

РОЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОЕКТИРОВАНИИ РАЦИОНАЛЬНОЙ СЕТИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Костяев В.Н.

ГОУ ВПО «Братский государственный университет», Братск, Россия (665709, Иркутская область, г. Братск, ул. Макаренко 40, Братск, Россия), e-mail: chessmaster-russt@yandex.ru

Представлено описание общего алгоритма построения схемы лесотранспортной сети, оптимальной для освоения лесосырьевых баз, находящихся на удаленных территориях. Алгоритм учитывает природно-климатические условия, неравномерность распределения ликвидных запасов древесины и динамику лесоводственно-таксационных характеристик насаждений, наличие существующих лесовозных дорог и другие параметры. Предложены формулы расчета экономической доступности лесных ресурсов и методика расчета экономической эффективности проекта по освоению конкретных участков. Поставлены вопросы, касающиеся комплексной оптимизации транспортно-технологического процесса и возможностей сокращения издержек на транспортировку древесины с погрузочных пунктов на лесосеках до конечного потребителя. Предложены подходы к разработке систем уравнений и ограничений, учитывающие системы лесозаготовительных машин; пределы вместимости складов и др. Описана логистико-математическая модель, призванная обеспечить наилучшее взаимодействие между основными элементами сложной системы лесозаготовок. На основе предложенной математической модели возможно создание компьютерной программы по оптимизации транспортно-технологических процессов на лесозаготовительных предприятиях.

Ключевые слова: оптимизация лесотранспортной сети, транспортно-технологические процессы, математическое моделирование, экономическая доступность лесных ресурсов.

IMPORTANCE OF TRANSPORTATION AND OPTIMIZATION PROCESS FOR RATIONAL DESIGN OF FOREST ROAD NETWORK

Kostyaev V. N.

Bratsk State University, Bratsk, Russia, (665709, Irkutsk region, Bratsk, street Makarenko, 40), e-mail: chessmaster-russt@yandex.ru

The article describes the general algorithm for project of forest road network. The algorithm takes into account the climatic conditions, the uneven distribution of liquid timber resources and the dynamics of silvicultural-taxation characteristics of stands, the presence of existing logging roads and other parameters. The formulas of calculating the economic accessibility of forest resources and the method of calculating the cost-effectiveness of the project to develop specific sites. Posed questions regarding to the complex optimization of transport and methods to reduce the costs of transporting wood from the loading point to consumer. The approaches to the development of systems of equations and constraints, taking into account the system of forest machines, beyond the capacity of warehouses and other parameters. Logistics-described mathematical model, designed to provide the best possible interaction between the major elements of a complex system logging. The method can be applied to any scale areas with different climatic conditions, species composition and quantitative supply of wood. Based on the proposed mathematical model for how a computer program to optimize the transport processes in the timber industry companies.

Keywords: optimization of forest network, mathematical simulation, transportation and technological processes, economic availability of forest resources.

Введение

Проектирование лесотранспортной сети является важнейшей составляющей в лесозаготовительном процессе и должно осуществляться комплексно, с учетом большого количества факторов, оказывающих существенное влияние на себестоимость строительства дорог и вывозки древесины.

Целью работы является разработка подходов к оптимизации транспортно-технологических процессов лесозаготовок, их влияние на схему пространственного

расположения лесотранспортной сети, а также расчет экономического эффекта от реализации проектов по освоению лесосырьевых баз.

Методы математического моделирования позволяют разработать алгоритм оптимизации, который включает в себя несколько этапов, описанных ниже.

1) Постановка задачи и целевой функции: освоение лесосырьевых баз по критерию максимизации прибыли от реализации заготовленной древесины или минимизации затрат на строительство дорог.

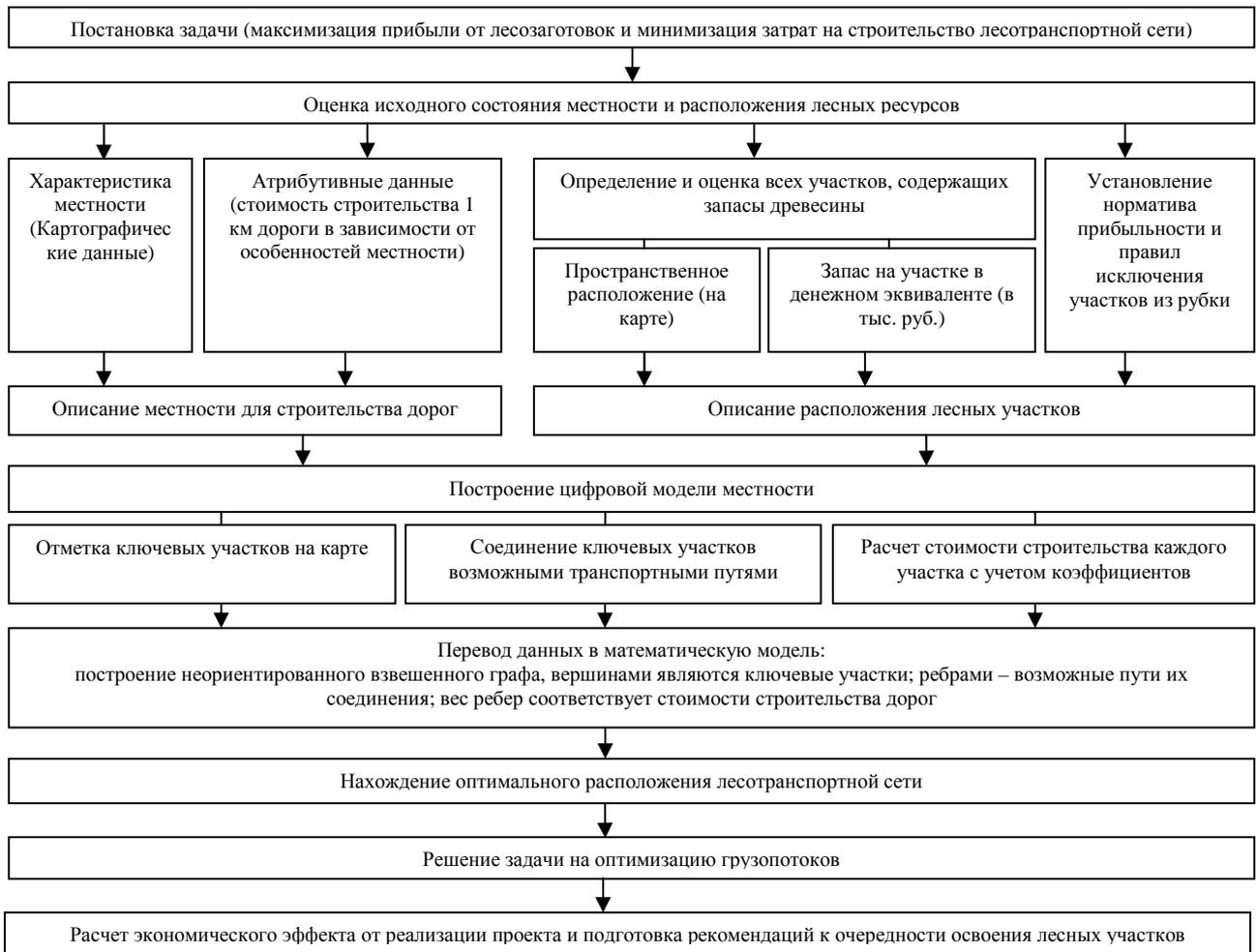
2) Оценка текущей ситуации, включающая в себя:

- характеристику местности, в т.ч. особенности рельефа (открытые площадки, природные террасы, расположение карьеров, скалистые и каменистые площади, крутые склоны, подверженные весенним паводкам и сточным водам места, территории с благоприятным наклоном рельефа); гидрологические условия (реки, озера, болотистые местности); грунтовые условия (дренирующие и недренирующие почвы, их несущая способность); особо охраняемые природные территории, места обитания животных, природные и искусственные преграды, прилегающие территории, а также другие параметры, определяемые на основе картографических данных;
- численное количество и территориальное расположение лесосек, их характеристику (на основе материалов лесоустройства, таксационных данных и др.), в т.ч. распределение ликвидных запасов древесины по лесосырьевой базе; длина и ширина лесосырьевой базы (км); ликвидный запас древесины на 1 га в каждом квадрате ($\text{м}^3/\text{га}$); расчетный годовой объем вывозки леса (млн м^3); средний объем хлыста в каждом квадрате;
- территориальное расположение и характеристику существующих транспортных путей: расположение автомобильных и железных дорог, водных и воздушных путей [4] и др.; типы покрытия усов, веток и магистралей; ширину дорог по верху усов, веток и магистралей; местоположение нижнего склада; наличие песка и гравия, дальность подвозки строительных материалов и др.;
- территориальное расположение и вместимость погрузочных (перевалочных) пунктов (как в пунктах трелевки, так и рядом с автомобильными дорогами);
- территориальное расположение и удаленность потребителей древесины (лесозаготовительных предприятий (ЛЗП), конечных потребителей, пунктов отгрузки и т.п. – при этом важно учесть вместимость складов конечного потребителя и средние сроки их наполнения (неделя, месяц, год);
- имеющиеся системы и комплекты машин: для лесозаготовки и трелевки; для вывозки древесины по автомобильным дорогам (а также доступность транспорта для вывозки по железной дороге и по водным путям) [3].

- 3) Расчет стоимости строительства 1 км дороги для «базовых» условий местности (определенные тип грунта, гидрологические условия, комплект дорожных машин и др.).
- 4) Ввод дополнительных коэффициентов, увеличивающих или уменьшающих стоимость строительства дорог, в зависимости от различных условий местности.
- 5) Выбор ключевых участков, содержащих определенный запас древесины, которые требуется освоить:
 - расчет прибыли на всех потенциальных участках, обладающих наибольшими запасами древесины;
 - наиболее привлекательные с экономической точки зрения лесные участки («ключевые участки»), отобранные на основе установленного предприятием норматива прибыли с одного участка (тыс. руб. / участка).
- 6) Построение цифровой модели местности (перевод информации в цифровой формат).
- 7) 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.
- 8) Поиск оптимальной транспортной сети посредством использования алгоритма минимального остовного дерева – дерева Прима.
- 9) Рекомендации к очередности освоения с учетом динамики лесного фонда.
- 10) Решение задачи по оптимизации грузопотоков для вывозки древесины.

В общем виде схема алгоритма поиска оптимального расположения лесотранспортной сети представлена на схеме 1.

Схема 1. Алгоритм поиска оптимального расположения лесотранспортной сети



После нахождения оптимальной схемы лесотранспортной сети ставится вопрос о необходимости комплексной оптимизации транспортно-технологического процесса (ТТП), решение которого позволит значительно снизить расходы на транспортировку древесины с погрузочных пунктов на лесосеках до конечного потребителя. Применение математических методов моделирования позволяет выработать алгоритм оптимизации ТТП лесозаготовительного предприятия построить логистическую модель, с целью обеспечения наилучшего взаимодействия основных элементов системы лесозаготовок. Такими элементами являются места концентрации древесины (лесосеки); погрузочные пункты; промежуточные и нижние склады; склады потребителей; сеть транспортных связей между всеми пунктами отправления и потребителями [8].

Ограничения по имеющейся технике, осуществляющей перевозки: количество единиц техники и её характеристики (грузоподъемность, быстроходность, расход топлива); предел вместимости нижнего и промежуточного складов; затраты (как временные, так и финансовые) на погрузку-разгрузку на этих складах и другие параметры должны быть учтены в соответствующей системе уравнений, положенных в основу оптимизационной модели. Такая модель должна учитывать удаленность потребителей от лесосек, промежуточных и нижних складов, а постановка экстремальной задачи на минимизацию затрат позволит найти оптимальное количество пазов, ширину зоны тяготения к погрузочным пунктам, их количество на верхнем складе и расстояние между ними. Зная себестоимость трелевки леса и грузооборот, зависящий от ликвидного запаса стволовой древесины, производственных мощностей предприятия и рыночного спроса, возможно решить задачу на оптимизацию технологического процесса [6].

В общем виде такая система лесозаготовок может быть представлена в стандартном виде уравнения, решаемого симплекс-методом:

$$Z_{\text{общ}} = ax_1 + bx_2 + cx_3 + dx_4 + \dots + nx_k \rightarrow \min$$

где $Z_{\text{общ}}$ – общие затраты на заготовку и транспортировку древесины, руб.; x_1 – затраты на заготовку и транспортировку древесины из лесосек непосредственно потребителям, минуя промежуточные склады.

Данный элемент системы представляет собой следующую логистико-математическую модель:

$$x_1 = \sum_{i=1}^I i \sum_{j=1}^J j \sum_{m=1}^M m \sum_{p=1}^P p \sum_{k=1}^K k (Q_{ijmpk} Z_{ijmpk}),$$

где Q_{ijmpk} – объемы доставки древесины с лесосек до пункта назначения, м³; Z_{ijmpk} – удельные затраты на заготовку и транспортировку древесины до пункта назначения, руб./м³.

Модель описывает затраты (руб.) на заготовку i -х сортиментов ($i = 1.2.3, \dots I$) на j -х лесосеках ($j = 1.2.3, \dots I$), с использованием m -й технологии ($m = 1.2.3, \dots N$), и доставку p -м типом транспорта ($p = 1.2.3, \dots P$) k -ому конечному потребителю ($k = 1.2.3, \dots K$). Аналогичным способом рассчитываются и другие элементы: x_2 – заготовка и транспортировка древесины конечному потребителю через нижние склады; x_3 – тот же процесс, но через промежуточные склады; x_4 – заготовка и транспортировка древесины последовательно: с лесосек на промежуточные склады, а затем на нижние склады с последующей доставкой конечному потребителю; x_k – заготовка и транспортировка древесины до конечного потребителя через другие каналы. При этом, все элементы системы должны быть сведены к единой размерности (в противном случае будет невозможно решить задачу на минимизацию затрат), для чего вводятся поправочные коэффициенты $a, b, c, \dots n$. Наиболее подходящей размерностью является денежное выражение (в рублях, долларах США или Евро), что позволяет наглядно представить долю каждого элемента в системе транспортно-технологического процесса лесозаготовок.

Оптимальное решение приведенной системы уравнений позволит рационально планировать лесозаготовительный процесс, сокращая производственные издержки. Такая логистико-математическая модель пригодна для множества лесозаготовительных предприятий, поскольку большинство процессов заготовки и транспортировки древесины можно вписать в приведенную систему уравнений. Разработка компьютерных программ на основе описанной логистико-математической модели позволит широко использовать на практике приведенные методы оптимизации ТТП лесозаготовительным предприятиям, осуществляющим производственный цикл от заготовки древесины до поставки её конечному потребителю. Такая схема оптимизации может быть учтена при проектировании новой сети лесовозных дорог, что позволит выбрать наиболее рациональную схему её расположения.

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

$$V_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n V_i^n - \left(\sum_{i=1}^n C_{\text{стр}}^k + \sum_{i=1}^n C_{\text{заг}}^i \right) \quad (11),$$

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.

На практике освоение лесосырьевых баз происходит не за один год, а в достаточно длительный временной период, 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 [1] за все годы реализации проекта освоения лесосечного фонда необходимо рассчитывать по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+r)^t} \quad (12),$$

где CF_t – приток денежных средств от реализации древесины в период t , 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 время действия инвестиции).

Так, например, крупный лесопромышленный холдинг имеет возможность единовременно 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 пошагово, 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 [7].

Важно отметить, что лесные дороги являются естественным препятствием для распространения лесных пожаров и играют важную роль в защите окружающей среды, но, в то же время, повышают риск эрозии почв, поэтому их проектирование должно вестись с учетом грамотного управления водными и почвенными ресурсами [9].

Заключение

К вопросам дальнейшего изучения необходимо отнести необходимость поиска 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 [2].

В условиях современной рыночной экономики актуальной задачей является возможность кооперации лесозаготовительных предприятий с целью строительства

лесотранспортной сети [5], однако в этом случае требуется разработка методики оценки соразмерных инвестиций предприятий в строительство дорог на взаимовыгодных условиях. Помимо лесозаготовительных компаний в освоении лесосырьевых баз заинтересованы местные органы самоуправления, а также региональные и федеральные органы власти, поскольку грамотное управление лесозаготовками позволит увеличить поступления в бюджеты всех уровней, создать новые рабочие места, оживить промышленность в регионах.

Список литературы

1. Касаткина Е. В. Оценка эффективности инвестиционных проектов: методологические проблемы и направления их решения // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. – 2010. – № 126. – С. 116–124.
2. Костяев В. Н. Оптимизация лесотранспортной сети как основа развития лесопромышленного комплекса России. Сборник докладов XI Всероссийской научно-практической конференции «Стратегия устойчивого развития регионов России». – Новосибирск: ЦРНС, 2012. – С. 25–27.
3. Пятакин В. И., Григорьев И. В., Иванов В. А., Редькин А. К. Технология и оборудование лесопромышленных производств. – СПбГЛТА, 2009. – 362 с.
4. Пятакин В. И., Иванов В. А., Григорьев И. В. Комплексная экономическая оценка применения канатных трелевочных установок. – СПб., 2006. – С. 199.
5. Рудаков М. Н., Шегельман И. Р., Корниенко А. М. Особенности и тенденции интеграции в лесопромышленном комплексе // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. – Вологда: ВоГТУ, 2007. – С. 23–24.
6. Рунова Е. М., Костяев В. Н. Задачи оптимизации транспортно-технологических процессов лесозаготовительных предприятий и пути их решений. Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. X Международная научно-техническая конференция. – Брянск, 2010. http://science-bsea.bgita.ru/2010/les_komp_2010/runova_kost.htm (Дата обращения: 17.12.2012).
7. Рунова Е. М., Костяев В. Н. Подход к проектированию оптимальной лесотранспортной сети с помощью математического моделирования // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – № 4 (16). – С. 170–176.
8. Яшин А. В. Оптимизация транспортно-технологического процесса лесозаготовительного предприятия: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2009. – 19 с.
9. Aruga K. Heuristic planning techniques applied to forest road profiles // K. Aruga, J. Sessions, A.E. Akay // J. for. Res. – 2005 – № 10. – P. 83–92.

Рецензенты:

Иванов Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Лесные машины и оборудование», Братский государственный университет, г. Братск.

Мамаев Леонид Алексеевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет», г. Братск.