

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ПО СЕТЕВЫМ МАРШРУТАМ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ПУНКТАМИ

Д.В. Максимов<sup>1</sup>, В.А. Иванников<sup>1</sup>, А.П. Новиков<sup>1</sup>, С.Н. Крухмалев<sup>1</sup>, Е.Р. Вернигора<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия, ivannikov\_vrn@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены особенности сетевой доставки лесоматериалов. Предложена целевая функция и критерии оптимизации. Рассмотрена модель процесса транспортировки сетевыми маршрутами с промежуточными складами.

**Ключевые слова:** транспортировка лесоматериалов, сетевые маршруты, промежуточные склады, оптимизация, затраты, критерии.

## MODELING OF TIMBER TRANSPORTATION ALONG NETWORK ROUTES WITH INTERMEDIATE POINTS

D.V. Maksimov<sup>1</sup>, V.A. Ivannikov<sup>1</sup>, A.P. Novikov<sup>1</sup>, S.N. Krukhmalev<sup>1</sup>, E.R. Vernigora<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia, ivannikov\_vrn@mail.ru

**Annotation.** The features of network timber delivery are considered. The objective function and optimization criteria are proposed. A model of the transportation process by network routes with intermediate warehouses is considered.

**Key words:** transportation of timber, network routes, intermediate warehouses, optimization, costs, criteria

Проблеме повышения эффективности функционирования лесотранспортной сети лесных предприятий уделено внимание в исследованиях отечественных и зарубежных ученых. [1–5] Значительное внимание при разработке схем транспортно-технологического освоения лесных участков уделяется как обоснованию дорожной сети, так и выбору мест расположения промежуточных складов (пунктов обработки лесопроductии) или лесных сырьевых бирж. В последнее время общемировой тенденцией в лесозаготовках является создание крупных производственных структур с вертикальной интеграцией (по типу лесопромышленных холдингов). Деятельность таких предприятий характеризуется широким разнообразием технологических потоков, которые требуют предварительному разделению лесоматериалов по породно-качественному составу [2].

Так как система функционирования складов, да и сама технология транспортировки лесопроductии во многом определяется видом транспорта, ограничим рассмотрение только автомобильным транспортом, как наиболее универ-

сальном и доступном для большинства лесопромышленных предприятий. Основной ролью таких складов в системе региональной транспортировки является обработка и комплектование партий многономенклатурных лесоматериалов в условиях доставки потребителю на основе полученной лесопродукции от нескольких производителей [5].

С целью улучшения условий работы автопоездов, приближая их к тем, в каких они работают на дорогах общего пользования, целесообразно в соответствующих условиях при значительных расстояниях вывозки леса применять автопоезда одного типа. Например, при расстоянии до 200 км работает один тип автопоезда, на котором заезжают непосредственно на лесосеку и затем вывозят лес на нижний склад [4].

Изучается и разрабатывается двухступенчатая схема транспортного освоения лесного массива, как вариант лесовывозки по грузосборочной дороге. По этой схеме транспортировку леса к ветке или магистрали намечается осуществлять автопоездами высокой проходимости первой ступени, создаваемыми на базе полноприводного автомобиля. Доставленный к веткам или магистралям лес перегружается на автопоезд второй ступени, грузоподъемность которого в 3-4 раза больше, чем поезда первой ступени. Мощные автопоезда будут вывозить древесину на 200-250 км и более к местам ее переработки или к пунктам отгрузки для дальнейшей транспортировки. Дороги для поездов второй ступени устраиваются с гравийным, щебеночным, черным или другим усовершенствованным покрытием.

Автопоезд второй ступени формируется на базе энергонасыщенных трех- и четырехосных тягачей с приводом на все оси с расчетом эксплуатации их с трехосными роспусками. При двухступенчатой вывозке расстояние между ветками несколько возрастает, что приведет к уменьшению протяженности постоянных дорог в лесном массиве, а сеть временных дорог остается на прежнем уровне [5].

Технологический процесс транспортировки лесоматериалов предусматривает наличие промежуточных складов для хранения, сортировки и перевалки лесопродукции определенного объема, учитывающего заранее известную мощность лесозаготовительных предприятий и потребителей. В этом случае необходимо определить места размещения промежуточных складов с учетом минимизации затрат на перевозку и хранение лесоматериалов на складах и затраты на доставку лесопродукции потребителям [3].

Исследование системы транспортных потоков предприятий лесного комплекса позволяет выделить из общей системы предприятия, отличающиеся своей специализацией ( $m$ -типов), имеющих в своей структуре обособленные подразделения ( $N_{np}$ ), арендующие участки лесного фонда, которые характеризуются особыми экономическими и производственно-технологическими условиями ( $P$  и  $\mathcal{E}$ ). Природно-климатические и дорожные условия регионов расположения участков лесного фонда в свою очередь могут быть охарактеризованы состоянием  $W$  [7].



Рисунок 1 – Схема процесса совершенствования транспортно-технологических связей лесопромышленных предприятий

Исходя из вышесказанного, целевая функция запишется в следующем виде:

$$\mathcal{E} = (\min Z_{оп}, \max \Pi_p, \max T, \min R, \min \Sigma \tau_z, \max Li_n, \min t_n).$$

У предприятий лесного комплекса при оценке эффективности транспортных процессов следует, с целью повышения точности, дополнить функцию критериями, характеризующими транспортные и технологические процессы.

Условившись принять максимум прибыли в качестве критерия оптимизации, на основе представленной схемы можно записать математическую модель в таком виде [7, 8]:

$$\begin{aligned} \Pi_p = & \sum_{j=1}^{N_L} \left[ \sum_{i=1}^{N_r} (\Pi_i^c - Z_{ji}^c - Z_{ji}^{cc}) Q_{ji}^c + (\Pi_j^H - Z_j^H) Q_j^H - \right. \\ & \left. - \sum_{q=1}^{N_q} \sum_{i=1}^{N_r} Z_{jq}^{cl} L_{jq} Q_{jq} + \sum_{i=1}^{N_r} Z_{ji}^o Q_{ji}^o - C_j^x Q_j^x - K_j \Delta \right] + \\ & + \sum_{q=1}^{N_q} \left[ \sum_{i=1}^{N_r} (\Pi_i^c - Z_{qi}^c - Z_{qi}^{cc}) Q_{qi}^c - \sum_{i=1}^{N_r} Z_{qi}^o Q_{qi}^o + (\Pi_q^H - Z_q^H) Q_q^H - K \Delta - \right] \rightarrow \max, \end{aligned}$$

где  $Z_{ji}^{cc}$  – затраты на производство 1 м<sup>3</sup>  $i$ -го лесоматериала на  $j$ -м лесозаготовительном предприятии;  $Z_{jq}^{cl}$  – затраты на транспортировку  $i$ -го древесного материала с  $j$ -го в  $q$ -й пункт потребления;  $Z_{qi}^{cc}$  – издержки по транспортировке  $i$ -го древесного сырья на участки обработки на  $j$ -м деревообрабатывающем предприятии

или  $q$ -м лесозаготовительном предприятии;  $Z^n$  – издержки при переработке одного  $m^3$  низкокачественного сырья;  $Z_i^o$  – издержки на погрузочно-разгрузочные работы  $i$ -х при межрегиональных перевозках;  $C_j^x$  – цена древесного сырья в  $j$ -м участке лесного фонда;  $C_j^c, C_j^n$  – стоимость  $i$ -ой продукции из низкокачественного сырья;  $K$  – балансовая цена основных средств;  $\Delta$  – плата за основные средства.

Таким образом, для сетевого планирования транспортных операций при освоении арендованных участков лесного фонда регионов характерна обобщенная задача о потоках лесопродукции при минимизации стоимости. В условиях, когда вывозка лесоматериалов осуществляется преимущественно по дорогам общего назначения на расстояния свыше 200 км автомобильным транспортом (автомобилями-лесовозами) расчеты показывают значительную экономию по объему погрузочно-разгрузочных работ, затратам на топливо и техническое обслуживание подвижного состава.

### Список использованной литературы

1. Соколов, А. П. Оценка эффективности организации транспортных потоков на перевозках древесины / А. П. Соколов // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15, № 1(57). – С. 123-137. – EDN JMABRV.
2. Мохирев, А. П. Закономерности ранговых распределений факторов вывозки древесины с лесных участков / А. П. Мохирев, К. П. Рукомойников, П. М. Мазуркин // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2021. – Т. 25, № 4. – С. 112-120. – DOI 10.18698/2542-1468-2021-4-112-120. – EDN IPXAYT.
3. Отдельные особенности имитационного моделирования технологического процесса вывозки древесины / К. П. Рукомойников, А. П. Мохирев, С. О. Медведев, Е. Ю. Дербенева // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – № 10(112). – С. 104-107. – EDN WATOIY.
4. К вопросу совершенствования транспортных грузопотоков лесоматериалов в условиях интеллектуальных транспортных систем / О. Н. Бурмистрова, Э. А. Черников, Ю. Н. Пильник, Ю. М. Чемшикова // Лесотехнический журнал. – 2018. – Т. 8, № 3(31). – С. 131-138. – DOI 10.12737/article\_5b97a15c4ef7d3.26143418. – EDN VOTAKD.
5. К оценке эффективности управления системой поставок товарной древесины / И. М. Еналеева-Бандура, А. Н. Баранов, С. А. Бровкин [и др.] // Сибирский лесной журнал. – 2024. – № 6. – С. 101-112. – DOI 10.15372/SJFS20240612. – EDN AKEJUI.
6. Обоснование целевой функции по совершенствованию региональной транспортной системы дорожного комплекса / В. А. Иванников, С. И. Сушков, О. Н. Бурмистрова [и др.] // Воронежский научно-технический Вестник. – 2018. – Т. 2, № 2(24). – С. 62-67. – EDN XYZOVN.
7. Иванников, В. А. Совершенствование системы формирования грузопотоков лесоматериалов на смежных видах транспорта : специальность 05.21.01 "Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Иванников Валерий Александрович. – Воронеж, 2019. – 331 с. – EDN AACYLE.
8. Иванников, В. А. Совершенствование многоуровневой системы транспортных связей лесных предприятий на региональном уровне / В. А. Иванников // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 134. – С. 491-503. – DOI 10.21515/1990-4665-134-040. – EDN YNWXNE.

## References

1. Sokolov, A. P. Evaluation of the effectiveness of the organization of transport flows in the transportation of wood / A. P. Sokolov // Forestry Journal. – 2025. – Vol. 15, No. 1(57). – pp. 123-137. – EDN JMABRV.
2. Mohirev, A. P. Patterns of rank distributions of factors of wood removal from forest sites / A. P. Mohirev, K. P. Handmoynikov, P. M. Mazurkin // Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin. – 2021. – Vol. 25, No. 4. – pp. 112-120. – DOI 10.18698/2542-1468-2021-4-112-120. – EDN IPXAYT.
3. Selected features of the simulation of the technological process of wood removal / K. P. Handmoynikov, A. P. Mohirev, S. O. Medvedev, E. Y. Derbeneva // Science and business: ways of development. – 2020. – № 10(112). – Pp. 104-107. – EDN WATOIY.
4. O. N. Burmistrova, E. A. Chernikov, Yu. N. Pilnik, Yu. M. Chemshikova On the issue of improving transport cargo flows of timber in conditions of intelligent transport systems // Forestry Engineering Journal. – 2018. – Vol. 8, No. 3(31). – pp. 131-138. – DOI 10.12737/article\_5b97a15c4ef7d3.26143418. – EDN VOTAKD.
5. To assess the effectiveness of the management of the commercial timber supply system / I. M. Enaleeva-Bandura, A. N. Baranov, S. A. Brovkin [et al.] // Siberian Forest Journal. – 2024. – No. 6. – pp. 101-112. – DOI 10.15372/SJFS20240612. – EDN AKEJUI.
6. Substantiation of the target function for improving the regional transport system of the road complex / V. A. Ivannikov, S. I. Sushkov, O. N. Burmistrova [et al.] // Voronezh Scientific and Technical Bulletin, 2018, vol. 2, No. 2(24), pp. 62-67. EDN XYZOBN.
7. Ivannikov, V. A. Improving the system of formation of timber cargo flows on related modes of transport : specialty 05.21.01 "Technology and machinery of logging and forestry" : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Ivannikov Valery Alexandrovich. Voronezh, 2019. 331 p. - EDN AACYLE.
8. Ivannikov, V. A. Improvement of the multilevel system of transport links of forest enterprises at the regional level / V. A. Ivannikov // Political network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. – 2017. – No. 134. – pp. 491-503. – DOI 10.21515/1990-4665-134-040. – EDN YNWXNE.