

2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВОК

УДК 630*375;001.5

Т.С. Антонова, Н.А. Тюрин

ПЛАНИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Введение. Для эффективного планирования деятельности лесозаготовительного предприятия целесообразно использовать логистический подход. Применение логистического подхода к проектированию развития лесопромышленного предприятия предполагает решение следующих задач: постановка целей развития предприятия и нахождение оптимального сочетания целей и возможностей; определение путей и средств достижения этих целей через выявление связей и исследование взаимодействия учитываемых факторов и рассматриваемых объектов в количественной форме; увязка целей и способов их достижения с учетом потребности в лесных ресурсах.

Одной из главных целей лесопромышленного предприятия является эффективное освоение арендуемых лесных участков. При планировании лесозаготовительных и лесотранспортных работ необходимо учитывать лесозаготовительные, лесохозяйственные, экологические и социально-экономические требования. Планирование транспортных процессов предприятия напрямую связано с подбором лесосек. Подбор лесосек – важнейшее мероприятие в области лесопромышленного управления. Его целесообразно проводить на долгосрочный период, что повышает эффективность использования лесных ресурсов предприятия и значительно сокращает расходы, в том числе и на транспорт. Транспортные затраты в некоторых случаях составляют до 50% от стоимости продукции. Это обусловлено большими расстояниями от мест произрастания сырья до мест переработки древесины. Сокращение транспортной составляющей можно достичь правильным планированием транспортной сети и учетом ряда факторов, таких как выбор транспорта, схемы транспортировки, типа перевозок, планирование рациональных маршрутов доставки, координация транспортного и производственного процесса.

При долгосрочном планировании освоения лесного фонда необходимо решить две основные задачи: задачу рационального размещения лесовозных автомобильных дорог и задачу отвода лесосек в рубку по годам планового периода. Задача подбора лесосек и их транспортного освоения решается на этапе составления проекта освоения лесов и формирования лесной декларации. При слаборазвитой дорожной сети необходимо на основе анализа запаса лесного участка, породного состава и наличия уже построенных дорог запроектировать и построить новые дороги. От правильности подбора лесосек в рубку, проектирования и строительства дорог зависит своевременное обеспечение сырьем и получение прибыли предприятием.

Продолжительность периода стратегического планирования лесозаготовительного предприятия является внешним параметром и не может быть меньше длительности производственного цикла предприятия. Сам же производственный цикл определяется наиболее растянутым во времени процессом создания новых элементов транспортной сети, обеспечивающих промышленную доступность вовлекаемых в производство лесосек, и может занимать от года до двух лет. Верхний предел планирования определяется интервалом времени, на котором предприятию доступна информация о лесном фонде. Этот интервал равен периодичности проведения лесоустройства и составляет десять лет. Условно считается, что на протяжении периода инвентаризации параметры лесных насаждений не изменяются. Таким образом, период планирования может составлять от одного до десяти лет.

Существующие методы планирования лесопользования становятся малоэффективными. Для принятия обоснованных плановых и управленческих решений требуется использование специальных математических методов и их реализация на ЭВМ. Развитие информационных компьютерных технологий дает большие возможности для решения сложных задач, но требует индивидуальных решений с учетом требований предприятия и специфики отрасли. Разработанные зарубежные методы решения данных задач и программные комплексы [Abdi et al., 1997; Newnham, 1995; Tan, 2000] не подходят для наших условий. Отличия в законодательстве, различные климатические условия, специфика предприятий – все это является предпосылками для поиска нового решения задачи транспортного освоения и подбора лесосечного фонда.

Методика исследования. При логистическом подходе к планированию, необходимо выполнить анализ существующей транспортной инфраструктуры арендуемых лесов и прилегающих территорий. Это позволит в даль-

нейшем проложить рациональные маршруты, выявить потенциальных потребителей и конкурентов, оптимизировать строительство новых дорог. Далее целесообразно разработать генеральную схему полного транспортного освоения арендных лесов лесовозными дорогами [Громская и др., 2009]. Использование схемы транспортного освоения позволит обеспечить календарное планирование создания элементов транспортной сети и оптимальный подбор лесосек по годам планового периода. Такой подход позволит снизить затраты на дорожное строительство и лесотранспорт как на период планирования, так и в целом на полное транспортное освоение арендуемых территорий. На следующем этапе необходимо с учетом запроектированных и существующих магистралей и веток подобрать лесосечный фонд на плановый период, построить дороги для обеспечения вывозки древесины с выбранных лесосек. Результатом выполнения данного этапа будут карта-схема лесосек по годам планового периода и транспортная схема строительства новых дорог.

Для оптимизации подбора лесосечного фонда используем критерий минимума приведенных расходов на лесотранспорт, строительство необходимых участков дорог, на трелевку и вывозку древесины, на содержание и ремонт дорог [Антонова, 2011]. Задача оптимизации заключается в том, чтобы подобрать лесосеки и создать такую сеть первичных технологических путей, магистралей и веток, чтобы затраты на строительство новых дорог и их содержание, на содержание и текущий ремонт существующих дорог, затраты на вывозку и трелевку древесины были минимальны.

Для математического описания задачи введены следующие обозначения:

T – длительность планируемого периода (от 1 до 10 лет);

N – список возможных лесосек в лесосырьевой базе в зоне летней заготовки;

M – список возможных лесосек в лесосырьевой базе в зоне зимней заготовки;

n – номер лесосеки;

t – год учетного периода;

s – индекс сезона заготовки и категория дороги: $s = 1, 2$, где $s = 1$ – летний сезон, дорога круглогодичного действия, $s = 2$ – зимний сезон, зимняя сезонная дорога;

l_n^{yc} – протяженность уса для обслуживания n -й лесосеки, км;

l_t^B, l_t^M, l_t^{yc} – среднее расстояние вывозки по ветке, магистрали, усу в t -й год, км;

L_n – протяженность вывозки от n -й лесосеки до нижнего склада или лесного терминала, км;

Q_n – ликвидный запас древесины на n -й лесосеке, m^3 ;

$P_s^{(t)}$ – планируемый объем заготовки в лесном фонде в t -м году учетного периода в s -й сезон, m^3 ;

S_s^{yc} , S_s^v – средняя стоимость строительства 1 км лесовозного уса, ветки в s -й сезон по предприятию, руб./ км;

S^m – средняя стоимость строительства 1 км лесовозной магистрали по предприятию, руб./ км;

Q_{cp} – средний запас древесины, $m^3/га$;

d^m , d^v – зона тяготения лесных грузов к магистрали, к ветке, км;

S^B – стоимость машино-смены автопоезда на вывозке по предприятию, руб./маш.-смену;

P_{sn}^{cm} – сменная производительность лесовозного автопоезда на вывозке в s -й сезон с n -й лесосеки, $m^3/смену$;

S^{cp} – стоимость машино-смены трелевочного трактора по предприятию, руб./маш.-смену;

P_{sn}^{tp} – сменная производительность на трелевке в s -й сезон в n -й лесосеке, $m^3/смену$;

S_p – средняя годовая стоимость содержания и ремонта лесовозных дорог по предприятию, руб./км.;

r_{yc} , r_v , r_m – коэффициент приведения, учитывающий затраты на содержание и ремонт соответственно усов, веток, магистралей ($r_{yc} = 0,5$; $r_v = 0,7$; $r_m = 1,0$);

R – размер расчетной лесосеки, $m^3/год$.

Условие примыкания лесосек формализуются следующим образом:

t_n – год рубки n -й лесосеки по срокам примыкания;

t_l – год рубки рассматриваемой лесосеки;

p – срок примыкания лесосек из лесохозяйственного регламента лесничества;

$y_n^{(t)}$ – коэффициент, характеризующий выполнение сроков примыкания: $y_n^{(t)} = 0$ – данная лесосека в t -й год не отводится в рубку, $y_n^{(t)} = 1$ – отводится в рубку;

Введем переменные x_t^m и x_t^v :

$x_t^m = 1$, $x_t^v = 1$, если в t -м году строится участок магистрали, ветки;

$x_t^m = 0$, $x_t^v = 0$, если в t -м году не строится участок новой магистрали, ветки.

Математическая модель задачи может быть представлена в виде:

$$\min_{(L,I)} \sum_{t \in T} \left(\frac{(I_t^M r_M + I_t^B r_B + I_t^{yc} r_{yc}) S_p}{\sum_{s=1}^2 P_s^{(t)}} + \right. \\ \left. + \left(\sum_{\substack{n \in N \\ n \in M}} \sum_{s=1}^2 \frac{S_s^{yc} I_n^{yc}}{Q_n} + \frac{S_s^m x_t^m}{100 Q_{cp} d^m} + \frac{S_s^v x_t^v}{100 Q_{cp} d^v} + \frac{S^B}{\Pi_{sn}^{cm}} + \frac{S^{tp}}{\Pi_{sn}^{tp}} \right) \right). \quad (1)$$

При ограничениях:

$$\sum_{\substack{n \in N \\ n \in M}} y_n^{(t)} Q_n \Rightarrow P_s^{(t)}, \quad \forall t \in T; \quad (2)$$

$$\sum_{s=1}^2 \sum_{\substack{n \in N \\ n \in M}} y_n^{(t)} Q_n \leq R; \quad (3)$$

$$t_n = (t_l + p) y_n^{(t)}, \quad t_n \leq T; \quad (4)$$

$$\sum_{s=1}^2 \sum_{\substack{n \in N \\ n \in M}} (t_{ns}^t - L_{ns}^{t-1}) \leq L_{max}, \quad \forall t \in T. \quad (5)$$

Ограничение (2) предусматривает соответствие требуемых запасов древесины в лесосеках планируемому объему заготовки в t -м году в s -й сезон.

Ограничение (3) обеспечивает условие, когда годовой объем заготовки древесины по предприятию в набранных лесосеках не превышает объем расчетной лесосеки.

Ограничение (4) гарантирует выполнение требований сроков примыкания граничащих лесосек.

Ограничение (5) учитывает условие, что протяженность строительства планируемых лесовозных дорог к концу каждого года не должна превышать суммарной длины дорог, которые может построить предприятие в t -м году.

Результаты исследования. Данная оптимизационная задача решена методом динамического программирования в виде программного комплекса транспортного освоения лесов РТОЛ на языке MapBasic в геоинформационной среде MapInfo [Антонова и др., 2011]. Система реализована с использованием простого удобного интерфейса, что сделало ввод исходных данных легким, интуитивно понятным, с возможностью корректировки при ошибке пользователя. Все исходные и выходные параметры сохраняются в виде табличных файлов системы MapInfo (рис. 1).

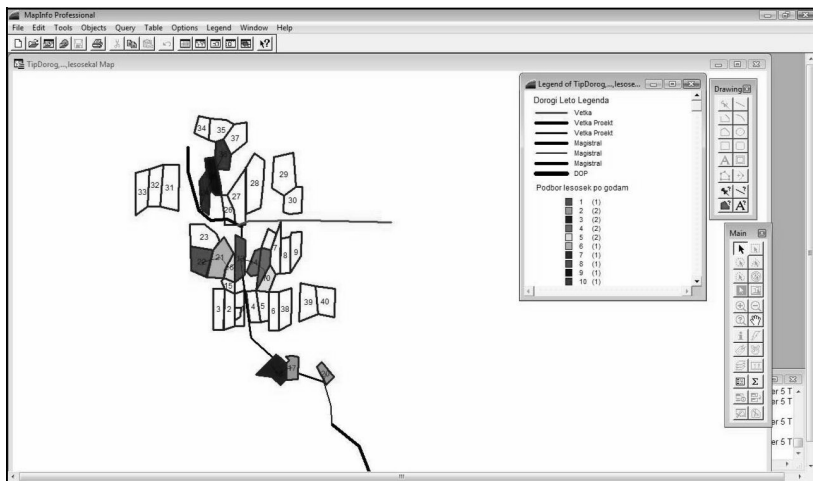


Рис. 1. Пример размещения лесосек и транспортного освоения лесов лесозаготовительного предприятия

Работы по размещению лесосек и их транспортному освоению предлагается выполнять в следующей последовательности (рис. 2).

1. Подготовка исходных данных включает в себя следующую информацию: лесной план субъекта РФ, в котором содержится информация по лесному планированию для субъекта РФ; лесохозяйственный регламент, на основании которого осуществляется деятельность лесничества; картографические и атрибутивные данные арендуемого лесного участка, составленные на основании материалов лесоустройства; плановые объемы заготовки древесины на расчетный период; генеральная схема полного транспортного освоения лесного участка магистралями и ветками; сезонное зонирование лесного участка на зоны летней и зимней заготовки.

2. На основе исходных данных и правил заготовки древесины выполняется агрегирование лесотаксационных выделов в лесосеки. Далее, в автоматизированном режиме выполняем подбор оптимальных летних лесосек, затем – зимних лесосек на расчетный период с визуализацией на карте и созданием атрибутивной базы данных. После того как лесосечный фонд подобран, формируем календарный план строительства участков магистралей, веток и усов на расчетный период с визуализацией на картах.

3. Результатом подбора лесосек и транспортного освоения лесов являются картографические материалы и атрибутивные базы данных размещения летних и зимних лесосек и строительства участков магистралей веток и усов по годам планового периода.

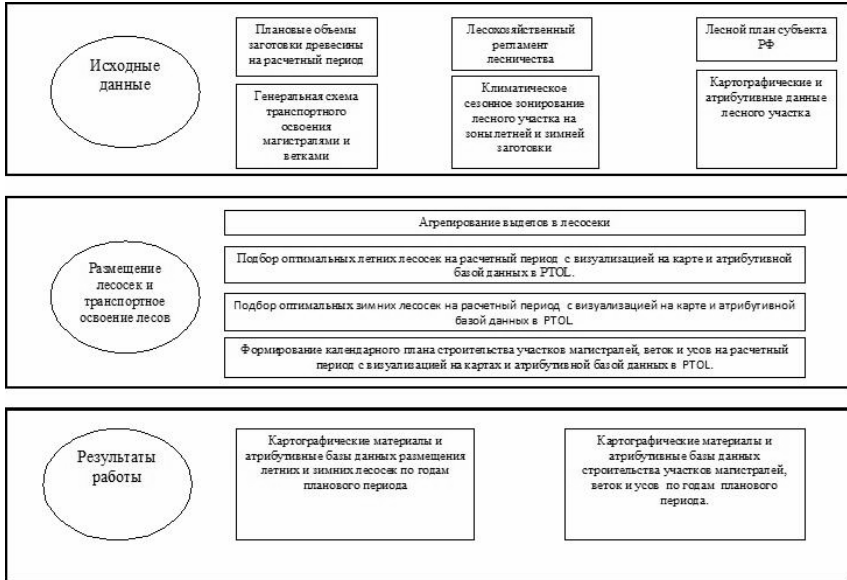


Рис. 2. Структура ГИС размещения лесосек и транспортного освоения лесов лесозаготовительного предприятия

Агрегирование выделов выполняем на основании правил заготовки древесины и документов по отводу и таксации лесосек. Выделы агрегируются в лесосеки, учитывая допустимые параметры размеров лесосек, сроки примыкания. Для размещения лесосек используем функции геоанализа геоинформационной системы MapInfo. С помощью SQL-запроса выбираем спелые и перестойные лесотаксационные выделы, в которых возможна заготовка древесины, руководствуясь максимальным ограничением размера лесосеки в 50 га и объединяя близлежащие выделы. Минимальный размер определяется проектировщиком на основе решения о минимальном размере, при котором целесообразно осваивать лесосеку.

Выводы. Разработанная методика, математическая модель, алгоритм и созданный на их базе программный комплекс РТОЛ позволяют получить рациональный план транспортного освоения арендных лесных участков с набором лесосек и календарную последовательность строительства дорожной сети на плановый период до 10 лет с минимальными суммарными удельными затратами на строительство и содержание лесовозных дорог, трелевку и вывозку заготовленного леса.

Результаты апробации функционирования лесозаготовительного предприятия в разнообразных природно-производственных условиях подтвердили работоспособность и достоверность предложенной модели, а также созданных на ее базе алгоритмов и программного обеспечения. Экономическая эффективность применения программного комплекса РТОЛ, по сравнению с ручным способом подбора лесосечного фонда, составляет 9,5%. Результаты исследований могут быть рекомендованы к внедрению в производственно-технических отделах лесозаготовительных предприятий и использоваться научно-исследовательскими и проектными организациями лесного комплекса при разработке проектов освоения лесов и составлении лесных деклараций.

Библиографический список

Антонова Т.С. Подбор лесосечного фонда в проекте освоения лесов на базе геоинформационных систем // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2012. Вып. 198. С. 126–135.

Антонова Т.С. Рациональное размещение лесовозных автомобильных дорог при разработке проектов освоения лесов для заготовки древесины // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2011. Вып. 197. С. 130–138.

Антонова Т.С., Турин Н.А. Программа транспортного освоения лесов (РТОЛ): Роспатент. Свид. № 2011616538 от 19.08.2011 г.

Громская Л.Я., Турин Н.А. Оптимизация структуры транспортной сети лесозаготовительного предприятия // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2009. Вып. 186. С. 72–77.

Abdi E., Majnounian B., Darwishsefat A., Mashayekhi Z., Sessions J. A GIS-MCE based model for forest road planning // *Journal of Forest Science,* no. 55(4), pp. 171–176.

Newnham R.M. ROADPLAN: a tool for designing forest road networks // *Journal of Forest Engineering,* 1995, no. 6(2), pp. 17–26.

Tan J. Application of dynamic programming to optimum location of forest road // *Journal of Forest Engineering,* 2000, no. 11, pp. 85–89.

Bibliography

Antonova T.S. Podbor lesosechnogo fonda v proekte osvoeniia lesov na baze geoinformatsionnykh system. *Izvestiia Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii.* 2012. Vyp. 198. S. 126–135. (Rus)

Antonova T.S. Ratsional'noe razmeshchenie lesovoznykh avtomobil'nykh dorog pri razrabotke projektov osvoeniia lesov dlia zagotovki drevesiny. *Izvestiia Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii.* 2011. Vyp. 197. S. 130–138. (Rus)

Antonova T.S., Tiurin N.A. Programma transportnogo osvoeniia lesov (PTOL): Rospatent. Svid. № 2011616538 ot 19.08.2011 g. (Rus)

Gromskaia L.Ia., Tiurin N.A. Optimizatsiia struktury transportnoi seti lesozagotovitel'nogo predpriiatiia. *Izvestiia Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*. 2009. Vyp. 186. S. 72–77. (Rus)

Abdi E., Majnounian B., Darwishsefat A., Mashayekhi Z., Sessions J. A GIS-MCE based model for forest road planning. *Journal of Forest Science*, no. 55(4), pp. 171–176.

Newnham R.M. ROADPLAN: a tool for designing forest road networks. *Journal of Forest Engineering*, 1995, no. 6(2), pp. 17–26.

Tan J. Application of dynamic programming to optimum location of forest road. *Journal of Forest Engineering*, 2000, no. 11, pp. 85–89.

Материал поступил в редакцию 20.10.2016 г.

Антонова Т.С., Тюрин Н.А. Планирование логистических потоков лесоаготовительного предприятия // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 218. С. 61–71. DOI: 10.21266/2079-4304.2017.218.61-71

Для эффективного планирования лесоаготовительного предприятия целесообразно использовать логистический подход. При ежегодном наборе лесосек необходимо учитывать множество факторов: сроки примыкания лесосек, их ширину и площадь, сезонность освоения, наличие дорог, возможные ежегодные объемы заготовки древесины, спрос на продукцию и т. д. В настоящее время подбор лесосечного фонда и размещение лесовозных автомобильных дорог выполняются вручную, основываясь на действующем законодательстве и опыте специалиста. Планирование транспортных процессов лесоаготовительного предприятия напрямую связано с подбором лесосек. Подбор лесосечного фонда выполняется на краткосрочный и долгосрочный периоды. Наиболее целесообразно проводить планирование на долгосрочный период: это повышает эффективность использования лесных ресурсов предприятия и значительно сокращает расходы, в том числе и на транспорт. Сокращение транспортной составляющей можно достичь правильным планированием транспортной сети и учетом ряда факторов, таких как выбор транспорта, выбор схемы транспортировки, выбор типа перевозок, планирование рациональных маршрутов доставки, координация транспортного и производственного процесса. Современное развитие компьютерных технологий дает возможность автоматизировать процесс подбора и выбора оптимального варианта транспортного освоения лесосечного фонда. Представлена математическая модель оптимального транспортного освоения арендуемых лесных участков с учетом сроков примыкания и возможностью минимизировать затраты на лесосечные работы, строительство усов, содержание и

ремонт дорог. Использовался метод динамического программирования. Разработанная система позволит научно обосновать выбор лесосечного фонда для освоения в определенный год и в определенный сезон планируемого периода, а также нарастить сеть автомобильных дорог с минимальными затратами для лесозаготовителя на срок до 10 лет.

Ключевые слова: лесосека, лесовозные дороги, логистика, геоинформационные системы, динамическое программирование.

Antonova T.S., Tyurin N.A. Planning the logistics flows of a timber company. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2017, is. 218, pp. 61–71 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2017.218.61-71

For effective logging company planning it is advisable to use a logistics approach. When plan is made annually, a lot of factors need to be taken into account: cutting cycle, road availability, possible amount of wood production, demand for the product, etc. Nowadays felling fund selections and wood-transport road arrangement are done manually, on the basis of Russian Federation laws and specialist's qualification and experience. Planning transport processes of a timber company is directly related to the selection of cutting areas. Selection of forest fund is carried out in the short and long periods. The most expedient to carry out planning for the long period, it improves the efficiency of the use of forest resources of the enterprise and significantly reduces the costs, including transportation. Reducing transport component can achieve a good transport network planning and consideration of a number of factors, such as the choice of transport, the choice of transport schemes, the choice of the type of traffic, rational planning of delivery routes, coordination of transport and production. Computer technologies nowadays allows to automate the process of choosing an optimal variant of road pattern. This article presents a mathematical model of optimal resource-and-transportation plan, that takes into account cutting cycles and possibility to minimize cutting area work costs, haul road feeder construction, maintenance and repair of roads. To solve this issue a method of dynamic programming is applied. Usage of this method will allow to prove the choice of felling fund in a certain period of the year. Also, it will be possible to build up a highway system for a period of 10 years.

Keywords: Cutting area, forest roads, logistics, geoinformation systems, dynamic programming

АНТОНОВА Татьяна Степановна – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. SPIN-код: 4581-5931.

194021, Институтский пер, д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: antonova.stl@mail.ru

ANTONOVA Tatiana S. – PhD (Technical), associate professor, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 4581-5931.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: antonova.stl@mail.ru

ТЮРИН Николай Александрович – профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. SPIN-код: 8998-5234.

194021, Институтский пер, д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: tna.lif@mail.ru

TIURIN Nikolai A. – PhD (Technical), professor, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 8998-5234.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: tna.lif@mail.ru