуществляются по хлыстовой технологии, на вывозке используются автопоезда МАЗ-509, МАЗ-5434 + прицепы-ропуски.

3.1. *Выделение эксплуатационного фонда* производится на основе подсистем анализа, оценки лесных территорий и расчета размера главного пользования лесом (Расчет размера главного пользования: технорабочий проект [Текст]: / ГЛПО «Белгослес». – Минск, 1997. – 15 с.). При этом выделяются лесоэксплуатационные районы, соответствующие определенным типам местности [5, 6]; точечные и линейные препятствия, контурные «недоступные» области, затрудняющие или исключают размещение на них лесотранспортных путей [7] (например, особо защитные участки леса, глубокие болота и т. д.).

3.2. *Построение минимального связующего дерева – дерева Прима.*

3.3. *Построение локально-оптимальной ЛТС путем добавления развилок – минимального дерева Штейнера.*

3.4. *Определение очередности освоения лесных массивов.* Очередность рубки насаждений эксплуатационного фонда в настоящее время устанавливаются согласно «Правилам отпуска леса на корню в лесах Республики Беларусь» (Постановление СМ Республики Беларусь от 29.03.2002 № 383. – Минск, 2002. – 25 с.). Методика определения очередности ограничивается регламентацией критериев отбора и порядка назначения в рубку древостоев. В этой связи необходимо провести расчеты, оптимизирующие проектирование опорной ЛТС в эксплуатационных лесах.

Очередность строительства ЛТС определяют двумя методами: наступлением спелости лесонасаждений и минимумом затрат. Затем выбирают наилучший.

3.5. *Определение необходимого количества искусственных сооружений.* Обоснование и выбор местоположения искусственного сооружения рассматриваются в каждой точке пересечения проектируемой трассы лесной дороги с крупными водотоками (реки, ручьи и т. д.).

На рис. 3 представлен фрагмент ЛТС Червенского лесхоза Рованичского лесничества.

3.6. *Получение отчета по запроектированной транспортной сети.* Отчет показателей с учетом очередности строительства лесных дорог на 20 лет приведен в таблице.

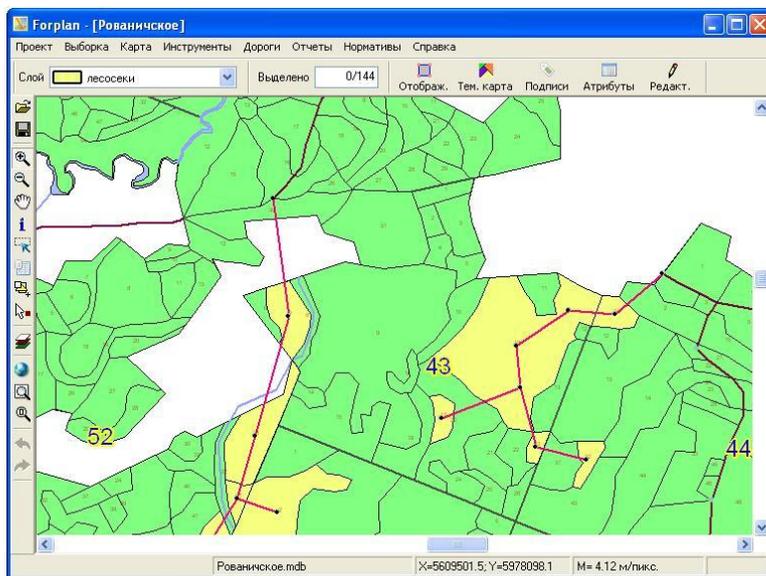


Рис. 3 Фрагмент запроектированной ЛТС

Показатели ЛТС

Показатель	Период строительства				Итого
	I	II	III	IV	
Длина строительства, км	4,59	6,92	6,25	6,81	24,57
	4,04	6,06	5,82	8,65	24,57
Средняя стоимость строительства 1 км, млн бел. р.	116,2	126,1	114,0	108,8	116,0
	103,9	114,3	111,8	126,7	116,4
Стоимость строительства ЛТС млрд бел. р.	0,53	0,87	0,71	0,74	2,85
	0,42	0,68	0,65	1,10	2,85
Объем вывозки, тыс. м ³	174,3	164,9	194,0	179,6	712,8
	164,7	182,3	173,6	192,2	712,8
Грузооборот, тыс. м ³ /год	34,9	33,0	38,8	35,9	35,7
	32,9	36,5	34,7	38,4	35,6
Среднее расстояние вывозки, м	495,2	793,8	1229,2	1088,7	913,6
	610,0	630,4	1170,8	1210,1	913,6
Строительство сооружений, млн бел. р.	–	10,0	20,0	–	30,0
	–	10,0	20,1	–	30,1
Общая стоимость, млрд бел. р.	0,53	0,88	0,73	0,74	2,88
	0,42	0,69	0,67	1,10	2,88

Примечание. В числителе данные, полученные по методу наступления спелости; в знаменателе – по минимуму затрат.

Выводы

1. Для размещения в лесном массиве необходимо проектировать ЛТС многофункционального назначения, обеспечивающие вывозку заготовленной древесины на нижние склады, транспортировку нелесных грузов и перемещение пассажиропотоков между населенными пунктами.

2. Природные условия, отличающиеся исключительным разнообразием и неоднородностью, оказывают решающее влияние на выбор параметров ЛТС.

3. Разработанная модель оптимизации ЛТС позволяет моделировать процессы транспортного освоения лесных массивов сроком на 10...20 лет и отдельных лесозаготовительных секций в течение 5...10 лет.

4. Исследование абстрактных ЛТС дало возможность с общих позиций составить их компактное математическое описание на всех уровнях моделирования. Это позволило назначить для ЛТС и их фрагментов такие общие параметры оптимизации, как конфигурация и структура.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях [Текст] / М.И. Нечепуренко [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 515 с.
2. Гильберт, Э.Н. Минимальные деревья Штейнера [Текст] / Э.Н. Гильберт, Г.О. Поллак // Кибернетический сб. Нов. сер. – 1971. – Вып. 8. – С. 19–50.
3. Хомяк, Я. В. Проектирование сетей автомобильных дорог [Текст] / Я.В. Хомяк. – М.: Транспорт, 1983. – 206 с.
4. Bavel, J.I. Designing of the road network in wood of the second group [Text] / J.I.Bavel, P.A. Lyshchik // Materials, Methods and Technology: Intern. Sci. Publ. – Bulgaria: Info Invest, 2007. – Vol. 1. – P. 49–59.
5. Bavel, J.I. Development of the design technique forest road network for effective transport development of woodland in Belarus [Text] / J.I.Bavel, P.A Lyshchik // Ibid., 2008. – Vol. 2, p. 1. – P. 116–124.

Поступила 28.01.09

E.I. Bavel, P.A. Lyshchik
Belorussian State Technological University

Substantiation of Forest-transport Networks Placement

The model of forest-transport ways placement is developed based on the graph theory allowing to minimize total given costs.

Keywords: abstract forest-transport network, forest-transport ways, graph theory.
