

**А.П. Соколов<sup>1</sup>, Ю.Ю. Герасимов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Петрозаводский государственный университет

<sup>2</sup>НИИ леса Финляндии

Соколов Антон Павлович родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры тяговых машин ПетрГУ. Имеет более 40 печатных работ в области информатизации и управления процессами в лесном комплексе.

E-mail: a\_sokolov@psu.karelia.ru

Герасимов Юрий Юрьевич родился в 1964 г., окончил в 1986 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник НИИ леса Финляндии. Имеет более 100 печатных работ в области лесопромышленного комплекса и биоэнергетики.

E-mail: yuri.gerasimov@metla.fi



### **ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ\***

Рассмотрены методика и алгоритмы оптимизации транспортных планов на вывозке сортиментов. Описана реализующая их информационная система, построенная на основе ГИС-технологий.

*Ключевые слова:* транспортная логистика, сортиментная технология, автомобиль-сортиментовоз, математическое программирование, ГИС-технологии.

Актуальность проблемы поиска эффективных методов решения задачи логистики круглых лесоматериалов значительно выросла в России за последние несколько лет. В первую очередь это связано с ускоренным ростом объемов лесозаготовок, осуществляемых по сортиментной технологии. Например, в Карелии в 2006 г. ее доля составила уже 66 % [1].

При использовании традиционной хлыстовой технологии лесоматериалы с лесосек чаще всего вывозят на один-два, реже на три крупных нижних склада, которые обычно принимают все виды заготавливаемой продукции. Если складов несколько, они разнесены в пространстве. Поэтому не составляет особого труда определить, на какой нижний склад лучше вывезти хлысты с каждой лесосеки.

Применение сортиментной технологии существенно усложняет задачу отыскания оптимального транспортного плана, поскольку в ее классической схеме нет централизованных нижних складов и существенного увеличения номенклатуры производимых на лесосеке лесоматериалов. Их вывозят непосредственно на двор предприятия ЛПК или на терминал (далее потребитель). Число потребителей может быть достаточно большим, но-

---

\* Работа выполнена в рамках международных проектов TACIS «Сравнение методов лесозаготовок – влияние технологий на качество древесины, производительность труда и себестоимость продукции в лесозаготовительных компаниях» и ТЕКЕС «Лесозаготовки и логистика в России – в фокусе возможности бизнеса и исследования».

менклатура принимаемых лесоматериалов – достаточно узкой, их объемы – различными. Кроме того, поставки на двор потребителей идут с разных лесосек. В этом случае стандартные схемы организации перевозок оказываются малоэффективными, а построение более действенных планов, ввиду сложности задачи, может быть осуществлено только при использовании современных методов математического программирования, реализуемых в специальном прикладном программном обеспечении [2, 5]. В настоящей статье рассмотрен один из подходов к решению этой задачи.

*Постановка задачи. Обоснование средств решения*

Пусть на каждой из  $n$  имеющихся лесосек производится  $k_i$  видов лесоматериалов ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Известен ежедневный объем их заготовки. В то же время каждый из  $m$  потребителей принимает  $k_j$  видов лесоматериалов ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) в соответствии с подписанным контрактом, определяющим их номенклатуру и объемы по месяцам.

Вид лесоматериалов определяется породой, назначением, размерами (длина и диаметр) и качеством (сортом). Для каждого из них задают предельные размеры, породу указывают непосредственно (сосна, ель и т. д.) либо обобщенно (хвойные, лиственные, любые).

Все лесосеки и потребители соединяются между собой сетью автомобильных, железных дорог и водных путей, перевалку с автомобильного на железнодорожный и водный транспорт осуществляют на терминалах. Перевозку круглых лесоматериалов с лесосек потребителям или к терминалам производят заданным числом автомобилей различных марок, грузоподъемности и т. д., каждый из них приписан к определенному гаражу.

Задача состоит в составлении такого транспортного плана на заданный горизонт планирования, при котором суммарный объем вывозки был бы максимальным, а использование транспортных средств – рациональным. Здесь под транспортным планом подразумевается совокупность сменных заданий для каждого автомобиля с указанием мест погрузки, разгрузки, типа перевозимых лесоматериалов и прочей сопутствующей информации для горизонта планирования.

При решении поставленной задачи были использованы ГИС-технологии на основе пакета программ MapInfo Professional и языка программирования MapBasic. Необходимость использования ГИС-технологии связана с тем, что пространственные характеристики логистических объектов (координаты, расстояния) при решении поставленной задачи имеют важное значение. Однако сам подход и разработанные алгоритмы допускают и другие варианты реализации.

*Структура системы*

Структура созданной геоинформационной системы, предназначенной для решения задачи транспортной логистики круглых лесоматериалов, показана на рисунке. Первая составная часть системы – исходные данные, включающие информацию о местоположении и характеристиках объектов

хозяйствования (лесосеки, потребители, станции, гаражи), а также слой дорог в формате MapInfo с привязанной к нему базой данных определенной структуры.

Вторая составная часть системы – граф. Это особым образом преобразованный слой дорог с включенными в его структуру объектами хозяйствования с подъездными путями. Для построения и редактирования графа создано несколько программных модулей, объединенных в блок управления графом.



Структура системы

Следующая важная часть системы – база данных по объектам хозяйствования, содержащая все необходимые для расчетов характеристики ОХ, передаваемые через СУБД другим блокам системы.

Блок поиска оптимальных маршрутов использует эвристический оптимизационный алгоритм для определения наилучшего маршрута движения от одной точки графа (объекта хозяйствования) до другой.

В следующем блоке реализован оригинальный алгоритм синтеза транспортного плана, основанный на методах бесконечношагового (открытого) динамического программирования. Результатом его работы служит подробный посменный план для каждого из рассматриваемых автомобилей.

#### *Поиск оптимальных маршрутов*

При составлении оптимального транспортного плана необходимо знать время движения от одного объекта хозяйствования до другого. Для этого пользователь должен задать среднюю скорость движения по дорогам каждого типа (ус, ветка, грунтовая, грунтовая улучшенная, с твердым покрытием). Если известны какие-либо особенности некоторых участков дорог (их состояние, большое число сложных поворотов, другие факторы, влияющие на скорость движения), программа позволяет осуществить настройку графа, т. е. установить для отдельных дуг особые значения скорости движения.

Часто существует несколько вариантов движения по графу от исходной точки до конечной. Блок поиска оптимальных маршрутов позволяет выбрать такой вариант маршрута, который соответствовал бы минимальным затратам на перевозку. Для этого должны быть заданы средние затраты на перевозку 1 м<sup>3</sup> древесины по дорогам каждого типа.

Существует несколько подходов к определению оптимальных маршрутов на графе. Одним из самых простых и точных является алгоритм Дейкстры [6], который позволяет находить абсолютный оптимум, что является его большим преимуществом.

Попытка реализовать этот алгоритм в данной системе показала, что он хорошо работает только при небольшом числе узлов в графе. Однако при их росте катастрофически увеличивается время поиска решения, так как для каждой новой точки маршрута всегда проверяют все варианты движения из нее (все узлы графа), в том числе заведомо бесперспективные.

В целях сокращения времени поиска был предложен усовершенствованный эвристический алгоритм, позволяющий не проверять все узлы на каждом шаге. Различные примеры подобных алгоритмов рассмотрены в работах [7–9]. Поскольку в каждом цикле алгоритма проверяют только несколько узлов, ближайших к рассматриваемому, время его работы уже не зависит от общего их числа. Реализация данного алгоритма в дорожной сети, покрывающей лесосырьевую базу крупного лесозаготовительного предприятия, показала, что время поиска маршрута сократилось от десятков минут до нескольких секунд.

Предложенный алгоритм не дает стопроцентной гарантии нахождения абсолютного оптимума. Однако, как показали машинные эксперименты, значительные ошибки появляются только в случаях с графами сложной хаотической структуры. При описании же дорожной сети дуги не располагаются хаотически, а представляют собой дороги, которые всегда имеют определенное направление. Поэтому применение данного алгоритма для отыскания оптимальных маршрутов в рассматриваемом случае было признано оправданным.

Для снижения вероятности ошибки в нетривиальных случаях в разработанной системе предусмотрена возможность двукратного поиска каждого маршрута, когда сначала поиск ведется от исходной точки до конечной и сразу от конечной к исходной. Из двух найденных вариантов маршрута

(если они не совпадают) выбирают наилучший. Эта опция удваивает время поиска, но практически позволяет исключить ошибку.

#### *Составление оптимального транспортного плана*

Поставленная задача не может быть решена классическими методами математического программирования, так как относится к открытым или «бесконечношаговым». Для решения задачи синтеза оптимального транспортного плана разработан оригинальный алгоритм, основанный на методах динамического программирования [2–4].

В алгоритме для каждого автомобиля максимизируется объем перевозок за смену. Формально ставится задача минимизации суммарного времени движения автомобиля в течение ограниченной по времени смены без простоев. Найденное оптимальное решение прямо соответствует максимально возможному объему перевозок в смену, т. е. числу рейсов (погрузок – разгрузок). Чем их больше, тем меньше время остается непосредственно на движение.

В ходе условной оптимизации на каждом шаге динамического программирования для каждой текущей лесосеки (потребителя) поочередно определяют предыдущих лесосеку или потребителя, при движении с которых суммарное время от начала смены до прибытия на текущую лесосеку (или к потребителю) было бы наименьшим.

В ходе безусловной оптимизации от конца смены к началу считывают маршрут, на котором оказалось большее число рейсов. Если имеется несколько альтернативных маршрутов с одинаковым числом рейсов, то выбирают тот, при котором автомобиль возвращается в гараж ближе к концу смены (таким образом максимизируется коэффициент использования автомобиля).

При наличии альтернативных видов лесоматериалов, предназначенных для перевозки с «оптимальной» лесосеки на двор «оптимального» потребителя, выбирают лесоматериал с более высоким приоритетом (например пиловочник).

Все имеющиеся автомобили включают в общий список в порядке приоритета. Сначала определяют маршрут движения для первого в списке, затем – для второго (на оставшиеся объемы неперевазанных лесоматериалов) и т. д.

Результаты работы алгоритма сохраняют в виде книги Microsoft Excel, каждый лист которой представляет собой транспортный план для автомобилей из одного гаража. В плане указывают пункты отправления и назначения, расстояния между ними, моменты времени прибытия и отправки, а также характеристики перевозимых лесоматериалов.

#### *Результаты исследования*

В целях проверки эффективности использования разработанной системы выполнен сравнительный анализ двух транспортных планов для одного и того же леспромхоза в Карелии. Первый план построен традиционным

путем (вручную), второй – с помощью разработанной программы. Планировалась перевозка сортиментов (еловые, сосновые и березовые пиловочник и балансы) пятью автомобилями-сортиментовозами, базирующимися в одном и том же гараже, с четырех лесосек леспромхоза на три предприятия ЛПК и один железнодорожный терминал. Горизонт планирования – 4 сут.

Транспортные планы сравнивали по ряду показателей, которые вычисляли для каждого суток работы и в целом. Состав показателей: суммарное время работы автомобилей, суммарный пробег, суммарное число выполненных рейсов, общий перевезенный объем лесоматериалов, суммарный

#### Сравнительные показатели оптимального транспортного плана

6* День	Суммарное время работы, ч	Суммарный пробег, км	Число рейсов	Общий объем, м <sup>3</sup>	Суммарный пробег с грузом, км	Потребное число автомобилей	Коэффициент использования		Объем на единицу пробега, м <sup>3</sup> /км
							авто-мобилей	пробега	
1-й	42,68 (-1%)	1207,84 (-4%)	10 (0)	518 (0)	348,18 (0)	3 (-40%)	0,700 (+65%)	0,288 (+4%)	0,429 (+4%)
2-й	79,32 (-15%)	2435,48 (+13%)	17 (+6%)	878 (+6%)	992,45 (+46%)	5 (0)	0,780 (-15%)	0,407 (+30%)	0,361 (-6%)
3-й	51,23 (-35%)	1421,26 (-22%)	12 (0)	620 (-0,3%)	460,26 (-10%)	4 (-20%)	0,630 (-19%)	0,324 (+15%)	0,436 (+27%)
4-й	81,62 (-10%)	2317,41 (+8%)	19 (+27%)	980 (+27%)	896,01 (+33%)	5 (0)	0,803 (-10%)	0,387 (+23%)	0,423 (+17%)
Всего	254,85 (-17%)	7381,99 (0)	58 (+9%)	2996 (+9%)	2696,9 (+22%)	5 (0)	0,728 (-4%)	0,365 (+22%)	0,406 (+9%)

пробег с грузом, потребное число автомобилей, коэффициент использования занятых автомобилей, коэффициент использования пробега и объем перевезенных лесоматериалов на единицу пробега.

Коэффициент использования  $n$  занятых автомобилей для каждого суток определяли по формуле

$$k_n = \frac{t_p}{t_{\text{сут}} n},$$

где  $t_p$  – суммарное время работы автомобилей в течение суток по вновь сформированному плану, ч;

$t_{\text{сут}}$  – суммарная регламентная продолжительность первой и второй смен, ч.

Таким образом, этот коэффициент имеет иной смысл, нежели стандартный коэффициент использования парка машин. Он показывает степень занятости автомобилей внутри смены, т. е. является оценочным показателем совершенства транспортного плана, а не общей мерой простоев. Если автомобиль простаивает в течение суток, то его не учитывают в данном коэффициенте. Более совершенным считается план, при выполнении которого удастся выполнить весь объем перевозок меньшим числом автомобилей.

При составлении плана традиционным путем использована привязка каждого автомобиля к определенной лесосеке для ее обслуживания. Плани-

рование осуществляли таким образом, чтобы каждый автомобиль мог сделать максимальное число рейсов и вернуться в гараж до завершения смены.

Таблица содержит значения сравнительных показателей оптимального транспортного плана, построенного с помощью разработанной программы. В скобках указано их изменение в сравнении с традиционным планом. В соответствии с этим планом перевозится 2996 м<sup>3</sup>, на 9 % больше, при этом общий пробег не изменяется, а суммарное время работы автомобилей уменьшается на 17 %, благодаря чему в первый день высвобождается два автомобиля, а в третий – один. Коэффициент использования пробега возрастает на 22, объем перевезенных материалов на единицу пробега – на 9 %.

#### *Выводы*

Разработанный геоинформационный подход и оптимизационные методики позволяют существенно повысить эффективность перевозок лесоматериалов при использовании сортиментного метода заготовки. Кроме того, с помощью созданной системы можно автоматизировать процесс составления транспортных планов и сократить затрачиваемое время. Благодаря этому возможно составить несколько вариантов планов с учетом вероятных изменений во внутренней ситуации и внешних условиях, оперативно их переработать, скорректировать и довести до исполнителей в несложной табличной форме и в виде карт маршрутов. Удобный интерфейс и наглядное картографическое представление исходных данных и результатов работы должны помочь специалистам более качественно планировать перевозки и компьютеризировать свой труд.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ развития лесозаготовок на Северо-Западе России [Текст] / Ю.Ю. Герасимов [и др.] // Лес и бизнес. – СПб.: Максифит, 2007. – № 3. – С. 58–63.
2. Андреев, В.Н. Принятие оптимальных решений в лесном комплексе [Текст] / В.Н. Андреев, Ю.Ю. Герасимов. – Йоэнсуу: Изд-во ун-та Йоэнсуу, 1999. – 200 с.
3. Беллман, Р. Динамическое программирование [Текст] / Р. Беллман. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960. – 400 с.
4. Вентцель, Е.С. Элементы динамического программирования [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 176 с.
5. Герасимов, Ю.Ю. Логистика в лесном комплексе: управление снабжением, транспортом и запасами [Текст]: учеб. пособие / Ю.Ю. Герасимов, В.М. Костюкевич. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. – 108 с.
6. Dijkstra, E.W. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs [Text] / E.W. Dijkstra // Numerische Mathematik. – 1959. – N 1. – P. 269–271.
7. Hart, P.E. A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths [Text] / P.E. Hart, N.J. Nilsson, B. Raphael // IEEE Transactions of Systems Science and Cybernetics. – 1968. – Vol. SSC-4, N 2. – P. 100–107.
8. Jonsson, M.J. An Optimal Pathfinder for Vehicles in Real-World Terrain Maps [Text] / M.J. Jonsson // The Royal Institute of Science, School of Engineering Physics. – Stockholm, 2003.
9. Stefanakis, E. On the Determination of the Optimum Path in Space [Text] / E. Stefanakis, M. Kavouras // Proceedings of the European Conference on Spatial Information Theory COSIT 95. – 1995.

Поступила 06.03.08

А.П. Sokolov<sup>1</sup>, Ю.Ю. Gerasimov<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Petrozavodsk State University

<sup>2</sup>Finnish Forest Research Institute

**Geoinformation System for Solving Optimization Problem of Transport Logistics for Round Timber**

Technique and algorithms of transport plans optimization in cut-to-length logging are considered. The GIS-technologies information system realizing them is described.

Keywords: transport logistics, cut-to-length technology, cut-to-length truck, mathematical programming, GIS-technologies.

---