

ЮРИЙ ЮРЬЕВИЧ ГЕРАСИМОВ

доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, НИИ леса Финляндии (Йоенсуу, Финляндия)
yuri.gerasimov@metla.fi

ВАСИЛИЙ КУЗЬМИЧ КАТАРОВ

кандидат технических наук, проректор по воспитательной и социальной работе, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
vkatarov@psu.karelia.ru

НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА КОВАЛЁВА

аспирант кафедры тяговых машин лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
natalya.kowalyowa2010@yandex.ru

ДАНИЛА ВЛАДИМИРОВИЧ РОЖИН

кандидат технических наук, преподаватель кафедры промышленного транспорта и геодезии лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
hop@sampo.ru

АНТОН ПАВЛОВИЧ СОКОЛОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры тяговых машин лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
a_sokolov@psu.karelia.ru

ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ СЮНЁВ

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тяговых машин лесоинженерного факультета, проректор по научно-исследовательской работе, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
siounev@psu.karelia.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТИ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ*

Представлена усовершенствованная компьютерная система оптимального проектирования сети лесных автомобильных дорог. Создана новая версия ранее разработанной системы, которая отличается большей степенью пространственной детализации с возможностью ее изменения, а также учетом рельефа местности при проектировании сетей автомобильных лесовозных дорог. Описываются примененные методы и модели, а также приводятся результаты апробации новой версии системы на примере лесосырьевой базы крупного лесозаготовительного предприятия Ленинградской области. Апробация подтвердила полезность проведенной модификации системы, которая позволяет одновременно учитывать большинство из существенно влияющих факторов и выбирать правильные решения. Результаты показали, что в рассматриваемых конкретных условиях применение системы повышает эффективность лесозаготовительного производства в целом, несмотря на некоторое увеличение затрат на строительство дорог.

Ключевые слова: лесозаготовки, сеть лесных дорог, планирование лесных дорог, строительство дорог, объектные пространственные модели, цифровые модели рельефа, географические информационные системы

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших факторов, определяющих эффективность работы лесозаготовительных предприятий, является транспортная доступность лесных участков, на которых ведутся лесозаготовительные и лесохозяйственные работы [2], [3], [11], [12]. В первую очередь она зависит от характеристик имеющейся сети лесных дорог. Плотность сети лесных дорог на северо-западе России низка и варьируется от 1,2 км/1000

га в Республике Коми до 10 км/1000 га в Ленинградской области, тогда как в Финляндии она составляет 12,3 км на одну тыс. га лесных земель [4], [13].

Отсутствие дорог значительно повышает затраты предприятий на заготовку и в определенных случаях делает нерентабельным освоение лесных территорий. Исправить ситуацию возможно только путем постоянного целенаправленного развития дорожной сети. В этом смысле

очень важным является обеспечение эффективного планирования дорожного строительства в тех объемах, которые позволяют сохранить рентабельность предприятия и одновременно создают доступным необходимый объем лесных ресурсов [8], [10].

Для решения этой задачи была разработана компьютерная система оптимального проектирования сети лесных автомобильных дорог. Работа выполнена при поддержке проектов «Новые трансграничные решения в области интенсификации ведения лесного хозяйства и повышения степени использования топливной древесины в энергетике», выполненного в соответствии с программой добрососедства и партнерства KARELIA ENPI CBC как результат многолетнего российско-финского сотрудничества [14], и «Технико-экономическая и экологосоциальная оценка перспективности заготовки древесной биомассы для нужд местной энергетики с использованием логистического подхода и ГИС-технологий», выполненного по заданию Минобрнауки в рамках Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

Рассматриваемая система базируется на ГИС-технологиях, использует для решения задач методы математического программирования и выполняет следующие основные функции, подробно описанные в работах [5], [6], [7]:

- ввод параметров выхода каждого вида продукции по породам, средних цен каждого вида лесоматериалов, параметров модели для расчета транспортных издержек на вывозке древесины, основных параметров проектируемых дорог и величин, необходимых для функционирования блока оптимизации конструкций альтернативных участков лесных дорог;
- редактирование баз данных слоев потребителей и карьеров;
- построение альтернативных участков лесных дорог;
- оптимизация конструкций альтернативных участков лесных дорог;
- оценка альтернативных участков лесных дорог;
- построение тематической карты и определение заданного числа ключевых точек лесосырьевой базы;
- коррекция ключевых точек лесосырьевой базы;
- построение оптимальной сети лесных дорог;
- расчет и вывод общих оценочных параметров найденной оптимальной сети.

На выходе данной системы пользователь получает план сети лесных дорог, который обеспечивает доступ к заданным лесным участкам при условии минимизации затрат на дорожное строительство с учетом характеристик лесных

участков, почвенно-грунтовых условий, расположения и характеристик карьеров, наличия водных преград и других факторов.

Опыт эксплуатации первой версии системы оптимального проектирования сети лесовозных автомобильных дорог позволил выявить ряд ее недостатков и определить пути ее совершенствования.

Первым недостатком системы было признано то, что информация о лесосырьевой базе используется на поквартальном уровне детализации. Это означает, что характеристики древостоев вводятся для каждого квартала и для каждой точки этого квартала считаются. Привязка проектируемой дорожной сети также осуществляется поквартально – к центральным точкам (центроидам) кварталов, которые соединяются между собой так называемыми альтернативными участками дорог – прямыми линиями от центроида данного квартала к центроидам всех соседних кварталов. В дальнейшем из этих альтернативных участков составляется искомая сеть дорог. Достаточно большие размеры кварталов (в Республике Карелия это, как правило, участки 1 × 2 км, в Ленинградской области – 1 × 1 км) приводят к тому, что проектируемая сеть лесных дорог получает довольно грубую пространственную привязку, которая не позволяет учитывать локальные особенности почвенно-грунтовых и гидрографических условий. Такой проект сети лесных дорог в дальнейшем требует достаточно существенного уточнения, что может привести к отклонениям от запланированного уровня эффективности.

Вторым существенным недостатком системы было признано отсутствие учета рельефа местности, в которой проектируются лесные дороги.

При подготовке новой версии системы оптимального проектирования сети лесных автомобильных дорог в нее был внесен ряд изменений, позволяющих исправить отмеченные недостатки. Данная статья посвящена описанию модифицированной системы, также в ней приведены результаты апробации новой версии программы в условиях лесозаготовительной компании, находящейся в Ленинградской области.

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ

Для устранения влияния размеров и конфигурации лесной квартальной сети на результаты работы системы оптимального проектирования сети лесных автомобильных дорог было предложено перейти к использованию регулярной сети одинаковых по размеру квадратных участков, размер которых может регулироваться пользователем. Эта сеть создается системой и равномерно покрывает всю территорию рассматриваемой лесосырьевой базы. В дальнейшем эти квадратные участки используются системой так же, как раньше использовались кварталы. Это не

требует кардинальных изменений в самой методике, заложенной в систему.

Преимущества использования сети таких участков заключаются, во-первых, в ее регулярности, тогда как кварталы могли иметь самую непредсказуемую форму и размеры, что накладывало свой отпечаток и на конфигурацию получаемой в конечном итоге сети лесных дорог.

Во-вторых, в этом случае пользователь может сам задавать шаг сети, то есть размер этих элементарных регулярных участков, в зависимости от требуемой степени детализации. Повышение степени детализации, конечно же, существенно увеличивает время, требуемое на осуществление расчетов.

В-третьих, благодаря специальной методике пересчета характеристик древостоя, применение регулярной сети элементарных участков дает возможность использовать данные о лесосырьевой базе как поквартального, так и повыдельного уровня детализации. Использование информации в разрезе выделов значительно повышает точность оценки перспективности заготовки на лесном участке лесосырьевой базы любого размера.

В новой версии системы реализован инструмент, который позволяет пользователю выбирать один из трех возможных вариантов шага регулярной сети элементарных участков: 500, 750 и 1000 м.

При этом запас древесины (по породам), доступной в каждом элементарном участке регулярной сети, определяется как сумма произведений объемов в каждом участке лесосырьевой базы (квартале или выделе), полностью или частично попавшем на территорию этого элементарного участка, на долю площади участка лесосырьевой базы, попавшей на территорию элементарного участка:

$$V = \sum_{i=1}^n \left(V_i \cdot \frac{S_{ni}}{S_i} \right),$$

где n – число участков лесосырьевой базы (кварталов или выделов), полностью или частично попавших на территорию элементарного участка регулярной сети; V_i – объем древесины в i -м участке лесосырьевой базы; S_{ni} – площадь перекрытия i -го участка лесосырьевой базы и элементарного участка регулярной сети; S_i – площадь i -го участка лесосырьевой базы.

Учет рельефа местности системой базируется на утверждении, что при прочих равных условиях строительство дороги в ситуации со сложным рельефом сопряжено с большей величиной затрат, чем такое же строительство в условиях равнинной местности. Степень увеличения затрат было предложено оценивать с помощью так называемого коэффициента удлинения дорожного участка, значение которого увеличивается с увеличением уклона местности [1], [9]:

$$m = \frac{L_\phi}{L_e},$$

где L_ϕ – фактическая длина участка дороги; L_e – длина участка дороги по прямой линии.

Значения коэффициента удлинения принимаются в соответствии с табл. 1 [1], [9].

Таблица 1
Ориентировочные значения коэффициента удлинения трассы в зависимости от категории сложности рельефа

Категория рельефа	Рельеф (тип рельефа местности)	Наибольший уклон поверхности земли	Коэффициент удлинения трассы
1	Равнинный	1:15 (67 %)	1,1
2	Слабохолмистый	1:10 (100 %)	1,1–1,15
3	Холмистый (сильнопересеченный)	1:5 (200 %)	1,15–1,25
4	Гористый	1:3 (333 %)	1,25–1,40
5	Горный	Больше, чем 1:3 (>333 %)	1,5

В системе коэффициенты удлинения определяются для каждого альтернативного участка дорог (от центрида каждого элементарного участка до центридов всех соседних элементарных участков). Для этого сначала определяется высотное положение начала и конца альтернативного участка дороги, затем вычисляется уклон и по табл. 1 принимается коэффициент удлинения. Уклон ($\operatorname{tg} \alpha = i$) вычисляется по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha = i = \frac{h}{d} = \frac{H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}}{d}, \text{ доли единицы},$$

где h – превышение одной точки над другой (высшей над низшей), м; $H_{\text{кон}}$, $H_{\text{нач}}$ – проектные отметки конечной и начальной точек участка, м; d – горизонтальное проложение участка, м.

Для определения проектных отметок начала и конца участков дорог используется цифровая модель рельефа – тематическое растровое изображение с шагом 200 м, значение каждого пикселя которого представляет собой высоту соответствующей точки рельефа.

Для построения модели рельефа используется стандартный инструмент ГИС MapInfo, на которой базируется вся система. Инструмент задействуется автоматически при работе исполняемого модуля системы, написанного на языке MapBasic.

Исходными данными для построения цифровой модели рельефа служат координаты и высоты задаваемых пользователем точек. Точки задаются пользователем на отдельном слое ГИС MapInfo. В базу данных этого слоя заносятся высоты этих точек. Чем больше таких точек будет использовано, тем точнее будет модель рельефа.

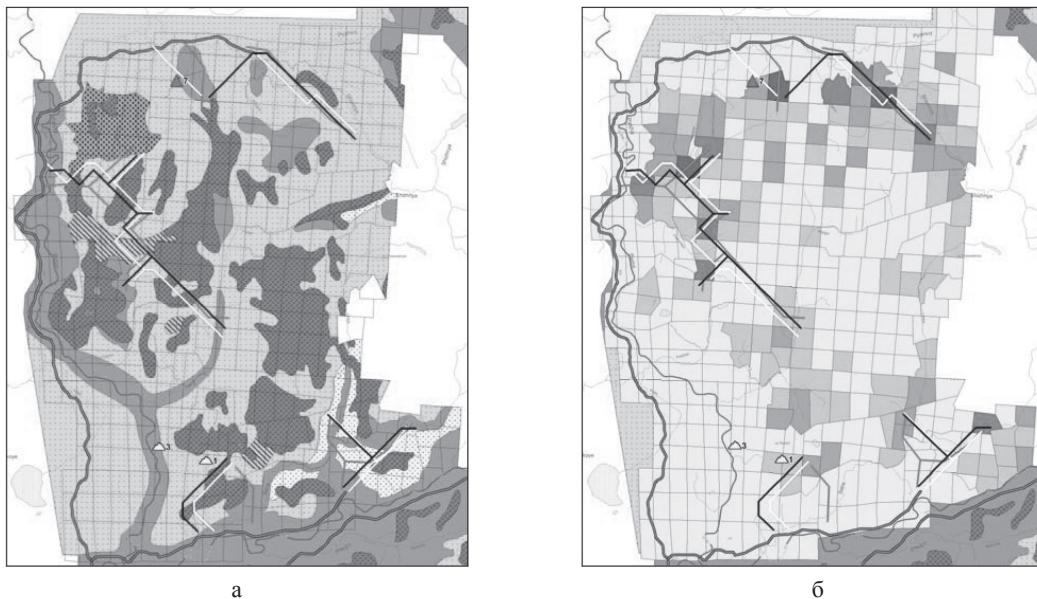


Рис 1. Проектные сети дорог: а – на карте грунтов; б – на тематической карте древостоев (чем темнее цвет, тем больше запас древесины). Серая линия – вариант 1; черная линия – варианты 2 и 3; белая линия – варианты 4 и 5; – песчано-гравийные; – валунные пески; – супеси; – суглинки; – валунные суглинки

РЕЗУЛЬТАТЫ

Апробация новой версии системы оптимального проектирования сети лесных автомобильных дорог была выполнена на примере части лесосырьевой базы крупного лесозаготовительного предприятия Ленинградской области. Данное предприятие работает в достаточно сложных с точки зрения дорожного строительства условиях. Суглинистые почвы, большое число болот и торфяников, а также рек существенно увеличивают затраты, связанные с дорожным строительством.

Была собрана и введена в систему вся необходимая информация о рассматриваемой лесосырьевой базе, природно-производственных и экономических факторах. В первую очередь это картографические слои квартальной сети, древостоев, почв, гидрографии, высотных отметок рельефа, существующих дорог, карьеров и потребителей продукции лесозаготовок в формате MapInfo. Базы данных этих слоев содержат всю необходимую информацию о параметрах древостоев, высотах

точек, виде и стоимости доступных в каждом карьере материалов, закупаемых потребителями видах лесоматериалов. Кроме того, в систему были введены цены на все виды лесоматериалов и тарифы на их перевозку. Было учтено, что рассматриваемое предприятие на момент сбора информации использовало традиционные российские методы дорожного строительства.

На первом этапе сравнивались 5 вариантов дорожных сетей, первый из которых был построен с помощью старой версии системы (с по-квартальной детализацией). Остальные 4 варианта использовали новую версию. Варианты 2 и 3 – с детализацией 750 м: 2 – без учета рельефа местности, 3 – с учетом рельефа. Варианты 4 и 5 – с детализацией 500 м: 4 – без учета рельефа, 5 – с его учетом. Полученные результаты приведены на рис. 1 и в табл. 2.

Учет рельефа местности не привел к изменению конфигурации сети дорог ни при детализации 750 м, ни при детализации 500 м, поэтому на рис. 1 приведены только 3 варианта сетей.

Таблица 2

Сравнительные характеристики 5 вариантов дорожных сетей

Вариант	Число элементарных участков, кварталов	Общая протяженность дорог, км	Затраты, млн руб.	Затраты на 1 км, млн руб.	Доступный объем, тыс. куб. м	Число километров на 1 доступную тыс. куб. м, км	Затраты на 1 доступную тыс. куб. м, млн руб.
1. Исходный	429	42,1	117	2,78	427,5	0,098	0,274
2. 750 м	977	43	134,4	3,12	527,9	0,081	0,255
3. 750 м с рельефом	977	47,3	148	3,13	527,9	0,090	0,280
4. 500 м	2185	42,9	140,4	3,27	587,2	0,073	0,239
5. 500 м с рельефом	2185	47,2	154,4	3,27	587,2	0,080	0,263

Сети по вариантам 2 и 3, а также по вариантам 4 и 5 полностью совпали. Было сделано предположение о том, что это связано с исключительно равнинным рельефом на рассматриваемой территории. Учет рельефа повлиял на увеличение объемов дорожного строительства и соответственно привел к удорожанию строительства и ухудшил показатели эффективности. Это можно заметить, анализируя табл. 2.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, позволяет сделать вывод о том, что увеличение степени детализации в целом положительно сказывается на качестве получаемого проекта дорожной сети. Это связано в основном с ростом запаса древесины, который становится доступным в случае реализации проекта. Причем этот рост идет быстрее, чем рост протяженности сети дорог. Так, в исходном варианте, при использовании лесных кварталов в качестве элементарных участков, для получения доступа к одной дополнительной тыс. куб. м. древесины необходимо построить в среднем 98 м дорог, при использовании детализации 750 м этот показатель равняется 81 м без учета рельефа и 90 м с учетом рельефа, при 500-метровой детализации – 73 и 80 м соответственно.

Такая же ситуация наблюдается и со средними затратами на получение доступа к одной дополнительной тыс. куб. м древесины. В исходном варианте это 274 тыс. руб., при детализации 750 м – 255/280 тыс. руб., при детализации 500 м – 239/263 тыс. руб. (здесь в числителе – значение без учета рельефа, в знаменателе – с учетом рельефа).

Такой результат достигается за счет возможности более гибко располагать трассы дорог с тем, чтобы они прошли через наиболее пер-

спективные с точки зрения заготовки участки. Проведенное сравнение показало, что в рассмотренных условиях этот фактор является превалирующим. Даже при некотором увеличении затрат на строительство в условиях менее благоприятных почв и рельефа достигается больший эффект за счет значительно лучших параметров древостоев, через которые проходят дороги. Затраты на строительство 1 км дорог растут с 2,78 млн руб. в исходном варианте через значение 3,12/3,13 при детализации 750 м до 3,27 млн руб. на 1 км при детализации 500 м.

Это подтверждает полезность проведенной модификации системы, которая позволяет одновременно учитывать большинство из существенно влияющих факторов и выбирать правильные решения. В нашем случае такое решение связано с допущением некоторого увеличения затрат на строительство дорог, так как в конечном итоге это позволит повысить эффективность лесозаготовительного производства в целом.

Для уточнения степени влияния рельефа местности на размещение дорожной сети была выполнена еще одна серия экспериментов. При этом использовались те же исходные данные, что и в предыдущем случае, однако для ускорения расчетов во внимание принимался меньший участок лесосырьевой базы. Для оценки влияния более пересеченного рельефа в слой точек была искусственно добавлена локальная возвышенность высотой 330 м, которой на самом деле в этом месте не имеется. Далее с помощью системы оптимального проектирования сети лесовозных автомобильных дорог были построены все 6 вариантов сетей, которые позволяет строить эта система. Результаты представлены на рис. 2 и в табл. 3.

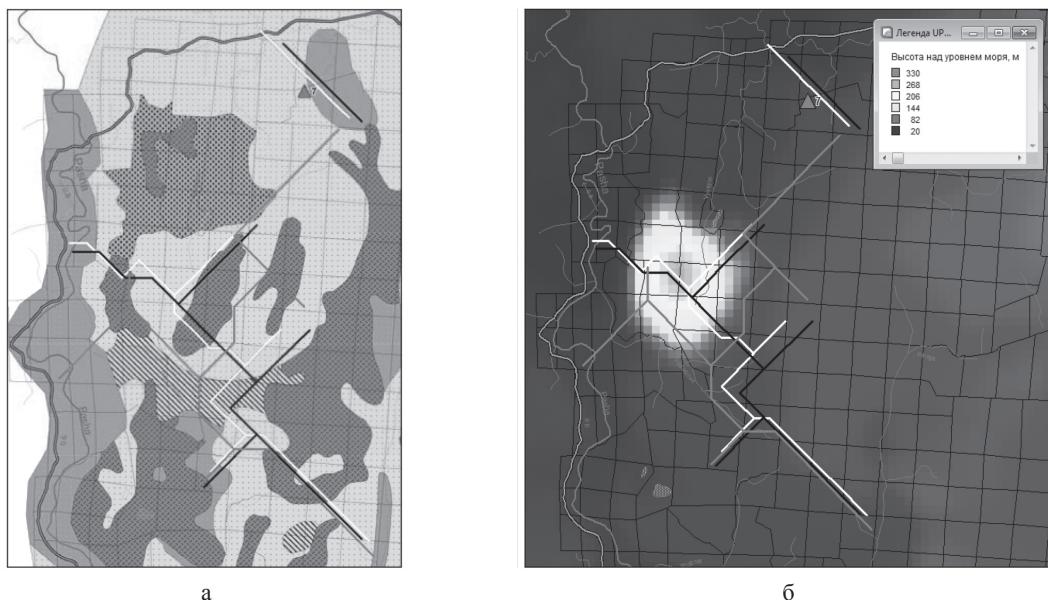


Рис. 2. Проектные сети дорог: а – на карте грунтов; б – на тематическом растре цифровой модели рельефа.
Серая линия – варианты 1 и 2; черная линия – варианты 3 и 4; белая линия – варианты 5 и 6; – пески;
– песчано-гравийные; – валунные пески; – супеси; – суглинки; – валунные суглинки

Сравнительные характеристики 6 вариантов дорожных сетей

Таблица 3

Вариант	Число элементарных участков	Общая протяженность дорог, км	Затраты, млн руб.	Затраты на 1 км, млн руб.	Доступный объем, тыс. куб. м	Число километров на 1 доступную тыс. куб. м, км	Затраты на 1 доступную тыс. куб. м, млн руб.
1. 1000 м	246	26,7	117,6	4,41	454,4	0,059	0,259
2. 1000 м с рельефом	246	29,5	129,6	4,39	454,4	0,065	0,285
3. 750 м	441	23,7	101,1	4,27	435,4	0,054	0,232
4. 750 м с рельефом	441	26,1	112,0	4,29	437,9	0,060	0,256
5. 500 м	997	23,0	91,1	3,97	435,4	0,053	0,209
6. 500 м с рельефом	997	26,5	102,3	3,86	450,3	0,059	0,227

Как и в предыдущем случае, сети дорог с учетом рельефа и без его учета практически совпали при всех уровнях детализации. Незначительные отличия наблюдались при использовании уровней детализации 750 и 500 м, однако на территории искусственной возвышенности трассы дорог полностью совпали. Более того, при высокой степени детализации система предлагает прокладывать дорогу практически прямо через вершину.

Более детальный разбор этой ситуации показал, что увеличение затрат при необходимости строить дорогу на заболоченной местности является намного более существенным, чем при необходимости пересечь холм. Кроме того, в нашем случае расположение перспективных для заготовки участков также было приурочено к этому холму.

Действительно, в соответствии с принятой классификацией даже такой сравнительно высокий холм в основном подпадает под характеристику «слабохолмистый рельеф». Только один небольшой участок дороги (длиной около 700 м) был охарактеризован как участок в условиях

холмистого рельефа, а это повышает затраты на строительство дороги всего на 13–20%, тогда как строительство на болоте требует в разы больших затрат. Таким образом, изменения трасс дорог следуют ожидать в основном в условиях гористого и горного рельефа.

Общая эффективность сети дорог, как и в предыдущем случае, улучшается при увеличении степени детализации (см. табл. 3).

ВЫВОДЫ

Новая версия системы оптимального проектирования сети лесовозных автомобильных дорог за счет увеличения степени детализации и учета большего числа влияющих факторов позволяет на более высоком уровне эффективности обеспечить поддержку принятия решений по планированию транспортного освоения лесосырьевых баз. Учет рельефа местности, реализованный в новой версии системы, позволяет использовать ее не только в условиях равнинного и слабохолмистого рельефа, но и в условиях любого другого типа местности.

* Работа выполнена при поддержке проектов «Новые трансграничные решения в области интенсификации ведения лесного хозяйства и повышения степени использования топливной древесины в энергетике», выполняемого в соответствии с программой добрососедства и партнерства KARELIA ENPI CBC, и «Технико-экономическая и экологосоциальная оценка перспективности заготовки древесной биомассы для нужд местной энергетики с использованием логистического подхода и ГИС-технологий», выполняемого по заданию Минобрнауки в рамках Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булдаков С. И. Проектирование основных элементов автомобильной дороги: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2005. 311 с.
2. Буторин Н. Н. Транспортная сеть для освоения лесного массива // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2003. № 6. С. 40–45.
3. Герасимов Ю. Ю. Анализ развития лесозаготовок на северо-западе России // Лес и бизнес. 2007. № 3. С. 58.
4. Герасимов Ю. Ю., Сюнёв В. С., Соколов А. П., Катаров В. К. Развитие транспортной инфраструктуры лесной отрасли – опыт Финляндии // Транспортное дело России. 2009. № 7 (68). С. 99–102.
5. Герасимов Ю. Ю., Соколов А. П., Катаров В. К. Разработка системы оптимального проектирования сети лесовозных автомобильных дорог // Информационные технологии. 2011. № 1 (68). С. 39–43.
6. Давыдков Д. Г., Рожин Д. В., Соколов А. П., Сюнёв В. С. Система оптимального проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом динамики лесосырьевой базы // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2013. № 4 (133). С. 69–74.
7. Катаров В. К., Рожин Д. В., Туюнен М. В., Редозубов И. В. Расчет стоимости строительства альтернативных участков лесовозных дорог // Транспортное дело России. 2010. № 2. С. 106–111.
8. Рябова О. В., Скрыпников А. В. Оценка транспортно-эксплуатационных характеристик сложных участков плана и продольного профиля с переходными режимами движения потока // Resources and Technology. 2008. № 7. С. 102–103.

9. Салминен Э.О. Лесные дороги: Справочник. СПб.: Лань, 2012. 496 с.
10. Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Баклагин В.Н. Обоснование оптимальных планов заготовки и вывозки леса // Resources and Technology. 2012. № 9 (1). С. 47–49.
11. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Кузнецов А.В. Минимизация затрат при строительстве усов с покрытием из древесных отходов // Перспективы науки. 2012. № 28. С. 103–106.
12. Шегельман И.Р., Щукин П.О., Петухов Р.А. Ресурсный подход к развитию региональной сети лесовозных дорог // Перспективы науки. 2011. № 26. С. 188–191.
13. Intensification of forest management and improvement of wood harvesting in Northwest Russia – Final report of the research project. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute; Karjalainen T., Leinonen T., Gerasimov Y., Husso M. & Karvinen S. (eds.). 110. Joensuu, 2009. 151 p.
14. Leinonen T., Honkanen A. CONIFER – Connecting Finnish-Russian Forest Sector Expertise // Resources and Technology. 2013. № 10 (1). С. 39–43.

Gerasimov Yu. Yu., Finnish Forest Research Institute (Joensuu, Finland)

Katarov V. K., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Kovaleva N. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Rozhin D. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Sokolov A. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Syuney V. S., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

IMPROVEMENT OF LOGISTIC SYSTEM FOR OPTIMAL ROADS' CONSTRUCTION AND FOREST ROADS' NETWORK PLANNING

Results of the improvement of the logistic system for optimal roads' construction and forest roads' network planning are described in the article. A new version of the previously developed system is created. The system is characterized by a greater degree of spatial accuracy with subsequent possibility for change. The new version takes into account a relief of the environment. This consideration is essential when designing effective network of forest roads. The methods and models, as well as the results of testing of the new system are described. Experimental results confirmed usefulness of the modified system, which takes into account the most significant factors affecting the complex. The model is also instrumental in choosing the right solutions. In these specific circumstances, the use of the modified system significantly increases efficiency of the wood harvesting industry as a whole, despite a slight increase in the cost of road construction.

Key words: wood harvesting, forest road network planning, forest road construction, spatial models, digital terrain models, geographical informational systems

REFERENCES

1. Buldakov S. I. *Proektirovaniye osnovnykh elementov avtomobil'noy dorogi* [Design of the main elements of the road: a training manual]. Ekaterinburg: UGTU Publ., 2005. 311 p.
2. Butorin N. N. The transport network for the forest resources use [Transportnaya set' dlya osvoeniya lesnogo massiva]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal.* 2003. № 6. P. 40–45.
3. Gerasimov Yu. Yu. An analysis of wood harvesting in northwest Russia [Analiz razvitiya lesozagotovok na severozapade Rossii]. *Les i biznes.* 2007. № 3. P. 58.
4. Gerasimov Yu. Yu., Syuney V. S., Sokolov A. P., Katarov V. K. The development of forest industry transport infrastructure – the experience of Finland [Razvitiye transportnoy infrastruktury lesnoy otrassli – opty Finlyandii]. *Transportnoe delo Rossii.* 2009. № 7 (68). P. 99–102.
5. Gerasimov Yu. Yu., Sokolov A. P., Katarov V. K. Development of a logistic system for optimal roads construction and planning of forest road net [Razrabotka sistemy optimal'nogo proektirovaniya seti lesovoznykh avtomobil'nykh dorog]. *Informatsionnye tekhnologii.* 2011. № 1 (68). P. 39–43.
6. Davydov D. G., Rozhin D. V., Sokolov A. P., Syuney V. S. The system for optimal roads construction taking into account the dynamics of forest stands [Sistema optimal'nogo proektirovaniya lesovoznykh dorog]. *Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences.* 2013. № 4 (133). P. 69–74.
7. Katarov V. K., Rozhin D. V., Tuyunen M. V., Redozubov I. V. The cost calculating of forest roads alternative sections construction [Raschet stoimosti stroitel'stva alternativnykh uchastkov lesovoznykh dorog]. *Transportnoe delo Rossii.* 2010. № 2. P. 106–111.
8. Ryabova O. V., Skrypnikov A. V. Estimation of road service qualities under conditions of movement transitive modes [Otsenka transportno-ekspluatatsionnykh kharakteristik slozhnykh uchastkov plana i prodol'nogo profilya s perekhodnymi rezhimami dvizheniya potoka]. *Resources and Technology.* 2008. № 7. С. 102–103.
9. Salminen E. O. *Lesnye dorogi. Spravochnik* [Forest roads. Handbook]. Saint Petersburg, Lan' Publ., 2012. 496 p.
10. Skrypnik V. I., Kuznetsov A. V., Baklagin V. N. Feasibility of wood harvesting and hauling processes planning [Obosnovanie optimal'nykh planov zagotovki i vyzozki lesa]. *Resources and Technology.* 2012. № 9 (1). С. 47–49.
11. Shegelman I. R., Skrypnik V. I., Kuznetsov A. V. Minimizing of construction cost for forest roads with pavement of logging residues [Minimizatsiya zatrata pri stroitel'stve usov s pokrytiem iz drevesnykh otkhodov]. *Perspektivy nauki.* 2012. № 28. P. 103–106.
12. Shegelman I. R., Shchukin P. O., Petukhov R. A. Resource-based approach to the development of a regional forest roads network [Resursnyy podkhod k razvitiyu regional'noy seti lesovoznykh dorog]. *Perspektivy nauki.* 2011. № 26. P. 188–191.
13. Intensification of forest management and improvement of wood harvesting in Northwest Russia – Final report of the research project. Metlan työraportteja. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute*; Karjalainen T., Leinonen T., Gerasimov Y., Husso M. & Karvinen S. (eds.). 110. Joensuu, 2009. 151 p.
14. Leinonen T., Honkanen A. CONIFER – Connecting Finnish-Russian Forest Sector Expertise. *Resources and Technology.* 2013. № 10 (1). С. 39–43.