

**АНТОН ПАВЛОВИЧ СОКОЛОВ**

кандидат технических наук, доцент кафедры тяговых машин лесоинженерного факультета ПетрГУ  
*a\_sokolov@psu.karelia.ru*

**ЮРИЙ ЮРЬЕВИЧ ГЕРАСИМОВ**

доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник НИИ леса Финляндии, г. Йоэнсуу  
*yuri.gerasimov@metla.fi*

**АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ СЕЛИВЕРСТОВ**

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры тяговых машин лесоинженерного факультета ПетрГУ  
*saa.pk@onego.ru*

**МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ПАРКА АВТОМОБИЛЕЙ НА ВЫВОЗКЕ СОРТИМЕНТОВ  
НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ ГИС**

В статье описывается методика обоснования парка лесовозных автомобилей на вывозке сортиментов, базирующаяся на использовании компьютерного имитационного моделирования, математического программирования и геоинформационных систем.

Ключевые слова: лесозаготовительные предприятия, вывозка древесины, лесовозный автомобиль, сортиментная заготовка древесины, транспортный план

В условиях действующих производственно-экономических и природно-климатических реалий, которые в числе прочего характеризуются проблемами со сбытом лиственных лесоматериалов, неадекватным ростом издержек по отношению к цене, неразвитостью транспортной инфраструктуры, теплыми зимами, мягкими почвогрунтами, высокой долей лиственных насаждений, практика планирования лесозаготовительной деятельности все более настойчиво ставит вопрос о необходимости оптимизации производственных программ лесных предприятий. Следовательно, необходимо иметь научно обоснованные методы как формирования производственных мощностей по заготовке и вывозке, так и их оптимизации и синхронизации. Решение данной проблемы будет способствовать повышению эффективности производственно-хозяйственной деятельности лесозаготовительных предприятий, так как принятие оптимальной производственной программы, сбалансированной по производственным мощностям с расчетной лесосекой, является важнейшим показателем обеспечения ее реализуемости.

Одной из важных задач организации эффективного функционирования лесозаготовительного производства по сортиментной технологии, требующих научной поддержки в принятии решений, является синхронизация соотношения производственных мощностей на заготовке и на вывозке древесины в течение всего календарного года с учетом фактора сезонности. Данная задача сводится к отысканию оптимальных параметров парка лесовозных автомобилей (автомобилей-сортиментовозов) как по числу, так и по номенклатуре, что обеспечило бы выполнение производственной программы предприятия на определенный срок наиболее эффективным способом при заданных производственных мощностях на заготовке, плане освоения лесосек и характеристиках лесосырьевой базы.

Искомое число и модели применяемых автомобилей-сортиментовозов в этом случае зависят от большого числа различных факторов, основными из которых следует считать: применяемые системы лесосечных машин, количество и достигнутая производительность лесозаготовитель-

ных бригад, характеристики и пространственное распределение планируемых к освоению лесосек, последовательность освоения лесосек, распределение лесозаготовительных бригад по лесосекам, плотность и состояние дорожной сети, характеристики и пространственное распределение потребителей продукции лесозаготовок.

Ключевой особенностью решаемой задачи является тот факт, что большинство величин, в конечном итоге определяющих принимаемые решения, не являются постоянными, а изменяются во времени. Различные природно-производственные условия на разных лесосеках определяют изменения в производительности систем лесосечных машин, изменяется соотношение объемов различных видов производимой на лесосеках продукции (сортиментов). Переходы бригад с одних лесосек на другие изменяют расстояния транспортировки и, соответственно, затрачиваемое на это время. Таким образом, становится необходимой корректировка сменных заданий на вывозке, что, в свою очередь, влияет на соответствующие производственные мощности. Это приводит к тому, что, используя простые аналитические расчеты, приходится делать целый ряд допущений, и в результате определяемые параметры парка автомобилей на вывозке не всегда точно соответствуют оптимальному решению.

С нашей точки зрения, можно снизить вероятность ошибки и повысить эффективность принимаемых решений, если попытаться учесть динамику изменения входных параметров, используя для этого инструменты имитационного моделирования. В целях решения поставленной задачи была разработана методика, базирующаяся на применении географической информационной системы (ГИС) и методов имитационного моделирования и оптимизации.

Моделирование было решено выполнять в среде ГИС MapInfo. Основу модели составляют слои ГИС, описывающие лесосырьевую базу предприятия (кварталы и лесосеки) и дорожную сеть с подразделением дорог по типам (рис. 1). При этом в модель были включены лесосеки, представляющие собой производственную программу рассматриваемого предприятия на срок планирования. В соответствующую базу данных вносятся все необходимые характеристики лесосек: породный состав, запас по породам и т. п.

Дальнейшее моделирование выполняется с помощью инструментов программы Forest Transport Logistics (рис. 2). Специализированное программное обеспечение для оптимизации транспортных планов на вывозке лесоматериалов Wood Transport Logistics было разработано ранее для решения задачи оперативного управления парком автомобилей-сортиментовозов [1], [2], [3], [4], [5]. В программе должно быть задано местоположение погрузочных площадок для всех лесосек, зафиксированы объемы и номенклатура всех видов сортиментов на каждой из них. В систему вводятся параметры всех заготовительных подразделений

(комплексов лесозаготовительных машин) и годовая последовательность переходов каждого комплекса с лесосеки на лесосеку. Задаются местоположение потребителей продукции, номенклатура потребляемых сортиментов для каждого из них и ежемесячные потребности. Вводятся местоположение гаража и исходные технико-производственные характеристики парка автомобилей. Наконец, в системе фиксируются параметры всех участков дорог, включая среднюю скорость движения по каждому из них.

Система Forest Transport Logistic позволяет оптимизировать транспортные планы на вывозке сортиментов путем отыскания таких вариантов сменных заданий для каждого привлеченного автомобиля, при реализации которых перевезенный объем продукции был бы наибольшим. Система определяет оптимальные маршруты и последовательность движения каждого автомобиля между лесосеками, потребителями и гаражом для каждой рабочей смены рассматриваемого периода [2], [4].



Рис. 1. Лесосырьевая база

По завершении работы система выдает транспортный план в виде сменных заданий для каждого автомобиля [2]. Кроме того, системой определяются сравнительные показатели, благодаря которым можно оценить степень влияния различных изменений в начальных условиях на эффективность работы. Другими словами, можно сгенерировать несколько альтернативных транспортных планов, варьируя входные величины (например, число и грузоподъемность автомобилей, число и производительность лесозаготовительных комплексов, порядок разработки лесосек и др.). Далее полученные альтернативы подлежат сравнению по значениям вычисляемых показателей эффективности, и по результатам этого сравнения выбирается наилучший вариант.

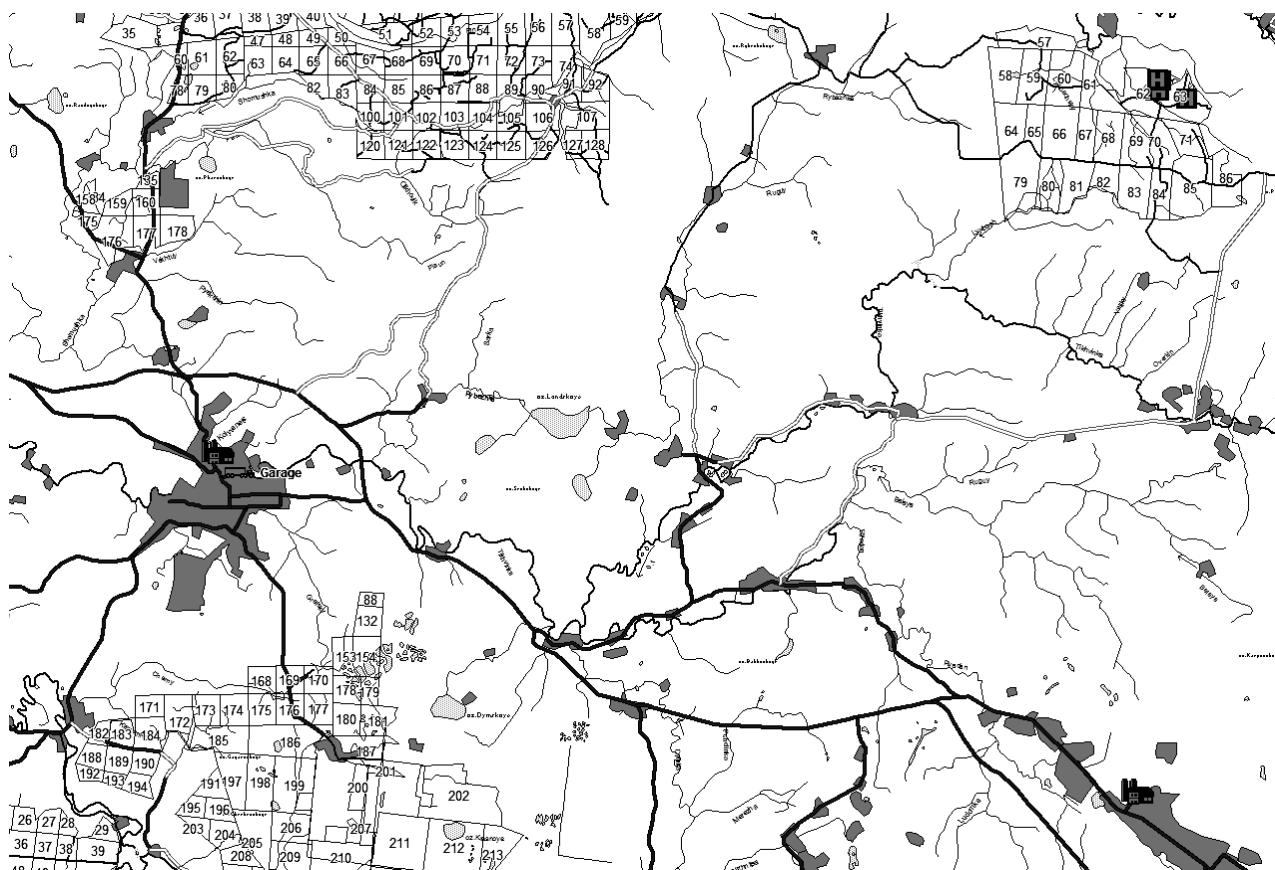


Рис. 2. Фрагмент объектной модели в среде системы Forest Transport Logistic

■ — лесосека; 🏠 — потребитель; 🚗 — гараж

Для более полного обоснования предлагаемых решений было решено существенно расширить число рассчитываемых системой сравнительных показателей. В конечном итоге их число стало равняться 14. Соответственно, в программное обеспечение были внесены необходимые изменения и дополнения, реализующие расчет указанных 14 сравнительных показателей. Состав показателей следующий:

1. Общее число часов, отработанных автомобилями.
2. Общий простой автомобилей, привлеченных к работе в данный период, ч.
3. Общий простой всех автомобилей, включая незанятые в данном периоде, ч.
4. Общий пробег всех автомобилей, км.
5. Общее число выполненных рейсов.
6. Суммарный перевезенный объем лесоматериалов, м<sup>3</sup>.
7. Суммарный пробег с грузом, км.
8. Число занятых автомобилей.
9. Коэффициент использования занятых автомобилей:

$$k_u = \frac{t_p}{t_{\text{сум}} \cdot n},$$

где  $t_p$  – суммарное время работы автомобилей в периоде планирования, ч;  $t_{\text{сум}}$  – суммарная про-

должительность рабочего времени в периоде планирования, ч;  $n$  – число автомобилей, занятых в периоде планирования.

10. Коэффициент использования пробега:

$$k_n = \frac{l_{\text{груз}}}{L},$$

где  $l_{\text{груз}}$  – суммарный пробег с грузом, км;  $L$  – общий суммарный пробег, км.

11. Объем перевезенных лесоматериалов на единицу пробега, м<sup>3</sup>/км:

$$q_{\text{отн}} = \frac{Q}{L},$$

где  $Q$  – суммарный перевезенный объем лесоматериалов, м<sup>3</sup>.

12. Суммарный остаток на погрузочных площадках, м<sup>3</sup>.
13. Суммарный заготовленный объем, м<sup>3</sup>.
14. Степень завершения вывозки:

$$q_6 = \frac{Q_{\text{заг}}}{Q},$$

где  $Q_{\text{заг}}$  – суммарный заготовленный объем лесоматериалов, м<sup>3</sup>.

Для практической проверки предлагаемой методики была предпринята попытка ее применения в целях определения оптимального числа и характеристик автомобилей-сортиментовозов на одном из

лесозаготовительных предприятий Северо-Запада РФ с расчетной лесосекой около 150 тыс. м<sup>3</sup>. При этом в качестве периода планирования был принят один календарный год. Для освоения расчетной лесосеки предприятие располагает тремя комплексами лесосечных машин для сортиментной заготовки (харвестер + форвардер). Автомобили-сортиментовозы привлекаются от сторонних подрядчиков, поэтому здесь довольно остро стоит вопрос о требуемом числе и параметрах привлекаемых автомобилей и контроле за тарифами по перевозке. С одной стороны, автомобилей должно быть достаточно для бесперебойной и полной вывозки всех заготовленных лесоматериалов. С другой стороны, нельзя допустить простоя автомобилей, если их окажется больше, чем необходимо.

Таким образом, было выполнено имитационное моделирование функционирования системы заготовка – вывозка в условиях рассмотренного предприятия в течение одного календарного года для четырех вариантов формирования парка автомобилей-сортиментовозов. Первые три варианта отличались только числом автомобилей, привлекаемых к вывозке, а четвертый

отличался от третьего составом привлекаемых автомобилей. Все остальные параметры оставались неизменными. В качестве основной модели автомобиля-сортиментовоза рассматривался автомобиль импортного производства большой грузоподъемности SISU-E14. Объем, перевозимый автомобилем за один рейс, с учетом прицепа был принят равным 52 м<sup>3</sup>.

В первую очередь были проанализированы варианты с использованием двух, трех и четырех автомобилей с указанными выше характеристиками. По результатам этого анализа было предложено проверить еще один вариант, при котором один из четырех автомобилей большой грузоподъемности заменялся на отечественный автомобиль КамАЗ средней грузоподъемности. Результаты моделирования в форме графиков, показывающих изменение некоторых сравнительных показателей по дням года, представлены на рис. 3.

Все показатели фиксировались в базе данных посуточно, а в конце моделирования были определены обобщенные показатели для каждого квартала и для года в целом. Основные годовые и поквартальные результаты приведены на рис. 4–9.

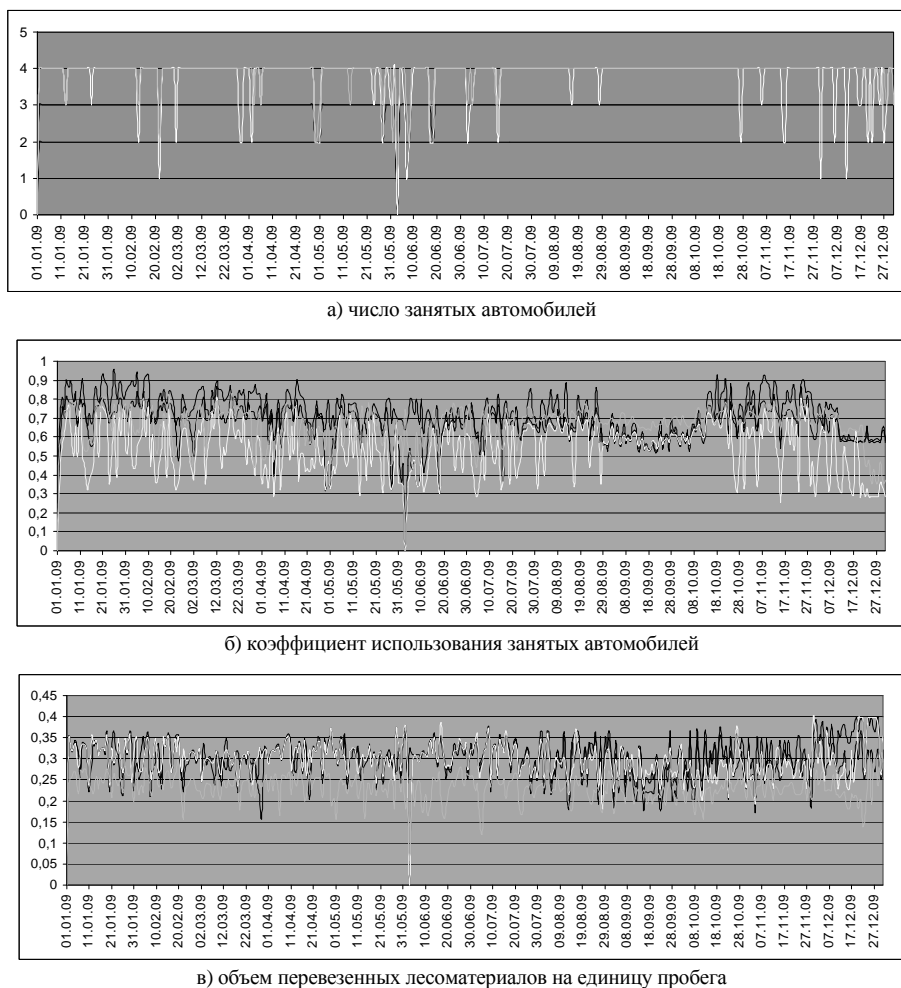


Рис. 3. Изменение сравнительных показателей альтернативных планов по дням года для разного числа автомобилей

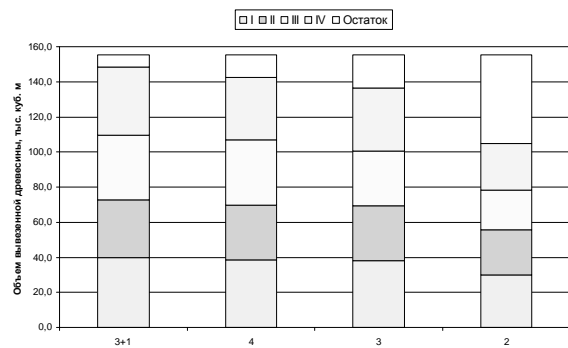


Рис. 4. Переvezенный всеми автомобилями суммарный объем лесоматериалов и остатки на лесопогрузочных площадках в планируемом году

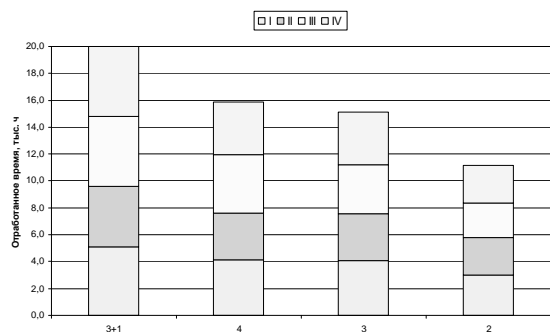


Рис. 5. Суммарное отработанное всеми автомобилями время в планируемом году

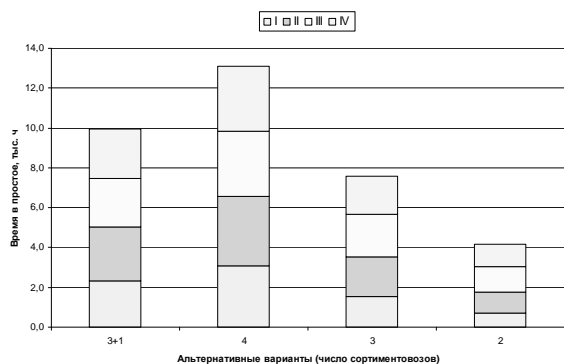


Рис. 6. Суммарное время в простое привлеченных автомобилей в планируемом году

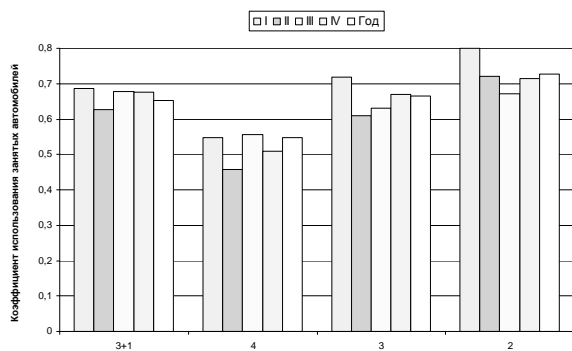


Рис. 7. Коэффициент использования занятых автомобилей в планируемом году

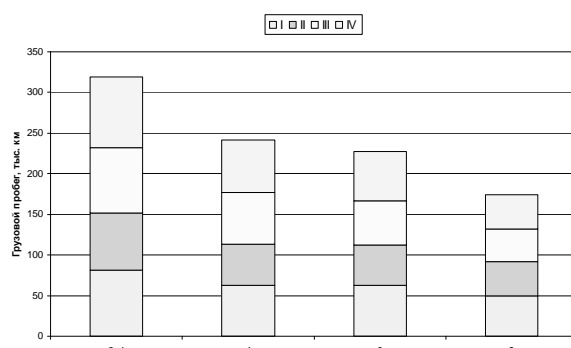


Рис. 8. Суммарный грузовой пробег всех автомобилей в планируемом году

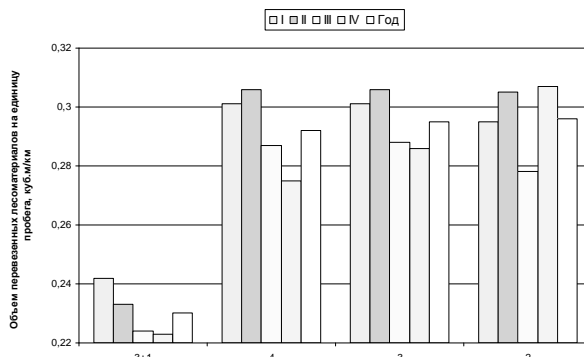


Рис. 9. Объем перевезенных лесоматериалов на единицу пробега в планируемом году

Вариант с двумя автомобилями был исключен ввиду того, что такое количество сортиментовозов явно не справляется с годовой программой вывозки. Это хорошо видно на рис. 4 – имеет место большой остаток лесоматериалов (33 % от годового объема заготовки) на лесопогрузочных площадках в конце планируемого года. Здесь следует отметить, что остаток в рассматриваемых условиях будет всегда по ряду технологических причин, но в случае с двумя автомобилями остаток гораздо больше. По той же причине должен быть исключен и вариант с тремя автомобилями (12 %), так как при использовании четырех автомобилей остаток на лесопогрузочных площадках оказывается еще меньше (8 %).

При использовании четырех большегрузных автомобилей, несомненно, вывозится весь доступный объем продукции, однако возникают сомнения в эффективности такого решения, так как простот отработанных часов при переходе от трех автомобилей к четырем значительно меньше, чем при переходе от двух к трем (рис. 5). Это говорит о неэффективном использовании четвертого автомобиля, что подтверждают рис. 6 и 7. В этом случае имеет место наибольший простой автомобилей (рис. 6) и, соответственно, наименьший коэффициент использования (рис. 7), который принимает значение чуть больше 50 %. Кроме того, по рис. 3 видно, что показатели в данном случае весьма нестабильны в течение года. Например, нередки дни, когда работают только два или один автомобиль из

четырёх (рис. 3а). Был даже один день в июне, когда все четыре автомобиля простаивали.

Именно эти соображения приводят к мысли о замене одного из большегрузных автомобилей на более дешёвый отечественный автомобиль средней грузоподъёмности КамАЗ, что позволит получить эффект от сокращения времени простоев дорогостоящего импортного автомобиля. Кроме того, такая схема сократит остатки сортиментов на лесопогрузочных площадках.

В результате анализа полученных данных было признано целесообразным использование трёх автомобилей большой грузоподъёмности и одного средней грузоподъёмности. Данный вариант действительно позволил существенно снизить простои (рис. 6) и повысить коэффициент использования почти до уровня, соответствующего варианту с тремя автомобилями (рис. 7). Однако использование автомобиля меньшей грузоподъёмности привело к увеличению общего пробега (рис. 8) и, соответственно, к снижению такого показателя, как объём на единицу

пробега (рис. 9). Тем не менее, принимая во внимание все полученные результаты, считаем этот вариант более предпочтительным для применения на рассматриваемом предприятии в сложившихся условиях.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о практической применимости и эффективности предлагаемой методики и созданной информационно-вычислительной системы для обоснования принимаемых решений при планировании вывозки древесины.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», тема НИР: «Создание инфраструктуры лесных дорог и управление системами транспортировки древесины для лесопромышленного комплекса и биоэнергетики», в рамках проекта «Лесозаготовки и логистика в России», финансируемого Европейским союзом через финское агентство по развитию технологий и инноваций (TEKES)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов А. П., Герасимов Ю. Ю. Геоинформационная система для решения оптимизационной задачи транспортной логистики круглых лесоматериалов // Известия высших учебн. заведений. Лесной журнал. 2009. № 3. С. 78–85.
2. Герасимов Ю. Ю., Соколов А. П., Сютнев В. С. Логистика лесозаготовок: программа поиска оптимального лесотранспортного плана // Лесная Россия. 2008. № 5–6. С. 54–61.
3. Герасимов Ю. Ю., Соколов А. П. Информационная система для решения задачи логистики лесоматериалов // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. Вып. 21. Брянск: Изд-во Брянской гос. инженерно-технолог. акад., 2008. С. 180–183.
4. Gerasimov Y., Sokolov A., Karjalainen T. GIS-based Decision-Support Program for Planning and Analyzing Short-Wood Transport in Russia // Croatian Journal of Forest Engineering. Vol. 29. Issue 2. Zagreb: University of Zagreb, 2008. P. 163–175.
5. Gerasimov Y., Sokolov A., Karjalainen T. GIS-based decision-support program for short-wood transport in Russia // The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations. Copenhagen, September 23–25, 2008. Forest & Landscape Working Papers № 30. 2008. P. 85–86.