

Моделирование движения лесных грузов по комбинированным транспортным сетям

А. М. Крупко, И. А. Воронин, Н. С. Крупко

Рациональное природопользование подразумевает решение актуальной для страны проблемы интенсификации процессов лесопользования и лесопереработки при помощи научных исследований, опирающихся на зарубежный и отечественный опыт [1], [2], [3]. При этом необходима оптимизация транспортного перемещения лесных грузов по комбинированным транспортным сетям автомобильным и железнодорожным транспортом.

В ходе постановки задачи о нахождении оптимального плана транспортного освоения лесосек на выбранный период рассмотрим некоторый лесопромышленный регион, в котором функционируют лесозаготовительные $V_{заг}$, лесоперерабатывающие $V_{пер}$, а также лесотранспортные предприятия. Предприятия $V_{заг}$ выполняют лесосечные работы не только для удовлетворения спроса лесоперерабатывающих предприятий $V_{пер}$, но и для реализации множества видов продукции внешним потребителям, например, населению.

Поставщиками в рассматриваемой модели являются лесозаготовительные предприятия, которые имеют определенное число лесосек на арендованной территории. Каждая лесосека, в свою очередь, характеризуется площадью S_i , объемом древесины на лесосеке W_i , $M_i = (\alpha, \beta, \gamma, \delta)$ – породный состав древесины лесосеки i , где α – процентное содержание сосны в лесосеке i , β – процентное содержание ели в лесосеке i , γ – процентное содержание березы в лесосеке i , δ – процентное содержание осины в лесосеке i .

В качестве потребителей выступают лесоперерабатывающие предприятия, которые характеризуются объёмами потребления P_i , видов потребляемой продукции $q \in Q$ и множеством расстояний до рассматриваемых лесосек.

Доставка продукции от лесных участков к потребителям производится по

имеющейся транспортной сети $\langle V, E \rangle$, состоящей из множества дуг ($u \in E$) и вершин ($i \in V$), как автомобильным, так и железнодорожным транспортом. Узлами транспортной сети являются поставщики $V_{заг}$, потребители $V_{пер}$, а также железнодорожные терминалы $V_{тер}$, в которых происходит перевалка лесоматериалов. Такие узлы должны иметь площадки для накопления лесоматериалов до определенного объема V_{max} . Необходимость существования таких площадок обуславливается сезонностью проведения лесозаготовительных работ и, соответственно, невозможностью периодически производить доставку лесных грузов до площадки, где происходит перевалка.

В случае отсутствия участка транспортной сети, соединяющего лесосеку с потребителем, необходимо установить кратчайшее расстояние H_i до ближайшей точки транспортной сети.

Лесовозные автопоезда, осуществляя доставку продукции от лесных участков к потребителям или к железнодорожным терминалам, генерируют маршруты, укладываемые в рамки одной смены. Данные маршруты являются циклическими, так как в заданный маршрут лесной участок и пункт потребления могут входить не один раз. Спецификой генерируемых маршрутов будет являться и их замкнутость, вследствие того факта, что транспортное средство, осуществляя доставку груза, начинает и заканчивает свой маршрут в специально отведённом для стоянки и технического осмотра месте.

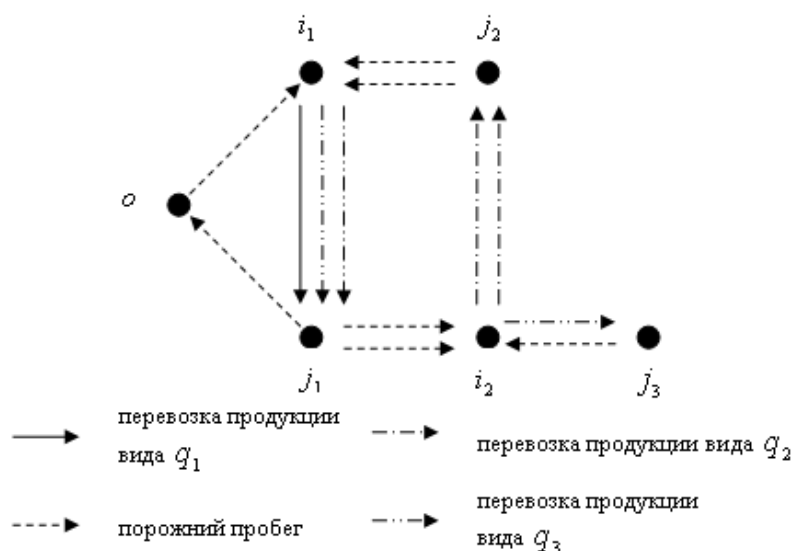


Рис. 1 Пример замкнутого циклического маршрута.

Маршрут u характеризуется списком, состоящим из лесных участков ($i \in U$), пунктов потребления ($j \in U$), вида потребляемой продукции ($q \in Q$), а также затратами на выполнение данного маршрута:

$$u \in U = \{(i_u^r, j_u^r, q_u^r), c_u\}; q \in Q, r \in N$$

Если мощностей поставщиков не хватает для удовлетворения спроса потребителей или себестоимость лесосырья с учётом перевозки слишком высока, то они могут воспользоваться помощью подрядчиков или приобрести продукцию у альтернативных поставщиков.

Для минимизации транспортно-производственных затрат необходимо составить оптимальный план поставки лесоматериалов по имеющейся транспортной сети от лесных участков к потребителям лесной продукции.

Введем в рассматриваемой модели множества индексов, переменных и параметров для формализации поставленной задачи.

Множество индексов поставленной задачи: E – множество дуг (дорог) транспортной сети $\langle V, E \rangle, (u \in E)$; V – множество вершин транспортной сети $\langle V, E \rangle, (i \in V)$; $V_{\text{заг}}$ – множество лесосек, ($i \in V_{\text{заг}}$); $V_{\text{пер}}$ – множество ЛПП предприятий $j \in V_{\text{пер}}, V_{\text{пер}} \cup V_{\text{заг}} = V$; $V_{\text{тер}}$ – множество железнодорожных

терминалов транспортной сети $i \in V_{мер}$; U – множество циклических замкнутых маршрутов $u \in U$; Q – множество видов лесосырья, ($q \in Q$).

Множество параметров и переменных: m – количество лесных участков, арендованных лесозаготовительными предприятиями; n – количество лесоперерабатывающих предприятий; S_i – площадь i -й лесосеки; W_i – объем древесины на i -й лесосеке; $M_i = (\alpha, \beta, \gamma, \delta)$: $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 10$, – породный состав древесины лесосеки i , где α – процентное содержание сосны в лесосеке i , β – процентное содержание ели в лесосеке i , γ – процентное содержание березы в лесосеке i , δ – процентное содержание осины в лесосеке i ; $c(u)$ – затраты на перевозку лесосырья по маршруту u . $V_{max}(i)$ – объем скопления древесины на i -м железнодорожном терминале; $H(i)$ – кратчайшее расстояние от лесосеки до участка транспортной сети.

Таким образом, для того, чтобы минимизировать суммарные затраты предприятия, необходимо составить целевую функцию, отражающую затраты на подготовительные работы, которые включают затраты на отвод лесосек, затраты на создание инфраструктуры лесосек, затраты на доставку техники и рабочих, затраты на освоение лесосек, затраты на вывозку и затраты на лесовосстановление, а также указать ряд ограничений, касающихся специфики рассматриваемых технологических процессов.

Целевая функция поставленной задачи выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in V_{заг}} Exp_{отв}(i) + \sum_{i \in V_{заг}} Exp_{инф}(i) + \sum_{i \in V_{заг}} Exp_{осм}(i) + \\ & + \sum_{i \in V_{заг}} (c_{заг}(i) * W(i) + H(i)) + \sum_{u \in U} \min(c^k(u)) + \\ & + \sum_{i \in V_{мер}} Exp_{rent}(i) + \sum_i c_{воос} * S(i) \rightarrow \min \end{aligned}$$

где затраты на маршрут k определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} c(u^k) = & c_{тр}^1 * H(i) + c_{тр}^2 * l_{вет} + c_{тр}^3 * l_{маг} + c_{тр}^4 * l_{общ} + \\ & + c_{пер} * V_z + c_{жд} * l_{жд} + c_{пор} * (H(i) + l_{вет} + l_{маг} + l_{общ}) \end{aligned}$$

Для решения поставленной задачи построим матрицу задачи, отображающую технологические операции, описанные выше. Рассматриваемая матрица имеет блочный вид, каждый блок отражает определенный вид операции. Первый блок, состоящий из m матриц, включает в себя затраты на заготовку продукции на лесных участках. Пункты потребления эти затраты не несут, поэтому там будут находиться нулевые матрицы, в пунктах производства затраты на заготовку будут представлены в виде матрицы диагонального вида:

$$A^i = \begin{pmatrix} \alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \delta \end{pmatrix}$$

Второй блок матрицы задачи отражает затраты на перевозку продукции по имеющейся транспортной сети, состоящей из участков как автомобильных дорог, так и железнодорожных.

$$C_{mp}^i = \begin{pmatrix} c_{mp}^1 & c_{mp}^2 & c_{mp}^3 & c_{mp}^4 & c_{жд} & c_{пор} \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Затраты на подготовительные работы, которые включают затраты на отвод лесосек, затраты на создание инфраструктуры лесосек, затраты на доставку техники и рабочих, представлены в виде единичной матрицы:

$$D^i = -E, i \in V_{заг}$$

Арендная плата за расчетный период для железнодорожных терминалов, где происходит перевалка продукции и накопление до объема V_{max} , формируется в виде единичной матрицы:

$$B^i = -E, i \in V_{мер}$$

Завершающий блок рассматриваемой матрицы состоит из затрат на лесовосстановление:

$$F^i = E, i \in V_{заг}$$

Тогда матрица производственно-транспортных затрат будет выглядеть следующим образом:

$$A = \begin{pmatrix} A^1 & F^1 & B^1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & C^1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & 0 & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 & \vdots & 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & 0 & \vdots & 0 & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ A^i & F^i & 0 & \dots & \dots & 0 & B^i & 0 & \dots & \dots & 0 & \dots & 0 & C^i \\ E & E & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & D^1 & 0 & \dots & 0 & E^1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 & \vdots & 0 & \ddots & \ddots & \vdots & 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & 0 & \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & D^i & 0 & \dots & 0 & E^i \end{pmatrix},$$

где

$$A^i = \begin{pmatrix} \alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \delta \end{pmatrix}, \quad S^q = \begin{pmatrix} -1 & \dots & -1 \\ 0 & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \end{pmatrix},$$

$$D^i = -E, i \in V_{заг}, \quad B^i = -E, i \in V_{заг}, \quad E - \text{единичная матрица.}$$

Дальнейшее решение рассматриваемой задачи происходит при помощи модифицированного мультипликативного симплексного метода. Отличительной особенностью данного метода от симплекс-метода является построение блочной матрицы и дальнейшая работа с ней.

Математическая модель, описанная выше, позволяет оптимизировать транспортные затраты с учетом лесозаготовительных и лесовосстановительных операций. Моделирование движения лесной продукции осуществляется не только по автомобильным дорогам, но и по железным дорогам, учитывая такие технологические операции, как перевалка и хранение на железнодорожных терминалах транспортной сети. Рассматриваемая модель позволит учесть все возможные варианты доставки продукции от лесных участков к потребителю, что приводит к оптимизации транспортных затрат.

Список литературы:

1. Воронин А. В., Шегельман И. Р. Лесопромышленная интеграция: теория и практика. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2009. – 464 с.
2. Крупко А. М. Исследования направлений повышения эффективности автомобильного транспорта леса //Инженерный вестник Дона [Электронный журнал]. – 2012. – № 2. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/latest/n2y2012/837/> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
3. Шегельман И. Р. Методика оптимизаций транспортно-технологического освоения лесосырьевой базы с минимизацией затрат на заготовку и вывозку древесины // Инженерный вестник Дона [Электронный журнал]. – 2012. – № 4. URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1284> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
4. Моделирование движения лесовозных автопоездов на ПЭВМ / Шегельман И. Р., Скрышник В. И., Пладов А. В., Кочанов А. Н., Кузнецов В. А.. Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. 234 с.
5. Теория и практика принятия оптимальных решений для предприятий лесопромышленного комплекса/ А. В. Воронин, В. А. Кузнецов, И. Р. Шегельман, Л. В. Щеголева. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. – 180.
6. Кузнецов В. А. Задача оптимизации транспортно-производственных планов лесопромышленного предприятия / В. А. Кузнецов, А. М. Крупко // Наука и бизнес: пути развития. – 2011. – №5(6). – С. 48 – 52.
7. Крупко А. М. Математическая модель управления производственными мощностями лесотранспортного предприятия / А. М. Крупко, Е. К. Белый // Уч. зап. ПетрГУ. Сер. «Естеств. и техн. науки». – 2011. – № 8. – С. 85 – 88
8. Крупко А. М. Совершенствование технологических процессов транспортного освоения лесных участков лесовозными автопоездами. : дис. на соиск. учен. степ. – Петрозаводск, 2013 – 130 с.
9. Dean D. J. Finding optimal routes for networks of harvest site access roads using GIS-based techniques. Can. J. For. Res. 27, 1997. – pp 11–22.

10. Garcia O. FOLPI, a forestry-oriented linear programming interpreter / O. Garcia
// IUFRO Symposium on Forest Management Planning and Managerial Economics :
Proceedings, University of Tokyo, 1984. – pp. 293–305.