

той лесом площади это увеличение составило 3,2 %. Положительные тенденции в динамике рассматриваемого показателя связаны с заменой перестойных лесов, где прирост минимальный, на молодняки, в которых процесс накопления общей древесной массы выше.

Литература

1. Рунова Е.М, Чжан Л.А. Экологическое состояние лесов в Приангарье // Актуальные проблемы: мониторинга экосистем антропогенно нарушенных территорий: сб. материалов /науч.-практической конф. с междунар. участием (УлГУ 20-23 окт. 2011 г.). Ульяновск, 2011. С.109-111.
2. Рунова Е.М, Чжан Л.А, Пузанова О.А. Пространственно-временной характер лесных сукцессий Приангарья: моногр. Братск: БрГУ, 2008. 100 с.
3. Рунова Е.М, Чжан Л.А, Пузанова О.А. Динамическая характеристика лесов Приангарья // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-технической конф. Брянск, 2007. Вып. 17. С. 95-97.
4. Рунова Е.М, Чжан Л.А, Пузанова О.А. Устойчивость древостоев, подверженных длительному аэротехногенезу // Вестн. КрасГАУ. Красноярск, 2010. № 6. С.74-76.

5. Рунова Е.М, Чжан Л.А, Пузанова О.А. Особенности загрязняющих веществ в хвое сосны обыкновенной // Там же. - 2009, № 3 С.62-64.

References

6. Рунова Е.М, Чжан Л.А. Экологическое состояние лесов в Приангарье // Актуальные проблемы: мониторинга экосистем антропогенно нарушенных территорий: сб. материалов /науч.-практической конф. с междунар. участием (УлГУ 20-23 окт. 2011 г.). Ульяновск, 2011.С.109-111.
7. Рунова Е.М, Чжан Л.А, Пузанова О.А. Пространственно-временной характер лесных сукцессий Приангарья: моногр. Братск: БрГУ, 2008. 100 с.
8. Рунова Е.М, Чжан Л.А, Пузанова О.А. Динамическая характеристика лесов Приангарья // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-технической конф. Брянск, 2007. Вып. 17. С. 95-97.
9. Рунова Е.М, Чжан Л.А, Пузанова О.А. Устойчивость древостоев, подверженных длительному аэротехногенезу // Вестн. КрасГАУ. Красноярск, 2010. № 6. С.74-76.
10. Рунова Е.М, Чжан Л.А, Пузанова О.А. Особенности загрязняющих веществ в хвое сосны обыкновенной // Там же. - 2009, № 3 С.62-64.

УДК 630

Подход к проектированию оптимальной лесотранспортной сети с помощью математического моделирования

Е.М. Рунова¹, В.Н. Костяев¹

¹Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия. E-mail: chessmaster-russt@yandex.ru;

E-mail: runova@rambler.ru

Статья поступила 8.08.2012, принята 13.11.2012

Интенсивное освоение новых лесосырьевых баз неразрывно связано с проектированием оптимальной лесотранспортной сети, которая должна обеспечивать экономическую эффективность для лесозаготовительного предприятия и экологическую безопасность осваиваемых территорий. Эти и другие факторы требуют разработки универсального метода нахождения оптимальной дорожной сети. Предложен универсальный метод поиска наилучшей сети лесовозных дорог, основанный на инструментарию теории графов (построении минимального остовного дерева – дерева Прима). Подробно описан пошаговый алгоритм поиска рациональных маршрутов для транспортировки древесины с осваиваемых территорий и учтены особенности местности; рассмотрен механизм поиска наиболее привлекательных с экономической точки зрения лесных участков и способов соединения их в единую лесотранспортную сеть; выведены формулы расчета экономической доступности лесных ресурсов; приведены примеры схем определения кратчайшей сети лесовозных дорог, найденной с помощью методов математического моделирования. Описан подход к проведению расчета экономической эффективности от реализации проекта по освоению конкретных участков. Метод учитывает наличие существующих лесовозных дорог и может применяться для любых по масштабу территорий с различными природно-климатическими условиями, породным составом и количественным запасом древесины. Предложенная математическая модель помогает обеспечить эффективный поиск оптимального пространственного расположения лесотранспортной сети и снизить зависимость от уровня квалификации и компетенций инженеров. Может быть использована в качестве основы компьютерной программы, как вспомогательный инструмент для инженеров, занимающихся вопросами освоения лесного фонда предприятий.

Ключевые слова: оптимизация лесотранспортной сети, математическое моделирование, теория графов, экономическая доступность лесных ресурсов.

Approach to optimal forest roads network design by mathematical simulation

Е.М. Runova¹, V.N. Kostyaev¹

¹Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, Russia. E-mail: chessmaster-russt@yandex.ru; runova@rambler.ru

The article received 8.08.2012, accepted 13.11.2012

An intensive harvesting of new forest areas is inseparably linked with the design of the optimal forest roads network, which should provide cost-effectiveness for forest harvesting operations and environmental safety of the territories under development. These and some other factors require the development of a universal method to create the optimal road network. The universal method of finding the optimal hauling roads network based on the graph theory tools (the construction of a minimal spanning tree – the Prim's tree) has been proposed. The step-by-step algorithm for finding the rational routing to haul forest resources from the harvesting territories has been described in detail, and the features of the area have been taken into consideration. The mechanism of finding the forest areas most attractive from the economic point of view and ways to connect them into a forest roads network have been considered; the formulas to calculate the forest resources economic availability have been derived; the examples of the schemes to determine the shortest logging roads network have been given by the methods of mathematical modeling. The approach for the cost-effectiveness calculation to implement the project while harvesting has been described. The technique takes into account the existing logging roads and can be applied to the areas of any coverage with different climatic conditions, species composition and the quantitative supply of wood. The proposed mathematical model can be used as the basis of a computer program and as an auxiliary tool for engineers involved in the forest fund development.

Keywords: forest roads network optimization, mathematical simulation, graph theory, forest resources economic availability.

Строительство лесовозных дорог и транспортировка древесины традиционно считаются одними из самых затратных статей расходов в области лесозаготовок не только в России, но и в зарубежных странах [1, 2]. Затраты, приходящиеся на строительство дорог и вывозку древесины, могут достигать более половины себестоимости заготовленной древесины [3]. В этой связи одной из ключевых задач, стоящих перед руководителями лесозаготовительных предприятий, является оптимальное проектирование сети лесовозных дорог с целью обеспечения качественного доступа к лесным ресурсам. При этом затраты на строительство дорожной сети, ее дальнейшее обслуживание и ремонт должны быть минимальными. Также требуется учитывать специфику лесозаготовок, которая характеризуется разрозненностью лесных участков и неравномерностью расположения лесных ресурсов; необходимостью доставки древесины в единый центр – на нижний склад; однонаправленностью лесных грузопотоков; специфичностью грузов (крупные, длинномерные грузы: деревья, хлысты, сортименты); постоянно увеличивающимся расстоянием вывозки; ярко выраженной сезонностью (лето / зима) и т. д. [4, 5]. Определение очередности строительства лесовозных дорог с учетом прогноза динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и условий их произрастания, выбор наилучшего расположения искусственных сооружений и другие факторы также оказывают существенное влияние на рентабельность лесозаготовительного производства, а значит, должны быть учтены в процессе проектирования и положены в основу комплексной математической модели для решения поставленной задачи [6].

Авторами предложена методика проектирования пространственного расположения лесовозных дорог с помощью методов математического моделирования, в частности инструментария теории графов (метода остовного покрывающего дерева – дерева Прима). Про-

ектирование оптимальной лесотранспортной сети подчинено следующему общему алгоритму:

1) постановка задачи и целевой функции (освоение лесосырьевых баз по критерию минимизации затрат на строительство дороги или максимизации прибыли);

2) оценка текущей ситуации, включающей в себя:

- характеристику местности: особенности рельефа, гидрологические условия, типы почв и другие параметры, определяемые на основе материалов лесоустройства и картографических данных;

- расчет стоимости строительства 1 км дороги для «базовых» условий местности (определенные тип грунта, гидрологические условия, комплект дорожных машин и др.);

- ввод дополнительных коэффициентов, увеличивающих или уменьшающих стоимость строительства дорог, в зависимости от различных условий местности;

3) выбор ключевых участков, содержащих определенный запас древесины, которые требуется освоить:

- расчет прибыли на всех потенциальных участках (лесосеках или участках, обладающих наибольшей концентрацией древесины – в зависимости от выбора способа рубки), обладающих запасами древесины (на основе материалов лесоустройства, таксационных описаний и т. д.);

- выбор наиболее привлекательных лесных участков (ключевых участков), который производится на основе установленного предприятием норматива прибыли с одного участка (тыс. руб./участок);

4) построение цифровой модели местности (перевод информации в цифровой формат);

5) перевод данных в математическую модель, основанную на использовании инструментария теории графов: «ключевые участки» являются вершинами, а возможные пути между ними – нагруженными ребрами, веса которых соответствуют стоимости строительства дорог;

б) поиск оптимальной транспортной сети посредством использования алгоритма минимального остовного дерева – дерева Прима;

7) рекомендации к очередности освоения с учетом динамики лесного фонда.

В общем виде схема алгоритма поиска оптимального расположения лесотранспортной сети имеет следующий вид в соответствии со схемой 1.

В долгосрочной перспективе на расположение сети лесовозных дорог значительное влияние оказывает комплекс гидрологических, почвенных, климатических факторов, которые определяют условия роста и развития леса, а также породно-качественный состав древостоя. Для учета перечисленных факторов возможно применение цифровой модели местности (ЦММ), которая отражает лесоводственно-таксационные характеристики насаждений и особенности осваиваемой территории.

Модель должна включать в себя следующие объекты:

1) участки, характеризующиеся разными типами рельефа и местности (болота, озера и др.), на которых стоимость строительства и содержания участка дороги существенно отличается от стандартной (или базовой, принятой при расчетах);

2) участки-линии, характеризующиеся реками, ручьями, оврагами и т. д., пересечение которых требует дополнительных расходов на строительство искусственных сооружений (мостов, виадуков и др.);

3) ключевые участки: пункты концентрации древесины, возможные пункты примыкания существующих дорог, места расположения дорожно-строительных материалов и т. д.

Такая модель позволяет учесть основные факторы, оказывающие существенное влияние на освоение лесосырьевых баз, а также провести оценку природно-производственных условий, оптимально выбрать конструкции лесных дорог, провести точный расчет расходов на строительство.

Распределение территорий на три категории обусловлено необходимостью учета затрат на строительство 1 км дороги, которые могут быть выражены в виде базового значения и повышающих (или понижающих) коэффициентов, в зависимости от вида рельефа, особенностей местности, необходимости строительства временных сооружений, наличия существующих дорог и др. Все данные сводятся к единой размерности – денежному выражению (тыс. руб.) как наиболее удобному для дальнейших расчетов.

Места концентрации древесины выбираются посредством расчета имеющегося объема лесных ресурсов на потенциальных ключевых участках (на всех территориях, имеющих некоторый запас древесины), а затем сравнения их между собой и выбора наиболее предпочтительных с точки зрения экономической эффективности – максимально возможной прибыли от реализации древесины с участка.

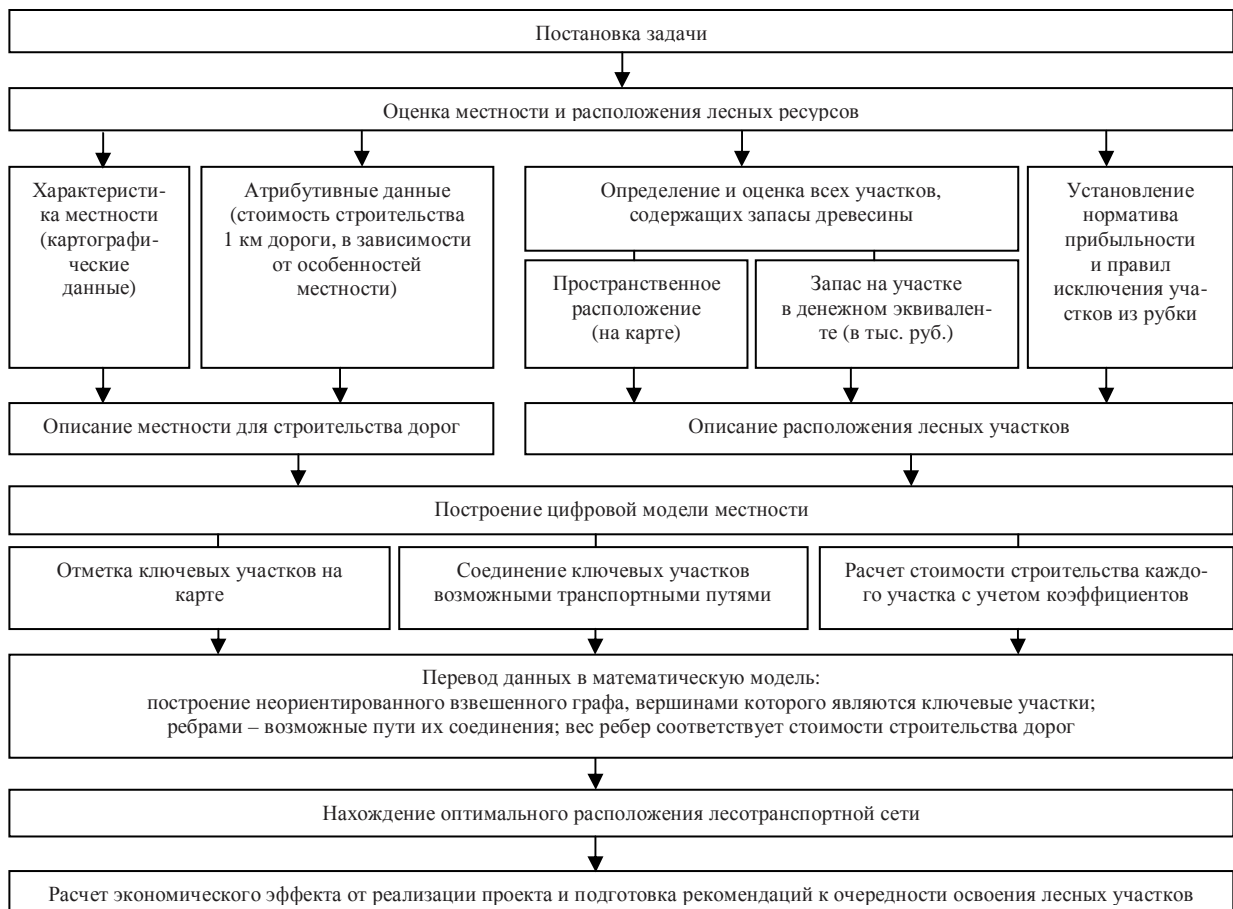


Схема 1. Алгоритм поиска оптимального расположения лесотранспортной сети.

Оценка ключевых участков также проводится в денежном эквиваленте:

$$S_i = \sum_i^n Q_i^n \times P^n, \quad (1)$$

где S_i – потенциальный доход, который может быть получен от реализации всего запаса древесины, находящейся на i -м участке (i -й вершине графа), руб.; Q_i^n – объем n -й породы дерева на i -м участке (i -й вершине графа), m^3 ; P^n – цена реализации $1 m^3$ древесины n -й породы, руб.

Формула (1) может быть дополнена учетом расходов на лесозаготовку (например, включением затрат на заготовку древесины, зависящих от комплекта машин, особенностей рельефа и т.д.):

$$S_{ic} = \sum_i^n Q_i^n \times P^n - \sum_i Q_i \times C \quad (2)$$

где S_{ic} – потенциальный доход, который может быть получен от реализации всего запаса древесины, находящегося на i -м участке (i -й вершине графа), за вычетом расходов на заготовку древесины, руб.; Q_i – объем заготавливаемой древесины на i -м участке, независимо от породы, $1 m^3$; C – расходы (в зависимости от комплекта лесосечных машин и рельефа) на заготовку $1 m^3$ древесины, независимо от породы, руб.

Критерием выбора ключевых участков может явиться минимальный порог доходности, устанавливаемый предприятием. Например, $S_{ic} \geq 100.000$ руб

Если доходность с участка соответствует заданному ограничению, участок выбирается как ключевой. В противном случае, участок исключается из рассматриваемых, и делается вывод о том, что прокладывать к нему дорогу нецелесообразно.

После проведения соответствующих расчетов по каждому потенциальному участку выбираются все соответствующие критерию $S_{ic} \geq 100.000$ руб и обозначаются как вершины связанного неориентированного графа, которые должны быть соединены оптимальной дорожной сетью – ребрами, суммарный вес которых будет минимальным. Критерием оптимальности является минимальная стоимость строительства лесотранспортной сети, соединяющей обозначенные участки (вершины). Общая стоимость строительства сети лесовозных дорог определяется как сумма весов ребер, образующих минимальное остовное дерево, связывающее все участки в единую сеть. Вес ребра соответствует стоимости строительства дороги на конкретном участке.

В общем виде формула определения веса ребра имеет следующее выражение:

$$w_{ij} = L_{ij} \times C_{стр} \quad (3)$$

где w_{ij} – вес ребра, соединяющего i -ую вершину с j -ой, руб.; L_{ij} – общая длина дороги, соединяющей i -ую

вершину с j -ой, км; $C_{стр}$ – стоимость строительства 1 км дороги, руб.

Таким образом, общая длина дороги выражается следующей формулой:

$$L_{ij,общ} = L_{баз} + \sum_i^n k_{i,отл}^n \times L_{i,отл}^n + \sum_i^n k_{i,вст}^n \times L_{i,вст}^n - L_{сущ} \quad (4)$$

где $L_{баз}$ – длина участка, на котором строительство дороги имеет стандартную (базовую) стоимость, км; $L_{сущ}$ – длина участка, имеющего дорогу, пригодную для транспортировки древесины и не требующая строительства и ремонта, км; $L_{i,отл}^n$ – длина участка, на котором строительство дороги отличается от базовой стоимости, км; $L_{i,вст}^n$ – длина участка, на котором расположена дорога, требующая восстановления (ремонта), км; $k_{i,отл}^n$ – повышающий коэффициент в зависимости от n -го типа местности на i -м участке дороги; $k_{i,вст}^n$ – понижающий коэффициент в зависимости от n -го состояния дороги, требующей ремонта, на i -м участке дороги.

На практике часто складывается ситуация, когда построенная дорога становится своеобразным плацдармом для освоения близлежащих участков посредством прокладки от нее трелевочных волоков к участкам, содержащим определенный запас древесины. Данное обстоятельство должно быть принято во внимание при проектировании дорожной сети, поскольку прибыль от реализации заготовленной таким образом древесины напрямую влияет на возможность нахождения оптимального решения.

Тогда формула расчета веса ребра, учитывающая прибыль от такой «промежуточной» заготовки и реализации древесины, имеет следующий вид:

$$w_{ij} = L_{ij,общ} \times C_{ij,стр} - V_{ij,пр}, \quad (5)$$

где w_{ij} – вес ребра с учетом доходов от «промежуточной» заготовки древесины на участке дороги ij , руб; $V_{ij,пр}$ – прибыль от реализации древесины, заготовленной на «промежуточном» участке от i -й вершины до j -й.

В свою очередь, расчеты включают в себя суммарную прибыль от реализации древесины, заготовленной на промежуточном участке, за вычетом стоимости строительства трелевочных волоков, погрузочных пунктов, расходов на лесозаготовку:

$$V_{ij,пр} = \sum_i^n Q_{ij}^n \times P^n - C_{ij,общ}, \quad (6)$$

где Q_{ij}^n – объем древесины, заготовленной на базе построенной дороги от вершины i до вершины j ; $C_{ij,общ}$ – общие расходы, которые рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{ij,общ} = l_{ij,вол} \times c_{вол} + \sum_i^n h_{nm}^k \times c_{nm}^k + Q_{ij} \times C_{заг}, \quad (7)$$

где $l_{ij,вол}$ – общая длина трелевочных волоков, км; $c_{вол}$ – стоимость строительства 1 км волока, руб; h_{nm}^k – количество погрузочных площадок, шт.; c_{nm}^k – стоимость строительства 1 погрузочной площадки, руб; Q_{ij} – общее количество заготовленной древесины, на промежуточном участке от i -ой вершины до j -ой, $м^3$; $C_{заг}$ – стоимость заготовки 1 $м^3$ древесины, руб.

В итоге, формула (5) примет следующий вид:

$$w'_{ij} = (L_{баз} + \sum_i^n k_{i,отл}^n \times L_{i,отл}^n + \sum_i^n k_{i,вст}^n \times L_{i,вст}^n - L_{сущ}) \times \quad (8)$$

$$C_{ij,стр} - \sum_i^n Q_{ij}^n \times P^n - (l_{ij,вол} \times c_{вол} + \sum_i^n h_{nm}^k \times c_{nm}^k + Q_{ij} \times c_{заг})$$

Совокупность всех ребер, соединяющих все ключевые участки, будет являться лесотранспортной сетью. Оптимизация этой сети может быть выполнена по критерию минимальных затрат на ее строительство. Для этой цели используется инструментарий теории графов – решение задачи построения минимального покрывающего дерева (Minimum Spanning Tree) [7], которая решается в несколько этапов.

Строится связный неориентированный граф $G = (V; E)$, где V – множество вершин графа; E – множество ребер графа. Для каждого ребра указывается вес, соответствующий предварительным расчетам согласно формуле (8). Задача заключается в нахождении подмножества ребер $A \in E$, связывающих все вершины, и построении дерева, для которого суммарный вес ребер минимален:

$$W(A) = \min \sum_{(u,v) \in A} w(u,v) \quad (9)$$

где u – множество посещенных вершин; A – подмножество ребер, связывающих все вершины.

Главной задачей проектировщика является выбор наиболее привлекательных, с точки зрения максимальной прибыли, лесных участков на основе таксационных, картографических данных и материалов лесоустройства (фактически, выбор вершин), а оптимальная лесотранспортная сеть находится по приведенному алгоритму.

После того, как найдены ключевые участки, их условные обозначения переносятся на компьютерную платформу, пригодную для расчета оптимальных путей на основе теории графов. Для удобства расчетов ключевые участки обозначаются центроидами. Схематично такое обозначение представлено на рис. 1.

На рис. 1 кругами обозначены разрозненные участки леса, наиболее привлекательные для освоения с точки зрения экономической эффективности (цифрами обозначены номера участков, цифра «1» обозначает исходную точку – нижний склад / предприятие / железнодорожный тупик).

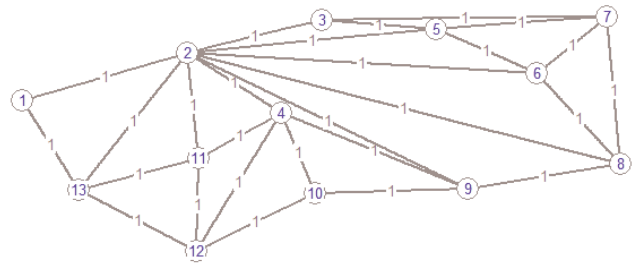


Рис. 1. Выбранные ключевые участки.

Затем все выбранные участки соединяются между собой возможными дорогами, а при соединении вершин между собой проводится расчет стоимости строительства каждого пути. Например, берется базовая стоимость строительства 1 км дороги (в млн. руб.), а затем, с учетом особенностей местности и климата, вводятся дополнительные коэффициенты, увеличивающие или уменьшающие стоимость строительства всех участков дороги. Такие возможные пути являются в модели ребрами графа, имеющими соответствующий вес (рис. 2).

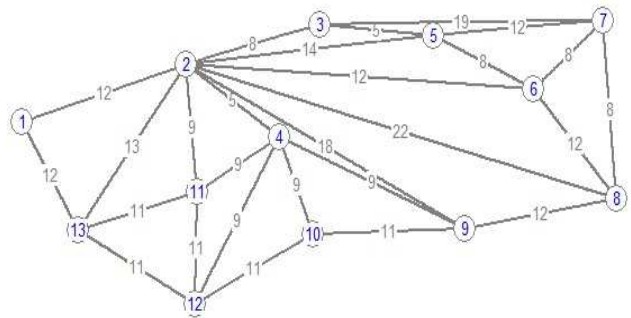


Рис. 2. Возможные пути, соединяющие выбранные участки.

На рис. 2 обозначены возможные пути (или нагруженные ребра графа), которыми соединены все участки, выбранные для освоения. Вес каждого ребра соответствует расходам на строительство дороги на этом участке. После того, как вершины выбраны и соединены между собой возможными ребрами, запускается алгоритм построения минимального дерева в соответствии с формулой (9).

В итоге построено минимальное остовное дерево (выбранная сеть выделена жирными линиями) с суммарным весом 101. Суммарный вес остовного дерева равен стоимости строительства всей дорожной сети, соединяющей ключевые участки концентрации древесины (поскольку в приводимом примере за вес ребра были приняты расходы на строительство дороги (в млн. руб.), общая стоимость лесотранспортной сети составляет 101 млн. руб.).

Важно отметить, что расчет стоимости дорожной сети целесообразно проводить для одной категории дорог. В дальнейшем сеть может быть скорректирована посредством выбора для каждого маршрута соответствующей категории дороги, в т. ч. с разделением на зимние или постоянные, в зависимости от связности участков и требований предприятия. Критерии выбора категорий дорог зависят от конкретных условий, на-

пример, приоритетное строительство постоянных дорог по маршрутам 1-2, 2-3, 3-5, 5-6, 6-7, 7-8 (рис. 3) позволяет в дальнейшем осваивать новые лесосырьевые базы, находящиеся на отдаленных территориях.

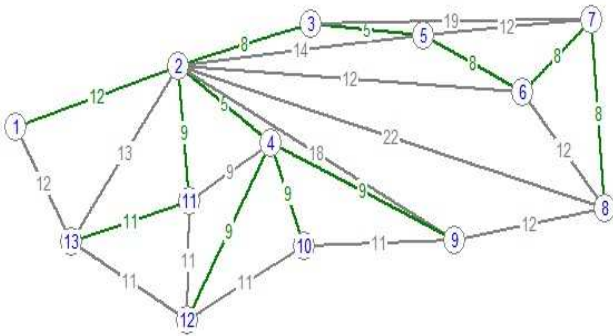


Рис. 3. Минимальное остовное дерево (оптимальная транспортная сеть).

В свою очередь, вывозку древесины по маршрутам 2-11, 11-13, 4-9, 4-10, 4-12 целесообразно осуществлять по зимним дорогам, т. к. в последующие периоды освоение новых лесных участков через эти маршруты не планируется, а значит, представляются нерациональными строительство и дальнейшее содержание этих дорог. В случае принятия за основной критерий оптимальности увеличения плотности дорожной сети строительство постоянных дорог должно быть осуществлено на всех участках. Если предприятие не обладает достаточным объемом денежных средств для одновременного строительства дорог, соединяющих все участки, и дальнейшее их освоение, то наиболее предпочтительным является выбор близлежащих территорий с наибольшим запасом древесины: полученные от ее реализации денежные средства в дальнейшем инвестируются в строительство новых дорог в соответствии с выбранной дорожной сетью. Важно также оценить воздействие различных способов трелевки на окружающую среду и выбрать оптимальный [8].

Таким образом находится принципиальная схема расположения лесотранспортной сети и рассчитывается ее примерная стоимость, которая в дальнейшем может быть уточнена во время проведения полевых исследований.

На последнем этапе рассчитывается чистый доход (экономический эффект) от реализации проекта:

$$V_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n V_i^n - \left(\sum_{i=1}^n C_{\text{стр}}^k + \sum_{i=1}^n C_{\text{заг}}^i \right) \quad (10)$$

где $V_{\text{общ}}$ – итоговая (чистая) прибыль от реализации проекта освоения лесосырьевых баз, руб.; V_i^n – валовая прибыль от освоения i -го участка, руб.; $C_{\text{стр}}^k$ – расходы на строительство i -го дорожного пути, руб.; $C_{\text{заг}}^i$ – расходы на заготовку древесины на i -м участке, руб.; n – номер освоенного участка; k – номер построенного дорожного пути.

Как правило, на практике освоение лесосырьевых баз происходит не за один год, а в течение достаточно

длительного периода, что обуславливает необходимость учета инфляционной составляющей (если предприятие использует собственные средства для развития транспортной сети) или ставки по кредиту (если предприятие использует заемные средства банков или инвесторов). В этом случае расчет чистой приведенной прибыли с учетом ставки дисконтирования [9] за все годы реализации проекта освоения лесосечного фонда необходимо рассчитывать по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - \sum_{i=1}^n \frac{I_t}{(1+r)^t}, \quad (11)$$

где CF_t – приток денежных средств от реализации древесины в период, руб.; I_t – объем инвестиций (капитальные затраты на строительство дорог и освоение лесосек) в t -ом периоде, руб.; r – ставка дисконтирования (ставка по кредиту или уровень инфляции); t – номер периода; n – общее количество периодов, $t = 1, 2, \dots, n$ (или срок возвращения инвестиций).

Так, например, крупный лесопромышленный холдинг имеет возможность одновременно инвестировать сотни миллионов рублей из собственных средств на строительство лесотранспортной сети, в то время как небольшому лесозаготовительному предприятию зачастую требуется реализовывать проект освоения лесосырьевых баз поэтапно, вкладывая на каждом этапе относительно небольшой объем свободных денежных средств на реализацию проекта. В зависимости от того, как долго предприятие может эффективно осуществлять свою деятельность без притока денежных средств, ожидающихся от реализации продукции, необходимо выбирать очередность освоения лесосек и строительство дорог [10].

К вопросам дальнейшего изучения следует отнести поиск эффективных подходов к определению очередности освоения ключевых участков, в зависимости от сроков, необходимых на строительство дорог, заготовку, вывозку и реализацию древесины, а также наличия у предприятия свободных денежных средств для инвестирования в подобные долгосрочные проекты. Кроме того, при проектировании лесотранспортной сети важно разработать методику, учитывающую динамику лесного фонда [11]. В условиях современной рыночной экономики наилучшим вариантом представляется кооперация предприятий с целью строительства лесотранспортной сети [12, 13], однако в этом случае требуется разработка методики оценки соразмерных инвестиций предприятий в строительство дорог на взаимовыгодных условиях.

Литература

1. Костяев Najafi A., Sobhani H., Saeed A., Makhdom M., Mohajer M. Planning and Assessment of Alternative Forest Road and Skidding Networks // Croat. j. for. Eng. 2008. № 29. (1). P. 63-73
2. Ширнин, Ю.А., Роженцова Н.И. Моделирование процедуры выбора технологий рубок леса с использованием ГИС // Вестн. Мар.гос. техн. ун-та. Лес, экология, природопользование. 2007. № 1. С. 40-49.
3. Суриков В.Т. Теоретические основы проектирования оптимальных структур и конфигураций лесотранспортных сетей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1992. 32 с.

4. **Иванов В.А.** Обоснование технологии и оборудования для освоения древесины прибрежной зоны и ложа водохранилищ: дис. ... д-ра техн. наук. СПб. 278 с.
5. **Бологов О.В., Мохирев А.П.** Автоматизированное проектирование и оптимизация транспортной схемы освоения лесосырьевой базы // Лесной комплекс – состояние и перспективы развития: междунар. сб. науч. тр. Брянск, 2003. С 62-65.
6. **Бавбель Е.И.** Прогнозирование расположения лесотранспортной сети на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2009. 20 с.
7. **Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р.** Алгоритмы. Анализ и построение. М.: БИНОМ, 2000. 960 с.
8. **Григорьев И. В., Иванов В. А., Жукова А. И., Иванов А. В., Рудов М. Е., Свойкин Ф. В.** Результаты экспериментальных исследований воздействия древесины на почву при различных способах трелевки. // Системы. Методы. Технологии. № 12. Братский государственный университет. Братск, 2012.
9. **Булевич Л.А., Строгов Д.В., Крайнова Л.К.** Методы оценки эффективности инвестиционных проектов. М.: Университетская книга, 2002. С. 48-59.
10. **Угрюмов Б.И., Костяев В.Н.** Применение математических методов для оптимизации схем лесовозных дорог // Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: материалы VIII (XXX) Всерос. науч.-техн. конф. Братск, 2009. 253 с.
11. **Рунова Е.М., Костяев В.Н.** Задачи оптимизации транспортно-технологических процессов лесозаготовительных предприятий и пути их решений // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: материалы X междунар. науч.-техн. конф. Брянск, 2010. http://science-bsea.bgita.ru/2010/les_komp_2010/runova_kost.htm
12. **Рудаков М.Н., Шегельман И.Р., Корниенко А.М.** Особенности и тенденции интеграции в лесопромышленном комплексе // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: сб. ст Вологда, 2007. С. 23-24.
13. **Костяев В.Н.** Государственное и частное партнерство в лесном хозяйстве // Экономика. Финансы. Менеджмент: материалы Шестой межрегиональной научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. Братск, 2009. С 59.
2. **Shirnin Yu.A.** Simulation technology for selection process of logging using GIS. / Yu.A. Shirnin, N.I. Rozhencova. // Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo technicheskogo universiteta: Les, ekologiya, prirodopolzovanie. – 2007. - № 1. – s.40-49
3. **Surikov V.T.** The theoretical basis of the design of optimal structures and configurations forest road networks: avtoref. dis. d.t.n.: 05.21.01 Moskovskiy lesotekhnicheskii institut. Moskva, 1992. 32 с.
4. **Ivanov V.A.** Substantiation of technology and equipment to develop the coastal zone and the wood lodge reservoirs : dis ... d.t.n. : 05.21.01 Ivanov Viktor Alexandrovich; [Mesto zashity: S.-Peterb. gos. lesotekhn. akad. im. S.M. Kirova]. 278 с.
5. **Bolotov O.V.** Computer-aided design and optimization of the transport scheme development forest resources [Text] / O.V. Bolotov, A.P. Mochirev // Lesnoy complex – sostoyanie i perspektivy razvitiya mezhdunarodniy sb.nauch.tr. - Bryansk, 2003 - С 62-65.
6. **Bavbel E.I.** Prediction of the location-based forest road network dynamics silvicultural-taxation characteristics of plantations. avtoref. dis. k.t.n.: 05.21.01 / E.I. Bavbel: Belorusskiy gosudarstvenniy technicheskii universitet. - Minsk, 2009. - 20 с.
7. **T. Kormen, Ch. Leyzerson, R. Rivest.** Algorithms. Analysis and construction. - M.: "BINOM", 2000. – 960 с.
8. **Grigoriyev, I.V., Ivanov V.A., Zhukova A.I., Ivanov A.V., Rudov M.E., Svoikin F.V.** Results of experimental studies of the effects of wood on the soil at various ways of logging. Sistemy. Metody. Technologii. Bratsk State University.
9. **Bulevich L.A., Strogov D.V., Kraynova L.K.** Methods for evaluation of investment projects. – М.: Universitetskaya kniga, 2002. С. 48-59.
10. **Ugryumov B.I., Kostyaev V.N.** The application of mathematical methods to optimize forest roads network. Estestvennye i inzhnerye nauki – razvitiyu regionov Sibiri: materialy VIII (XXX) Vserossiyskoy nauchno-technicheskoy konferencii. – Bratsk: GOU VPO “BrGU”, 2009. – 253 с.
11. **Runova E.M., Kostyaev V.N.** Optimization problems of transport and technology processes in timber industry complex and ways to their solutions. Lesnoy complex: sostoyanie i perspektivy razvitiy. X Mezhdunarodnaya nauchno-technicheskaya konferenciya. – Bryansk, 2010. http://science-bsea.bgita.ru/2010/les_komp_2010/runova_kost.htm
12. **Rudakov M.N., Shegelman I.R., Kornienko A.M.** Features and integration trends in the timber industry. // Aktualnye problemy razvitiya lesnogo kompleksa. Vologda: VoGTU, 2007. S. 23-24
13. **Kostyaev V.N.** Public and private partnerships in the timber industry. / Kostyaev V.N. // Ekonomika. Finansy. Menedzhment: materialy Shestoy mezhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, magistrantov, aspirantov i molodyh uchenyh. – Bratsk: GOU VPO “BrGU”, 2009. – 59s.

References

1. **Najafi A., Sobhani H., Saeed A., Makhdom M., Mohajer M.** Planning and Assessment of Alternative Forest Road and Skidding Networks // Croat. j. for. Eng. 29 (2008) 1. – P. 63-73