

СОЗДАНИЕ ОПОРНОЙ СЕТИ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Бавбель Е. И., доц., к.т.н., Лыщик П. А., проф., к.т.н., Науменко А. И., ассист., к.т.н.
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: bavbel-ji@belstu.by

THE CREATION OF A SUPPORT NETWORK OF FOREST ROADS ON THE BASIS OF GIS-TECHNOLOGIES

Bavbel J. I., Assoc. Prof., PhD., Lyshchik P. A., Prof., PhD., Naumenko A. I., Ass., PhD
Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The article describes a method of location logging network in the exploitable forests in the long term, given natural-production conditions, and the taxation characteristics of plantations for intensive forest management and forest management.

Транспорт леса в лесной отрасли является основным и решающим звеном лесозаготовительного процесса так, как оценка работы лесозаготовительных предприятий и лесохозяйственных организаций, ведущих лесозаготовки, оценивается по объему вывозки заготовленного леса. Для обеспечения успешной работы лесного комплекса в целом, для освоения лесных массивов необходимо иметь разветвленную транспортную сеть лесных дорог, густота которых для условий Беларуси, должна составлять 0,432 км на 100 га (в настоящее время она составляет 0,222 км на 100 га). Для достижения такой густоты лесотранспортных путей ежегодно строиться 100–120 км лесных автомобильных дорог круглогодичного действия с определением регионов их строительства. Прогнозирование расположения лесотранспортной сети на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений является весьма актуальной задачей для лесного комплекса.

Анализ работ по исследованию методов прогнозирования расположения лесотранспортных сетей указывает на недостаточно полное раскрытие вопросов, связанных с учетом динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и особенностей реальной местности. Основное внимание исследователей сводилось к проектированию лесотранспортных сетей в лесных массивах больших размеров (100×100 км и более) и уточнению затрат для их освоения. При этом предложенные методы не учитывают неравномерность распределения запасов древесины, степень концентрации лесосек, определение очередности строительства лесных дорог, установление местоположения и количества искусственных сооружений и т.д.

Для решения данных задач впервые дано прогнозирование расположения лесотранспортных сетей на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и условий их произрастания. Разработаны математическая модель размещения лесотранспортных путей и метод прогнозирования расположения их на долгосрочную перспективу для транспортного освоения лесных массивов и обеспечения непрерывности лесозаготовительного производства на основе ГИС-технологий.

Математическая модель размещения лесотранспортных сетей разработана с использованием инструментария теории графов. При этом лесотранспортная сеть представляется в виде связного взвешенного графа, в котором вершины – «особые точки», а ребра – возможные лесотранспортные пути между ними, характеризующиеся соответствующими стоимостями строительства лесных дорог. В основу графоаналитической модели положен алгоритм построения минимального связывающего дерева – дерева Прима [1, 2].

На основе указанного выше метода разработаны алгоритм и программное обеспечение прогнозирования расположения лесотранспортных сетей на основе динамики

лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и специальной цифровой модели местности. На рисунке 1 представлена структурная схема по прогнозированию расположения опорной лесотранспортной сети.



Рисунок 1 – Структурная схема по прогнозированию расположения лесотранспортной сети

Из рисунка 1 видно, что разработанные модель размещения опорной лесотранспортной сети и метод прогнозирования расположения ее на долгосрочную перспективу состоят в следующем [1, 2]:

1-й этап. *Выделение эксплуатационного фонда.* Лесоэксплуатационные районы выделяются в соответствии с Правилами рубок леса в Республике Беларусь и Правилами отнесения лесов Республики Беларусь к группам и категориям защитности, соответствующие определенным типам местности и возрастам рубки по основным 6-ти хозсекциям: сосна – 81 год, ель – 81 год, дуб – 101 год, береза – 61 год, ольха черная – 51 год, осина – 41 год. В специальной цифровой модели местности (рисунок 2) определяются точечные и линейные препятствия, площадные объекты, которые затрудняют или вовсе исключают расположение по ним лесотранспортных путей (например, особо защитные участки леса, болота, реки и т.д.).

2-й этап. *Построение минимального связующего дерева – дерево Прима.* Алгоритм Прима заключается в соединении сетью звеньев (i, j) , имеющих минимальную суммарную длину из всего графа G_s . За основной критерий оптимальности варианта расположения лесотранспортной сети принят минимум затрат на строительство, содержание лесных дорог и вывозку всего сосредоточенного объема древесины:

$$\min_{i,j \in G_s} \Phi(G_s) = \min_{i,j \in G_s} \sum_{ij} C_{ij} \cdot l_{ij}^k = \min_{i,j \in G_s} \sum_{ij} \sum_{t=1}^T \left[\frac{K_{ij}^k(t) + T_{ij}^k(t) \cdot q_{ij}(t) + I_{ij}^k(t)}{(1 + E_n)^t} \right] \cdot l_{ij}^k, \quad (1)$$

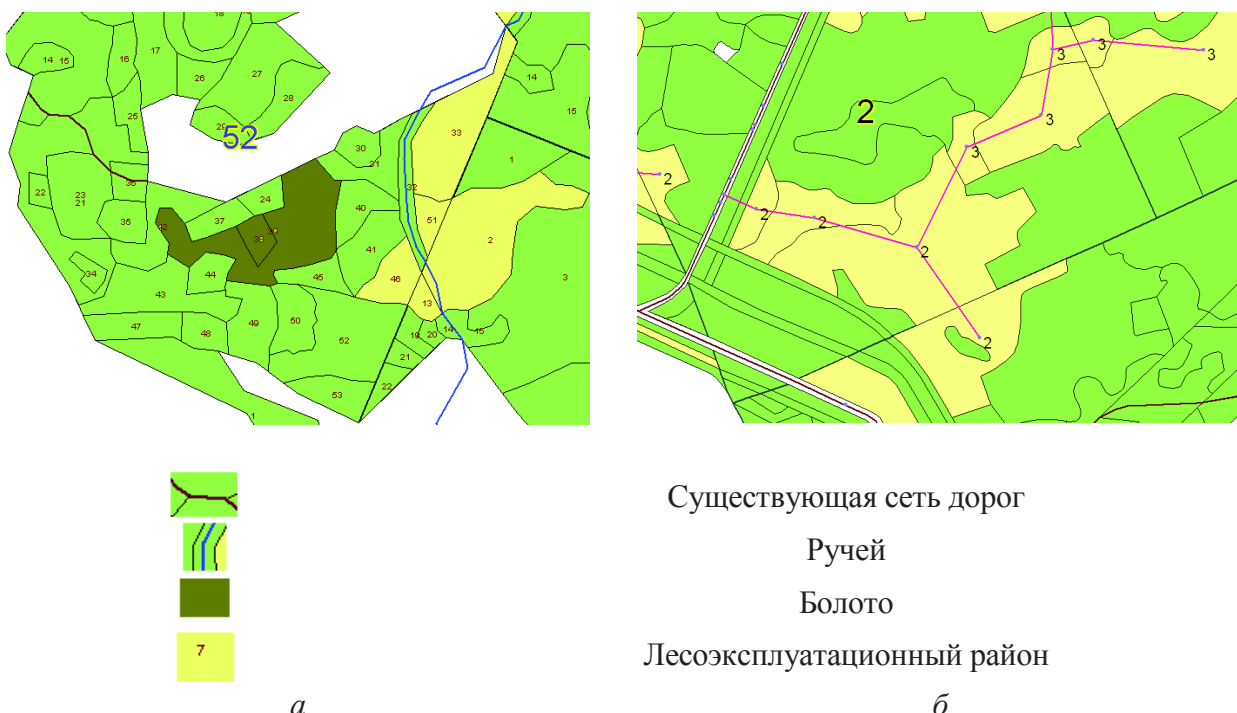
где $K_{ij}^k(t)$ – стоимость строительства 1 км дороги на участке (i, j) в k -ой области неоднородности и t -й период времени, млн. руб./км; $T_{ij}^k(t)$ – текущие транспортные затраты на 1 км дороги (i, j) в k -ой области неоднородности и t -й период времени, млн. руб./м³км; $q_{ij}(t)$ – объем вывозки древесины из i -й вершины в j -ю в t -й период времени, м³; $I_{ij}^k(t)$ – стоимость искусственного сооружения на дороге (i, j) в k -ой области неоднородности и t -й период времени, млн.руб.; E_n – норма дисконты; l_{ij}^k – протяженность участка (i, j) , пересекающего k -ую область неоднородность, км.

При этом определяется целесообразность строительства лесной дороги к отдельным выделам, исходя из условия, если затраты на строительство дороги меньше или равны затратам на строительство волока:

$$(K_{ij}^k + T_{ij}^k \cdot q_{ij})l_{ij}^k \leq (K_{ij}^{B(k)} + T_{ij}^{B(k)} \cdot q_{ij})l_{ij}^k, \quad (2)$$

$$q_{ij} \geq \frac{K_{ij}^k - K_{ij}^{B(k)}}{T_{ij}^{B(k)} - T_{ij}^k}, \quad (3)$$

где K_{ij}^k , $K_{ij}^{B(k)}$ – стоимость строительства 1 км соответственно дороги и волока на участке (i, j) в k -ой области неоднородности, млн. руб./км; T_{ij}^k , $T_{ij}^{B(k)}$ – текущие транспортные затраты на 1 км соответственно дороги и волока (i, j) в k -ой области неоднородности, млн. руб./м³км; q_{ij} – объем вывозки древесины из i -й вершины в j -ю, м³, l_{ij}^k – протяженность участка (i, j) , пересекающего k -ую область неоднородность, км.



а – лесозексплуатационные районы; *б* – запроектированная лесотранспортная сеть

Рисунок 2 – Построение лесотранспортной сети

3-й этап. Построение лесотранспортной сети путем добавления развилок – минимальное дерево Штейнера. Задача Штейнера заключается в том, чтобы определить точку развилки, для которой сумма взвешенных расстояний для заданных пунктов была бы минимальна. При этом усложняется только целевая функция задачи в следующем порядке:

– ищется минимальная протяженность лесотранспортной сети

$$\sum_{ij} l_{ij}^k \rightarrow \min; \quad (4)$$

где l_{ij}^k – протяженность участка (i, j) , пересекающего k -ую область неоднородность, км.

– ищется минимум эксплуатационных затрат на вывозку древесины

$$\sum_{ij} T_{ij}^k \rightarrow \min; \quad (5)$$

где T_{ij}^k – текущие транспортные затраты на 1 км дороги (i, j) в k -ой области неоднородности, млн. руб./м³км;

– ищется минимум затрат на строительство, содержание дороги и вывозку всего сосредоточенного объема древесины

$$\sum_{ij} C_{ij} \rightarrow \min. \quad (6)$$

где C_{ij} – затраты на строительство, содержание дороги и вывозку всего сосредоточенного объема древесины, руб.

4-й этап. Определение очередности строительства лесотранспортных сетей. От правильности определения зависит ритмичность работы предприятий, динамика освоения инвестиций и эффективность лесозаготовительного производства. Разработанный метод прогнозирования расположения лесотранспортных сетей на долгосрочную перспективу (рисунок 3) позволяет определять очередность строительства лесных дорог по 2-м критериям.

Критерий **минимум затрат** обеспечивает заданный по отдельным периодам план вывозки древесины с использованием построенных дорог при минимуме суммарных приведенных затрат на строительство дорог, их содержание и вывозку по ним древесины. При этом суммарные приведенные затраты составляют:

$$C_{ij} = \frac{K_{ij}^k + I_{ij}^k}{(1 + E_n)^v} + T_{ij}^k \cdot \sum_{t=v}^{t=N} q_{ij}(t) \frac{1}{(1 + E_n)^t}, \quad (7)$$

где K_{ij}^k – стоимость строительства 1 км дороги на участке (i, j) в k -ой области неоднородности, млн. руб./км; I_{ij}^k – стоимость искусственного сооружения на дороге (i, j) в k -ой области неоднородности, млн. руб.; v – период ввода пути в эксплуатацию, год; T_{ij}^k – текущие транспортные затраты на 1 км дороги (i, j) в k -ой области неоднородности, млн. руб./м³км; $q_{ij}(t)$ – объем вывозки древесины из i -й вершины в j -ю в t -й период, м³; E_n – норма дисконты.

Критерий **наступления спелости** обеспечивает заданный по отдельным периодам план вывозки древесины, используя построенную лесотранспортную сеть с учетом периода достижения возраста рубки насаждений. Период достижения возраста рубки (ПДВР) – период планирования, в котором возраст насаждения становится больше, чем минимальный возраст рубки для насаждений данной породы. Средний ПДВР для совокупности участков рассчитывается как средневзвешенное через запас:

$$m = \frac{\sum_{k=1}^n (p_k \cdot q_k)}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (8)$$

где p_k – ПДВР k -того участка, год; q_k – запас древесины k -того участка, м³; n – количество участков (узлов) в пределах дерева.

Назначение очередности строительства выполняется следующим образом:

1. Лесные дороги с меньшим ПДВР строятся в первую очередь.
2. При равных ПДВР в первую очередь строятся лесные дороги с большим соотношением объема вывозки к длине дороги.
3. Назначение периодов выполняется последовательно, начиная с первого. Когда лесные дороги на первый период строительства набраны, алгоритм приступает к набору лесных дорог на второй период и т.д.
4. Лесные дороги на очередной период считаются набранными, когда запасы насаждений, которые могут быть освоены в этот период с использованием запроектированной сети, достигнут требуемой величины. При этом учитываются только насаждения, которые в данном периоде достигли или достигнут минимального возраста рубки.
5. Целевой запас для каждого из периодов определяется как суммарный запас всего лесосечного фонда, деленный на количество периодов.

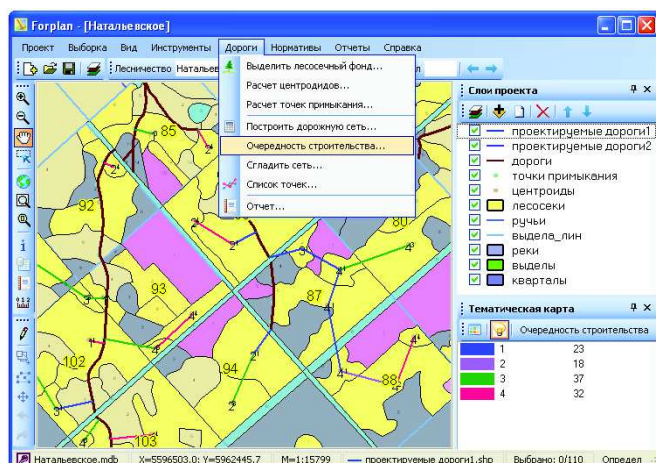


Рисунок 3 – Определение очередности строительства лесотранспортной сети

При определении очередности строительства лесных дорог в соответствии с планом развития лесного хозяйства предприятия необходимо установить – за какой период запланировано построить лесотранспортную сеть. В связи с этим могут быть два случая:

– если запланировано построить лесотранспортную сеть на 10 лет, значит, минимальный возраст рубки для основных 6-ти хозсекций при выделении лесоэксплуатационных районов будет составлять: сосна – 81 год, ель – 81 год, дуб – 101 год, береза – 61 год, ольха черная – 51 год, осина – 41 год. В результате лесотранспортная сеть будет строиться только в спелых и перестойных лесах.

– если запланировано построить лесотранспортную сеть на 20 лет, значит, минимальный возраст рубки для основных 6-ти хозсекций при выделении лесоэксплуатационных районов необходимо понизить на 10 лет и будет составлять: сосна – 71 год, ель – 71 год, дуб – 91 год, береза – 51 год, ольха черная – 41 год, осина – 31 год. В результате лесотранспортная сеть будет строиться по периодам (1 – 5 лет, 2 – 10 лет) как в спелых, так и в приспевающих лесах (3 – 15 лет, 4 – 20 лет), которые в течение 10-ти лет перейдут в разряд спелых лесов. У каждого сегмента запроектированной лесной дороги будет указан период строительства (1, 2, 3 и т.д.), который соответствует периоду наступления спелости данного участка леса.

5-й этап. *Определение необходимого количества искусственных сооружений.* Обоснование и выбор местоположения искусственного сооружения рассматривается в каждой точке пересечения проектируемой трассы лесной дороги с водным препятствием (реки, ручьи и т.д.).

6-й этап. *Получение отчета по запроектированной лесотранспортной сети с учетом очередности строительства лесных дорог.* В отчете приводятся по периодам следующие показатели: длина строительства лесотранспортных путей, км; стоимость строительства лесотранспортных путей, млрд. руб.; средняя стоимость строительства 1 км, млн. руб./км; объем вывозки, тыс. м³; грузооборот, тыс. м³/год; стоимость искусственных сооружений, млн. руб.; общая стоимость строительства, млрд. руб. и т.д.

В основу разработанного программного обеспечения прогнозирования расположения лесотранспортных сетей положены четыре принципа: универсальность (возможность моделировать произвольные по конфигурации и площади участки реальных территорий с трассируемыми лесотранспортными путями), гибкость (удобство пополнения программного обеспечения за счет включения в его состав новых компонентов, а также корректировки отдельных его частей без изменения целого), быстрое действие и диалоговый режим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бавбель, Е. И. Разработка проекта строительства лесной дороги / Е. И. Бавбель // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2010. – Вып. 4(39). – С. 81–89.
2. Лыщик П. А., Бавбель Е. И. Проблема развития транспортной инфраструктуры лесопользователей // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 62–64.