

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИКИ ЛЕСОЗАГОТОВОК*

А.П. Соколов¹, В.С. Сюнёв¹, Ю.Ю. Герасимов², Т. Каръялайнен²

¹Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина 33, Петрозаводск, Россия. E-mail: a_sokolov@petsru.ru; siounev@petsru.ru.

²НИИ леса Финляндии, П.Я. 68, Йоэнсуу, Финляндия. E-mail: yuri.gerasimov@metla.fi; timo.karjalainen@metla.fi.

Статья поступила 01.12.2011, принята 20.12.2012, опубликована 28.12.2012

Актуальность проблемы поиска эффективных методов решения задачи логистики лесоматериалов значительно выросла в России за последние несколько лет. В первую очередь это связано с ускоренным ростом объемов лесозаготовок, осуществляемых с использованием сортиментной (скандинавской) технологии. Северо-Западный регион занимает ведущее место в использовании этой технологии. При прочих равных условиях применение сортиментной технологии существенно усложняет задачу отыскания оптимального транспортного плана, ввиду отсутствия в ее классической схеме централизованных нижних складов и существенного увеличения номенклатуры производимой на делянке продукции. Все это приводит к тому, что стандартные схемы организации перевозок оказываются мало эффективными, а построение более эффективных планов, ввиду сложности задачи, может быть осуществлено только при условии использования современных логистических методов, реализуемых в специальном прикладном программном обеспечении. В статье описана созданная с применением геоинформационных технологий компьютерная информационно-вычислительная система поддержки принятия решений для оптимизации лесозаготовительных планов и логистики заготовленной древесины (СППР). Разработка системы началась с создания алгоритмов и программного обеспечения для оптимизации транспортной логистики. Позже в систему были добавлены алгоритм и программа оптимизации лесозаготовительных планов. Сделан вывод, что применение методов логистики, которые бы позволили решать эту задачу в условиях компаний, существенно повышает эффективность работ по вывозке продукции лесозаготовок.

Ключевые слова: сортиментная технология, ГИС, динамическое программирование, системы принятия решений

OPTIMISATION OF WOOD LOGISTICS

A.P. Sokolov¹, V.S. Syunev¹, Y.Y. Gerasimov², T. Karjalainen²

¹Petrozavodsk State University, Lenin av. 33, Petrozavodsk, Russia. E-mail: a_sokolov@petsru.ru; siounev@petsru.ru.

²Finnish Forest Research Institute, P.O. Box 68, Joensuu, Finland. E-mail: yuri.gerasimov@metla.fi; timo.karjalainen@metla.fi.

Received: 1 December 2012 / Accepted: 20 December 2012 / Published: 28 December 2012

The effectiveness of the logging industry is assumed to be dependent, first of all, on such factors as stable demand, high enough prices for the products, the characteristics of forest stands, technologies used, and prices for fuel. These factors are definitely of key significance. At the same time, logging companies have limited influence on them. By contrast, a number of possibilities might enhance the effectiveness of the work that, in our opinion, receives insufficient attention from most Russian loggers. We are talking about the optimal organisation of internal business processes. The proper organisation of those processes – in accordance with up-to-date approaches and new techniques – could significantly cut organisational costs and enhance the effectiveness of both production processes and their management. In this respect, one of the most promising areas is introducing up-to-date logistics methods into logging organisations. This might produce good results when solving such issues as ensuring effective transportation logistics, developing the forest road infrastructure, or optimising harvesting plans. Searching for effective solutions to the logistics issues of roundwood and residues has become considerably more urgent in Russia over recent years. First, this is determined by the increasing volumes of harvesting with cut-to-length technologies. The northwest region is the most active in applying this technology, which dramatically complicates searching for an optimal transportation plan because of a lack of central processing yards in the classical scheme and the significant increase in the range of wood assortments at sites. All this leads to the low effectiveness of standard transportation schemes.

* В статье представлены результаты исследования, опубликованного ранее в отчете по международному проекту «Лесозаготовки и логистика» [1].

Owing to the complexity of the task, the production of more effective plans is possible only if modern logistics methods are used with special software. A hybrid approach came up with a two-stage transportation solution because of the unwillingness to solve the matter as well as for other reasons. In the first stage, all logs are delivered from harvesting sites to a processing yard, and then, after secondary sorting, they are taken to customers. The yard can significantly increase costs for transporting one cubic metre of wood, because the total distance of transportation from the harvesting site to the yard and further from the yard to the customer will always be longer than is the distance of direct transportation from the site to the customer. In addition, there are also costs for reloading and storing wood, maintaining loading depots, and so on. Therefore, usable logistics methods could increase the effectiveness of wood transportation.

Keywords: cut-to-length method; GIS; dynamic programming; decision support system

Введение

В России лесозаготовительные операции обычно разделены на три стадии: лесозаготовка, транспортировка и операции на нижнем складе. Лесозаготовка может осуществляться в трех вариантах: заготовка деревьями, хлыстами или сортиментами. Эти методы отличаются по применяемым технологиям, обрезка сучьев и раскряжевка стволов выполняется либо непосредственно на месте валки, либо у дороги, либо на нижнем складе [2]. Способы транспортировки древесины зависят от применяемых заготовительных методов: древесина с погрузочной площадки транспортируется непосредственно потребителю, или через промежуточные склады или нижние склады. Управление логистикой при использовании традиционного хлыстового метода - достаточно простая задача, так как все заготовленные хлысты транспортируются с лесосек на один и тот же нижний склад. Применение сортиментного метода или использование процессора на погрузочной площадке требует уделять больше внимания логистике, потому что сортименты с лесосек должны быть поставлены напрямую нескольким потребителям: ЦБК, лесопильным предприятиям, заводам производящим древесные плиты, на терминалы или железнодорожные станции. Логистика сортиментов является сложной задачей, которая не может быть решена в рамках старых подходов [3]. В России логистические подходы к транспортировке сортиментов еще недостаточно хорошо развиты. Программное обеспечение и инструменты [4-10], разработанные в странах, располагающих долгим опытом применения сортиментного метода и транспортировки сортиментов (Финляндия и Швеция), не всегда применимы в российских условиях. Причиной этого является специфическая организационная структура российских лесозаготовительных компаний, которые имеют транспортные подразделения с собственным автопарком, гаражами и ремонтными мастерскими. В России также имеются такие дополнительные факторы, как специфические требования к нагрузке на ось автопоездов, собственные стандарты на круглую древесину, разные категории дорог, плохое состояние и обслуживание дорог, сезонная доступность древесины, неравномерное распределение лесозаготовительных операций в течение года и т.д. Кроме того, решения должны разрабатываться индивидуально для каждой конкретной компании и обычно подходят только для нее, поэтому необходимо создавать специализированные программные инструменты для улучшения планирования и оптимизации логистики древесины на операционном и тактическом уровнях.

Основной целью данной работы было создание СППР для планирования и анализа транспортировки сортиментов на уровне лесозаготовительной компании в российских условиях. СППР должна предоставлять лесозаготовительной компании всестороннюю информацию о выигрышах и ограничениях, связанных с применением различных вариантов транспортировки сортиментов. Лесозаготовительная компания должна получать от системы достаточно информации, чтобы принимать эффективные оперативные и долгосрочные решения.

Экономическая эффективность осуществления лесозаготовительных операций по производству сортиментов является критическим элементом для развития лесного хозяйства и лесозаготовок в России [11]. СППР также может играть роль информационно-советующей системы для лесозаготовительных компаний на стратегическом уровне, так как, в числе прочего, она учитывает и экономические факторы. Например, она в состоянии выявить

нехватку сортиментовозов или, в случае необходимости, может помочь в решении задач размещения гаражей или временных терминалов и т.д.

Данные и методы

Основной задачей в организации транспортировки сортиментов является составление транспортных планов, которые бы позволяли максимизировать вывозку древесины при рациональном использовании парка сортиментовозов в лесозаготовительной компании. Термин «транспортный план» означает подробное расписание вывозки, составленное для всего автопарка на конкретный период времени, включая такую информацию, как, например, место и время погрузки и разгрузки, тип перевозимых сортиментов и т.д.

Задачу организации транспортировки сортиментов можно поставить следующим образом. Лесозаготовительная компания имеет несколько операционных единиц: лесосеки, потребители, железнодорожные станции и гаражи. Известны следующие данные: максимальные и фактические объемы запасов сортиментов на погрузочных площадках, ежедневный выход каждого вида сортиментов на каждой из лесосек и их транспортная доступность зимой или круглогодично. Компания имеет действующие контракты на поставку древесины с несколькими потребителями, а также для каждого потребителя известны ежемесячные объемы поставок сортиментов.

Тип сортиментов зависит от древесной породы, назначения (пиловочник, баланс, дровяная древесина), размерности (диаметр и длина) и качества древесины (внутренние или экспортные нормативы). Размер сортимента может быть определен предельными величинами (минимум, максимум), древесные породы могут быть определены непосредственно (сосна, ель, береза, осина и другие) или даны в общем виде (хвойная, лиственная, любая). Более того, потребитель может принимать неотсортированные сортименты. В таком случае, два разных сортимента на лесосеке могут быть равнозначным сырьем для завода и наоборот. Поэтому процедура идентификации номенклатуры сортиментов должна происходить на лесосеках и у потребителей.

Все лесосеки и потребители связаны посредством автомобильных и железных дорог. Перевалка сортиментов с автомобилями на железнодорожные вагоны организована на терминалах железнодорожных станций. Древесина с лесосек доставляется на заводы или терминалы сортиментовозами. Число сортиментовозов и их характеристики (модель, грузоподъемность и т. д.) задаются пользователем. Каждый из автомобилей регистрируется в конкретном гараже. Одновременно может существовать несколько гаражей. Геоинформационная система (ГИС) используется для определения расположения и соединения посредством дорожной сети лесосек, терминалов, потребителей и гаражей.

СППР была создана в среде MapInfo с использованием для программирования языков MapBasic и C++, а также Microsoft Excel для формирования отчетов [12,13]. Среда MapInfo обеспечивает возможность создания с помощью MapBasic программ с интерфейсом пользователя и специализированными диалоговыми окнами. Структура программы и ее наиболее важные компоненты показаны на рис. 1.

- *Модуль данных* содержит информацию о дорогах и их качестве, расположении субъектов логистического управления (т.е. лесосек, потребителей, гаражей, железнодорожных станций) и их характеристиках. Пользователь может легко управлять данными через дружественный интерфейс.
- *Модуль графов* является второй частью программы. В этом модуле пользователь может создавать слои дорог, включая субъекты логистического управления. Несколько подмодулей были созданы для управления графами (создание, редактирование, удаление и добавление).
- *Модуль оптимальных маршрутов* с помощью эвристического метода помогает пользователю определить оптимальный вариант маршрута транспортировки сортиментов.
- *Модуль оптимальных транспортных планов* с помощью динамического

программирования генерирует оптимальные ежедневные задачи для каждого из сортиментовозов.

- *Модуль отчетов* выдает для лесозаготовительной компании отчеты по оптимальным маршрутам и планам для транспортировки сортиментов.



Рис. 1. Структура программы.

Данные

Данные, необходимые для планирования и анализа транспортировки сортиментов, включают:

- Дорожные карты в формате MapInfo
- Расположение субъектов логистического управления (лесосеки, потребители, железнодорожные станции, гаражи)
- Характеристики субъектов логистического управления:
 - Лесосеки (рис. 2): дата начала заготовки; тип лесосеки (зимняя, летняя, круглогодичная); типы заготавливаемых сортиментов и их характеристики: породы деревьев, размер и сортность; средний дневной объем заготовки; распределение запаса по типам сортиментов; расчетный и фактически заготовленный объем; возможность использовать тяжелые автомобили с прицепами; возможные потребители для каждого из типов сортиментов.
 - Потребители (рис. 3): тип потребителя (местный потребитель означает, что возможны прямые поставки автомобилями, удаленный потребитель означает, что

необходима перевалка сортиментов с автомобилями на железнодорожные вагоны); расстояние от железнодорожной станции до удаленного потребителя; тип потребляемых сортиментов и их характеристики: древесные породы, размер, сортность, ежемесячные объемы контрактных поставок по типам сортиментов.

- Гаражи (рис. 4): число зарегистрированных сортиментовозов; характеристики каждого автомобиля: модель, возможность использования прицепа или полуприцепа, регистрационный номер, грузоподъемность, среднее время загрузки и разгрузки.
- Железнодорожные станции: название, код, стоимость перевалки с сортиментовозов на вагоны через терминал за 1 м³ (Стоимость транспортировки древесины и перевалки на терминалах принимаются в расчет при поиске оптимального маршрута).

Harvesting site characteristics

Name of Harvesting Site: HS2
 Name of Logger: Ladseno
 Daily output, cub. m: 300

ID of Site: 2
 Long Vehicle: Yes No

Type of Site: Winter Summer All Seasons

Starting date of logging: Day: 19 Month: May Year: 2007

Set the harvesting site active

	Species	Type	Min. Length, m	Max. Length, m	Min. Diameter, mm	Max. Diameter, mm	Standard	Sorted	Current volume, cub. m	Potential volume, cub. m	Customers
1.	Spruce	Fresh pulpwood	5,5	5,6	140	300	Export	<input checked="" type="checkbox"/>	156	1 395	...
2.	Spruce	Pulpwood	4	4,1	130	300	Export	<input checked="" type="checkbox"/>	76	2 307	...
3.	Spruce	Pulpwood	5,5	5,6	140	300	Export	<input checked="" type="checkbox"/>	200	2 720	...
4.	Spruce	Sawlogs	4	4,1	130	250	Export	<input checked="" type="checkbox"/>	276	2 727	...
5.	Spruce	Sawlogs	5,5	5,6	140	250	Export	<input checked="" type="checkbox"/>	197	2 247	...
6.	Spruce	Sawlogs	6	6,2	140	250	Export	<input checked="" type="checkbox"/>	120	912	...
7.	Birch	Pulpwood	4	4,1	150	350	Export	<input checked="" type="checkbox"/>	60	756	...

<Previous More positions Ok

Customers

Select supposed customer's factories

Unselected: Pitkyaranta Papermill

Selected: Impilakhty Sawmill
Vyartsilya Export

> <

Ok

Рис. 2. Диалоговые окна «Лесосека».

Customer's factory characteristics

Name of customer's factory: ID of customer: 1 Type of customer: Ordinary

Set the customer's factory active Railway distance to Remote Customer from indicated point, km:

	Species	Type	Min. Length, m	Max. Length, m	Min. Diameter, mm	Max. Diameter, mm	Standard	Sorted	Contract
1.	Spruce	Sawlogs	4	4,15	120	250	Domestic	<input checked="" type="checkbox"/>	...
2.	Spruce	Sawlogs	5,5	5,7	120	250	Domestic	<input checked="" type="checkbox"/>	...
3.	Spruce	Sawlogs	6	6,2	120	250	Domestic	<input checked="" type="checkbox"/>	...
4.	Any	Firewood	0	0	0	0	Domestic	<input type="checkbox"/>	...
5.	Any	Wood residues	0	0	0	0	Domestic	<input type="checkbox"/>	...
6.	Any	Energy chips	0	0	0	0	Domestic	<input type="checkbox"/>	...
7.	Any		0	0	0	0	Domestic	<input checked="" type="checkbox"/>	...
8.	Any		0	0	0	0	Domestic	<input checked="" type="checkbox"/>	...

Cancel Ok

Contract

Input contract data

	Volumes, cubic meters		Volumes, cubic meters	
	planned	realised	planned	realised
January	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	July	<input type="text" value="0"/>
February	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	August	<input type="text" value="0"/>
March	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	September	<input type="text" value="0"/>
April	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	October	<input type="text" value="0"/>
May	<input type="text" value="5 000"/>	<input type="text" value="200"/>	November	<input type="text" value="0"/>
June	<input type="text" value="6 000"/>	<input type="text" value="0"/>	December	<input type="text" value="0"/>

Cancel Ok

Рис. 3. Диалоговые окна «Потребитель».

Garage characteristics

Name of garage: ID of garage: 1

Set the garage active

Trucks in order of priority

Priority / ID / Type / Model / Trailer / Year / Number / Volume / Loading time / Activity

```

1 / 1 / Timber Truck / MAZ-63171 / Yes / 2005 / t232g110 / 44 / 20 / Active
2 / 4 / Timber Truck / MAZ-6303 / Yes / 2004 / t234h110 / 43 B / 22 / Active
3 / 3 / Timber Truck / MAZ-6303-26 / Yes / 2004 / t689f110 / 37 S / 17 / Active
4 / 5 / Timber Truck / KAMAZ-44110 / Yes / 2006 / t236h110 / 31 B / 21 / Active
5 / 2 / Timber Truck / KAMAZ-53212 / Yes / 2005 / t551gh10 / 19 A / 15 / Active
6 / 7 / Chips Truck / LT-170 / Yes / 2002 / m641oo10 / 70 / 45 / Active
7 / 6 / Chips Truck / LT-7A / Yes / 2003 / m45r10 / 37 / 40 / Active
    
```

Move up Move down

Add Properties Delete Cancel Ok

Add the truck

Input truck characteristics

Name of garage: Set the truck active

Garage ID: 1 Truck ID: 1 Trailer Type of truck:

Model: Number:

Year: Volume: Average time for loading/unloading, min:

Cancel Ok

Рис. 4. Диалоговые окна «Гараж».

Граф

Перед поиском оптимальных маршрутов, исходный слой дорог должен быть трансформирован в граф. В начале создается слой узлов. Узлы нумеруются и сохраняются в базе данных.

Следующим шагом является создание слоя дуг – каждая дорога трансформируется в несколько взаимосвязанных сегментов. Начальные и конечные точки сегментов совпадают с точечными объектами слоя узлов.

Тип дороги, номер начальной и конечной точек, длина дуги, и расчетное время движения по каждой из дуг вводятся в базу данных. Пользователь должен задать среднюю скорость движения по всем типам дорог для расчета времени движения.

Если пользователю известны специфические свойства секций дорог (их состояние, сложные повороты и другие факторы, влияющие на скорость) они могут быть введены с помощью специального инструмента программы.

Поиск оптимальных маршрутов

Поиск оптимальных маршрутов помогает найти маршрут с наименьшими транспортными затратами. Для этого необходимо задать относительные или абсолютные транспортные затраты и стоимость перевалки на 1 м³ древесины.

Важными элементами для оптимизации являются оценка времени движения и затрат для субъектов логистического управления. Время движения зависит от расстояния и средней скорости движения по дороге при различных условиях. Обычно для проезда доступно несколько путей.

Для поиска оптимальных маршрутов был использован оригинальный эвристический метод, основанный на алгоритме Дикстра [14,15], что позволило учесть все узлы графа на каждом шаге алгоритма.

Все маршруты и их характеристики сохраняются в базе данных и загружаются оттуда при повторяющихся запросах. Это значительно уменьшает время расчетов новых вариантов транспортных планов для одного и того же графа.

Поиск оптимальных транспортных планов

Задача составления транспортного плана не может быть решена в рамках классических подходов [16]. Эта задача может быть классифицирована как «открытая» или «бесконечношаговая». Процесс синтеза транспортного плана для каждого сортиментовоза останавливается и начинается возвращение в гараж при завершении рабочей смены, при недостаточных объемах сортиментов на погрузочных площадках или при выполнении всех обязательств по контрактным поставкам. Для решения этой задачи был разработан оригинальный алгоритм [17-19], основанный на динамическом программировании.

Целевым критерием оптимизации является транспортируемый сортиментовозом за одну смену объем древесины. Общее время движения автомобиля минимизируется в пределах ограниченной смены без учета остановок по причинам, не связанным с технологией. Полученное оптимальное решение непосредственно соответствует максимальному объему вывозки за смену, т.е. наибольшему числу рейсов. В ходе условной оптимизации на каждом шаге динамического программирования в зависимости от того, где на данном шаге находится автомобиль (на лесосеке или у потребителя), либо для каждой лесосеки определяется потребитель, время движения до которого с данной лесосеки минимально, либо для каждого потребителя определяется лесосека, время движения до которой минимально.

В ходе безусловной оптимизации (от конца к началу) определяется транспортный план с максимальным числом рейсов. Если было найдено несколько альтернативных транспортных планов с одинаковым числом рейсов, тогда выбирается план, в котором сортиментовоз возвращается в гараж как можно позднее (максимизируется использование машин).

Если несколько типов сортиментов назначены для вывозки с оптимальной лесосеки оптимальному потребителю, то в этом случае выбирается тип сортиментов с наивысшим приоритетом. Назначение приоритетов для типов сортиментов вынесено в соответствующее диалоговое окно (характеристики лесосеки или потребителя).

Все сортиментовозы включены в списки по гаражам в соответствии с приоритетами пользователя. Назначение приоритетов для автомобилей осуществляется через соответствующее диалоговое окно. Сначала транспортный план рассчитывается для первого автомобиля из списка, затем для второго (для не вывезенной древесины) и т.д. Если есть несколько гаражей, сначала план рассчитывается для всех первых сортиментовозов во всех гаражах. Следующий план рассчитывается для вторых машин во всех гаражах и так далее до тех пор, пока вся древесины не будет вывезена. Результаты сохраняются в файле Microsoft Excel, при этом каждый лист в книге представляет собой транспортный план для всех сортиментовозов одного гаража.

Эффективность транспортных планов

Эффективность разработанной СППР была проверена на примере реального процесса лесозаготовок. Три транспортных плана были сравнены для лесозаготовительной компании, работающей в Республике Карелия. Компания предоставила данные инвентаризации лесов и информацию, характеризующую инфраструктуру. Используя полученные данные, были созданы следующие картографические слои: дороги (5 классов качества), насаждения и лесосеки. Базовый транспортный план (План 1) был составлен традиционным путем без применения разработанной системы. Два других транспортных плана (План 2 и План 3) были составлены с помощью предложенной СППР. Разница между Планом 2 и Планом 3 состояла в том, что в Плане 3 смена водителей сортиментовозов в конце каждой смены проходила на маршруте без возвращения в гараж.

Транспортные планы были составлены для 4 последовательных рабочих дней, по 2 смены каждый, для одинаковых характеристик субъектов логистического управления (лесосек, потребителей, маршрутов, автомобильного парка и т.д.) Рассматривалось 5 сортиментовозов из одного гаража, 4 лесосеки и 4 потребителя (3 лесопильных предприятия и один терминал). Грузоподъемность сортиментовозов в зависимости от модели (Volvo, Scania) была 50–52 м³. В зависимости от лесосеки, выход сортиментов 140–420 м³ с делянки, а фактический вырубаемый объем равнялся 5 000–15 000 м³. Половину вырубаемой древесины составлял хвойный пиловочник, включая 9% мелкотоварного елового пиловочника, 18% – хвойные балансы, 22% – березовые балансы, 10% – дровяная древесина [20].

Сравнение транспортных планов было выполнено с использованием следующих показателей эффективности: общее рабочее время (часов), общий пробег (км), общее число рейсов, общий объем вывезенной древесины (м³), общий пробег с грузом (км), необходимое число автомобилей, коэффициент использования автомобильного парка внутри смены, индекс пробега с грузом, индекс операционной работы (м³/км).

Коэффициент использования автомобильного парка внутри смены имеет несколько иное значение, чем стандартный коэффициент использования автомобильного парка. Этот коэффициент показывает использование автомобилей в течение смены, т.е. насколько эффективно используются сортиментовозы в транспортном плане. Если автомобиль простаивает в течение всего дня, он исключается из расчетов. Наиболее эффективный транспортный план тот, в котором один и тот же объем древесины был вывезен наименьшим числом сортиментовозов, или, наоборот, в котором одним и тем же числом автомобилей был вывезен больший объем древесины. Индекс пробега с грузом отражает отношение пробега с грузом к общему пробегу. Индекс операционной работы показывает, сколько древесины было вывезено на 1 км пробега сортиментовоза.

Результаты

Сравнение между результатами базового плана (План 1) и результатами планов, разработанных с использованием предлагаемой СППР (План 2 и 3) показано в Таблице 1. В кавычках приведено изменение индексов (в процентах по сравнению с Планом 1).

Таблица 1. Сравнение базового транспортного Плана 1 с транспортными Планами 2 и 3, полученными с помощью СППР.

План	Общее рабочее время, ч	Общий пробег, км	Число рейсов	Общий объем, м ³	Общий пробег с грузом, км	Необходимое число автомобилей	Коэффициент использования автомобильного парка	Индекс пробега с грузом	Операционная работа, м ³ /км
1	307	7382	53	2740	2212	5	0,754	0,300	0,371
2	255 (-17%)	7382 (0%)	58 (+9%)	2996 (+9%)	2697 (+22%)	5 (0%)	0,728 (-4%)	0,365 (+22%)	0,406 (+9%)
3	239 (-22%)	5743 (-22%)	58 (+9%)	3000 (+10%)	2872 (+30%)	4 (-20%)	0,895 (+19%)	0,499 (+66%)	0,526 (+42%)

Оптимизация расписания вывозки древесины с использование СППР (План 2) позволила увеличить общий вывезенный объем древесины с 2740 м³ до 2997 м³ (+9%). Общий пробег остался на том же уровне, но общее рабочее время уменьшилось на 17%. Для вывозки потребовалось то же количество автомобилей - 5 сортиментовозов. Коэффициент использования автопарка незначительно снизился на 4%, индекс пробега с грузом увеличился на 22%, а общий объем перевезенной древесины на 1 км пробега увеличился на 9%.

Оптимизация расписания вывозки древесины с использованием СППР (План 3) позволила увеличить общий объем вывезенной древесины с 2740 м³ до 3000 м³ (+10%). Общий пробег снизился с 7382 км до 5743 км (-22%), общее рабочее время сократилось с 307 ч до 234 ч (-22%). Проведенная оптимизация позволила снизить число необходимых для вывозки автомобилей с 5 до 4 сортиментовозов. Коэффициент использования автопарка увеличился на 19%, индекс пробега с грузом увеличился на 30%, а общий объем перевезенной древесины на 1 км увеличился на 42%.

Обсуждение и заключение

Разработанная система поддержки принятия решений может использоваться для планирования и оптимизации транспортировки сортиментов. Для тестирования СППР фактические данные были запрошены у лесозаготовительной компании. После проведения оптимизации различные варианты вывозки древесины были предложены компании и получены отзывы для дальнейшего развития системы.

Тестирование СППР и сравнение альтернативных транспортных планов показало, что эффективность вывозки сортиментов может быть увеличена на 40%. Применение системы позволяет компьютеризировать синтез транспортных планов, что делает возможным разработку нескольких альтернативных вариантов и учет возможных изменений как внутри организации, так и вне ее. Наиболее важным является то, что система позволяет оптимизировать транспортные операции.

Подсистема поиска оптимальных маршрутов движения в некоторых случаях не всегда может найти глобальный оптимум. Однако, тестирование показало, что проблемы возникают

только в случае сложных графов с хаотичной структурой. В действительности сети лесных дорог расположены не случайным образом. Они имеют четкие направления, и поэтому разработанный алгоритм для поиска оптимальных маршрутов может считаться надежным.

Обзор существующих логистических методов и подходов, применяемых в России показал, что лесозаготовительные компании применяют разные подходы. Эти подходы не всегда основываются на экономическом анализе. Более того, принятие решений часто делается без соответствующего обоснования и во много зависит от опыта специалиста по логистике. Такие методы подходят компаниям, которые применяют традиционный хлыстовой метод и располагают одним нижним складом. Введение в практику сортиментного метода требует уделять больше внимания логистике древесины, так как сортименты с лесосек будут вывозиться напрямую к нескольким потребителям, терминалам и железнодорожным станциям. Основанная на геоинформационных технологиях система поддержки принятия решений была разработана для облегчения принятия решений лесозаготовительными компаниями при планировании вывозки, использовании и оптимизации автопарка. Поиск оптимальных маршрутов может использоваться и в других целях, например, для планирования лесных дорог, поставок топлива, транспортировки семян и т.д.

Статья подготовлена при поддержке международного проекта ППС ЕИСП «Карелия» «Новые трансграничные решения в области интенсификации ведения лесного хозяйства и повышения степени использования топливной древесины в энергетике».

Литература

1. Лесозаготовки и логистика в России – в фокусе научные исследования и бизнес-возможности / В. Гольцев, Т. Толонен, В. С. Сютёв, Б. Далин, Ю. Герасимов, С. Карвинен // Труды НИИ леса Финляндии. – Йёнсуу, 2012. – Вып. 221. – 159 с.
2. Northwest Russian forestry in a nutshell / S. Karvinen, E. Väliky, T. Torniainen, Y. Gerasimov. – Joensuu: Finnish Forest Research Institute, 2006. – 98 с.
3. Sikanen L., Asikainen A., Lehtikoinen M. Transport control of forest fuels by fleet manager, mobile terminals and GPS // Biomass and Bioenergy. – 2005. – № 28. – С. 183–191.
4. Andersson G., Flisberg P., Liden B., Rönnqvist M. RuttOpt – A decision support system for routing of logging trucks // Discussion Papers. – Department of Finance and Management Science, Norwegian School of Economics and Business Administration (NHH), 2007. – Вып. 16. – 34 с.
5. Forsberg M., Frisk M., Rönnqvist M. FlowOpt – A Decision Support Tool for Strategic and Tactical Transportation Planning in Forestry // International Journal of Forest Engineering. – 2005. – №16(2). – С. 101–114.
6. Fjeld D., Hedlinger C. The Transport Game – A Tool for Teaching Basics of Transport Decision Proficiency // International Journal of Forest Engineering. – 2005. – № 16(2). – С. 57–64.
7. Uusitalo J. A Framework for CTL Method-Based Wood Procurement Logistics // International Journal of Forest Engineering. – 2005. – № 16(2). – С. 37–46.
8. Hedlinger C., Nilsson B., Fjeld D. Service Divergence In Swedish Roundwood Transport. International Journal of Forest Engineering. – 2005. – № 16(2). – С. 153–166.
9. Helstad K. Managing timber procurement in Nordic purchasing sawmills // Acta Wexionensia. – Växjö University press, 2006. – Вып. 93. – 56 с.
10. Requirements for a vehicle routing and scheduling system in timber transport / I. Karanta, O. Jokinen, T. Mikkola, J. Savola, C. Bounsaythip // Logistics in the forest sector. Helsinki: Timber Logistics Club, 2000. – С. 235–251.
11. Karjalainen T., Mutanen A., Torniainen T., Viitanen J. Changes and Challenges in the Russian Forest Sector // Finnish Forest Sector Economic Outlook. – 2005. С. 50–53.
12. Gerasimov Y., Sokolov A., Karjalainen T. GIS-based decision support program for planning and analysing short-wood transport in Russia // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2008. – № 29(2). – С. 163-175.

13. Соколов А.П., Герасимов Ю.Ю. Методика принятия решений по оптимизации лесозаготовительных планов // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – Вып. 69(5). – С. 320-334.
14. Dijkstra E. A Note on Two Problems in Connexion With Graphs // *Numerische Mathematik*. – 1959. – №1.
15. Benkert M., Wolff A., Widmann F., Shirabe T. The minimum Manhattan network problem: Approximations and exact solutions // *Computational Geometry: Theory and Applications*. – 2006. – Вып. 35(3). – С. 188–208.
16. Андреев В.Н., Герасимов Ю.Ю. Принятие оптимальных решений: теория и применение в лесном комплексе: учебное пособие. – Йоэнсуу, Финляндия, 1999. – 200 с.
17. Sokolov A., Gerasimov Y. Corporative information systems for wood procurement development in Karelia // *Silva Carelica*. – 2004. – № 45. – С. 166–172.
18. Соколов А.П., Герасимов Ю.Ю. Алгоритм синтеза оптимального транспортного плана в системе поддержки принятия решений для лесопромышленного комплекса и биоэнергетики завода // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. – 2010. – Вып. 8. – С. 144-148. – С 2013 г. загл. *Resources and Technology*.
19. Герасимов Ю.Ю., Сюнёв В.С., Соколов А.П. Алгоритмы определения оптимальных маршрутов на графах для решения задач управления системами транспортировки древесины для лесопромышленного комплекса и биоэнергетики // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. – 2010. – Вып. 8. – С. 30-33. – С 2013 г. загл. *Resources and Technology*.
20. Ananalysis of logging companies in the Republic of Karelia / Y. Gerasimov, V. Siounev, P. Chikulaev, V. Pechorin, V. Dyakonov, V. Komkov, L. Sikanen, T. Karjalainen // *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute*, 2005. – Вып. 16. – 39 с.

References

1. Goltsev, V., Tolonen, T., Syunev, V., Dahlin, B., Gerasimov, Y., Karvinen, S. (eds.), 2012: Wood harvesting and logistics in Russia – focus on research and business opportunities. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 221, 159 p.
2. Karvinen, S., Välkky, E., Torniainen, T., Gerasimov, Y., 2006: Northwest Russian forestry in a nutshell. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 30, 98 p.
3. Sikanen, L., Asikainen, A., Lehtikoinen, M., 2005: Transport control of forest fuels by fleet manager, mobile terminals and GPS. *Biomass and Bioenergy* 28: 183–191.
4. Andersson, G., Flisberg, P., Liden, B., Rönnqvist, M., 2007: RuttOpt – A decision support system for routing of logging trucks. *Discussion Papers, Department of Finance and Management Science, Norwegian School of Economics and Business Administration (NHH)*, No 2007/16, 34 p.
5. Forsberg, M., Frisk, M., Rönnqvist, M., 2005: FlowOpt – A Decision Support Tool for Strategic and Tactical Transportation Planning in Forestry. *International Journal of Forest Engineering* 16(2): 101–114.
6. Fjeld, D., Hedlinger, C., 2005: The Transport Game – A Tool for Teaching Basics of Transport Decision Proficiency. *International Journal of Forest Engineering* 16(2): 57–64.
7. Uusitalo, J., 2005: A Framework for CTL Method-Based Wood Procurement Logistics. *International Journal of Forest Engineering* 16(2): 37–46.
8. Hedlinger, C., Nilsson, B., Fjeld, D., 2005: Service Divergence In Swedish Roundwood Transport. *International Journal of Forest Engineering* 16(2): 153–166.
9. Helstad, K., 2006: Managing timber procurement in Nordic purchasing sawmills. *Acta Wexionensia* 93/2006, Växjö University press, 56 p.
10. Karanta, I., Jokinen, O., Mikkola, T., Savola, J., Bounsaythip, C., 2000: Requirements for a vehicle routing and scheduling system in timber transport. In: Sjöström, K. (ed), *Logistics in the forest sector*, Timber Logistics Club, Helsinki, pp. 235–251.
11. Karjalainen, T., Mutanen, A., Torniainen, T., Viitanen, J., 2005: Changes and Challenges in the Russian Forest Sector. *Finnish Forest Sector Economic Outlook 2005*, pp. 50–53.

12. Gerasimov, Y., Sokolov, A., Karjalainen, T., 2008: GIS-based decision support program for planning and analysing short-wood transport in Russia. *Croatian Journal of Forest Engineering* 29(2): 163–175.
13. Sokolov, A., Gerasimov, Y., 2011: Methodology of decision-making for wood harvesting optimization. *Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University* 69(5): 320–334.
14. Dijkstra, E., 1959: A Note on Two Problems in Connexion With Graphs. *Numerische Mathematik* 1: 269–271.
15. Benkert, M., Wolff, A., Widmann, F., Shirabe, T., 2006: The minimum Manhattan network problem: Approximations and exact solutions. *Computational Geometry: Theory and Applications* 35(3): 188–208.
16. Andreev, V., Gerasimov, Y., 1999: *Optimal Decision Making: Theory and Application in Forest Engineering and Forestry*. Joensuu University Press, 200 p.
17. Sokolov, A., Gerasimov, Y., 2004: Corporative information systems for wood procurement development in Karelia. *Silva Carelica* 45: 166–172.
18. Gerasimov, Y., Siounev, V., Sokolov, A., 2010: Algorithms for determining optimal routes on graphs for solving problems of control systems for the transportation of wood harvesting and bioenergy. *Resources and Technology* 8: 30-33.
19. Sokolov, A., Gerasimov, Y., 2010: The synthesis algorithm of optimal transport plan in the decision support system for wood harvesting and bioenergy. *Resources and Technology* 8: 144-148.
20. Gerasimov, Y., Siounev, V., Chikulaev, P., Pechorin, V., Dyakonov, V., Komkov, V., Sikanen, L., Karjalainen, T., 2005: Ananalysis of logging companies in the Republic of Karelia. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 16, 39 p.