



УДК 634.0.383(083.9)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.117

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ***В.Г. Козлов, д-р техн. наук**А.В. Скрыпников, д-р техн. наук, проф.**Е.В. Чернышова, канд. техн. наук**Е.В. Чирков, экстерн**С.А. Поставничий, экстерн**Р.В. Могутнов, экстерн*

Воронежский государственный университет инженерных технологий, просп. Революции, д. 19, г. Воронеж, Россия, 394036; e-mail: vya-kozlov@yandex.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru, elenabok@mail.ru, e_v_chircov@mail.ru, r-mogutnov@mail.ru

Научные основы проектирования лесовозных автомобильных дорог, заложенные в трудах ведущих ученых в области обеспечения их транспортно-эксплуатационных характеристик, базируются на теории автомобиля. На начальном этапе требования к элементам плана и профиля определялись из условия обеспечения движения одиночного автомобиля, по динамическим характеристикам и динамической устойчивости на отдельных участках дорог, т. е. из условия взаимодействия системы «автомобиль–дорога». С увеличением количества автомобилей на дорогах появилась необходимость обеспечить пропуск транспортных потоков различной интенсивности, для чего потребовалось изучить взаимодействие системы «дорожные условия–транспортные дороги». Исследованиям этих проблем посвящены работы А.К. Бирули, В.Ф. Бабкова, Е.В. Кондрашова, В.В. Сильянова и др., которые создали основы теории движения транспортных потоков в различных дорожных условиях. Применение теорий вероятности и массового обслуживания к изучению процессов движения в работах Я.А. Калужского, В.В. Сильянова, И.В. Бегма, В.М. Кислякова и Д. Дрю существенно углубило понимание закономерностей движения транспортных потоков и управления ими. В связи с увеличением динамичности автомобилей и совершенствованием дорог возросли и скорости движения, что повысило роль водителя в выборе оптимальных режимов и обеспечении безопасности. Следовательно, один из перспективных путей повышения эффективности работы лесовозного автомобильного транспорта – изучение взаимодействия системы «водитель–условия движения». Выполненные исследования показывают, что поскольку главным звеном в процессе взаимодействия комплекса «водитель–автомобиль–дорога–среда» является водитель, требования к параметрам дорог должны исходить из создания наиболее благоприятных условий для его работы. С учетом этих требований должны разрабатываться и методы ландшафтного и пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог. В настоящий момент отсутствуют требования к допускаемым изменениям транспортно-

Для цитирования: Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Чирков Е.В., С.А. Поставничий, Могутнов Р.В. Теоретические основы и методы математического моделирования лесовозных автомобильных дорог // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 117–127. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.117

эксплуатационных качеств дорог в зависимости от природно-климатических и погодных условий и методы оценки их влияния на режим и безопасность движения. Это не позволяет оценивать как качество проектов, так и эффективность деятельности дорожно-эксплуатационной службы по обеспечению удобства и безопасности движения на дороге.

Ключевые слова: лесовозные автомобильные дороги, эксплуатационные характеристики, проектирование дорог, информационное обеспечение.

Введение

Системному изучению эксплуатационных свойств элементов комплекса «автомобиль–водитель–дорога» посвящены работы В.Н. Иванова, В.Н. Ерохова, Е.В. Кондрашовой, Т.В. Скворцовой, А.Г. Чистякова, А.Ю. Арутюнян, Р.Н. Котлярова, П.И. Морозова и др. [4, 6, 8, 9, 11]. Их исследования направлены на совершенствование организации и управления всего транспортного процесса.

Выполненный авторами анализ условий движения и дорожно-транспортных происшествий на автомобильных лесовозных дорогах показывает, что на эффективность транспортного процесса существенное влияние оказывают погодно-климатические условия. Под их воздействием изменяются транспортно-эксплуатационные характеристики дорог, психофизиологическое состояние водителя, состояние систем и узлов автомобиля, а также режим движения транспортного потока, как результат взаимодействия всех элементов комплекса. Однако влияние природных и климатических условий в настоящее время учитывается главным образом в требованиях к прочности и работоспособности дорожных одежд и устойчивости земляного полотна. На основании исследований, выполненных В.Ф. Бабковым, А.К. Бирулей, Д. Дрю, Я.А. Калужским, И.В. Бегма, И.В. Чернышовой и др. [1–3, 5, 16], разработаны методы расчета дорожных одежд, в которых учитывается совместное воздействие природно-климатических условий и подвижной нагрузки. Прочность дорожных одежд рассчитывается по условиям самого неблагоприятного весеннего периода.

В районах с холодным климатом для предотвращения морозного пучения предусматриваются морозозащитные слои, толщина которых определяется методами, предложенными в работах [2, 7, 12], в районах с повышенной влажностью сооружаются дренажные устройства по методикам [7, 10, 13, 15]. Достижения отечественной науки в области исследования водно-теплового режима земляного полотна признаны мировой дорожной наукой.

Объекты и методы исследования

Методы проектирования лесовозных автомобильных дорог базируются на учете механического взаимодействия дороги и одиночного автомобиля, движущегося с расчетной скоростью.

Движение транспортных потоков учитывается только при определении числа полос движения, некоторых геометрических элементов и прочности дорожных одежд.

Результаты исследования и их обсуждение

В нормативно-технической литературе за расчетную скорость принимается наибольшая возможная скорость движения одиночных автомобилей при сухой или увлажненной чистой поверхности покрытия, при этом гололед, снежный накат, слой рыхлого снега, загрязненность покрытия, степень увлажнения, грязные обочины не учитываются, обеспеченность расчетных скоростей в проектах дорог не определяется. Например, величина максимального продольного уклона устанавливается, исходя из динамических характеристик автомобиля-тягача в автопоезде, и проверяется независимо от категории дороги и района ее прокладки по сцеплению для мокрого, но не загрязненного, заснеженного или обледенелого покрытия.

Известно, что коэффициент сцепления колеса автомобиля с сухим покрытием колеблется от 0,40 до 0,80, с влажным – от 0,20 до 0,40, с заснеженным или покрытым гололедом – от 0,07 до 0,27. При назначении геометрических элементов дорог, в частности при нахождении такого важного параметра, как видимость поверхности дороги, расчет ведется по коэффициенту сцепления 0,30...0,5.

При определении поперечного сцепления колеса с дорогой значение радиуса кривых в плане также принимается постоянным для всех районов нашей страны. В Строительных нормах и правилах имеется только указание об ограничении поперечного уклона до 4 % в районах с частыми туманами и длительными периодами гололеда с одновременным увеличением радиусов кривых.

Не существует метода учета погодных-климатических условий и при определении таких важных параметров, как радиусы вертикальных выпуклых и вогнутых кривых, ширина и поперечный уклон проезжей части, ширина обочин и переходных краевых полос, ширина и конструкция укрепления обочин при выборе сочетаний элементов плана и профиля дорог.

Обеспечение требуемых эксплуатационных качеств существующих дорог, организация дорожного движения и управление им возложено на дорожно-эксплуатационную службу. В ее задачи входит обеспечение круглогодичного, непрерывного, безопасного и удобного движения автомобилей, сохранности дорог и дорожных сооружений, повышение технического уровня и эксплуатационных качеств дорог с учетом роста интенсивности движения.

Сведения, содержащиеся в работах других авторов [7, 14] показывают, что взаимодействие автомобиля и дороги можно рассматривать как сложный комплекс, анализ состояния которого позволяет определить воздействие движущихся автомобилей на дорожную одежду, а также влияние погодных-климатических факторов на нее. Предложены многочисленные показатели эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог, каждый из которых оценивается соответствующим коэффициентом. К числу этих показателей относится скорость движения, непрерывность движения по дороге, прочность и ровность дорожной одежды, сцепные качества, интенсивность движения и др. Разработана классификация дорожно-ремонтных работ и периодичность их проведения, которая учитывает изменение состояния дорог под воздействием автомобильного движения и погодных-климатических факторов. На основе комплекса объективных показателей разработана методика оценки эффективности дорожно-ремонтных работ.

Однако исследования не содержат обоснованные нормативные требования ко многим транспортно-эксплуатационным показателям автомобильных лесовозных дорог в процессе эксплуатации. Так, не установлены требования к минимально допустимым скоростям движения транспортного потока и одиночного автомобиля, пропускной способности и уровню безопасности, непрерывности проезда в зависимости от категории дороги и погодноклиматических условий. Не обоснованы и не дифференцированы по категориям дорог требования к таким важнейшим показателям, как ровность, сцепные качества покрытий и коэффициент сопротивления качению, требования к эффективной ширине проезжей части и обочин, которые существенно влияют на скорость, безопасность и себестоимость перевозок. При проектировании лесовозных автомобильных дорог не анализируется изменение перечисленных показателей в процессе эксплуатации, не предусматриваются специальных мер для их обеспечения.

В условиях климата России для большинства районов лесозаготовок особые трудности в обеспечении удобного и безопасного движения на лесовозных дорогах возникают в зимний период. Условия работы дорог зимой рассмотрены в работах А.К. Бирули, В.Ф. Бабкова, Д.С. Птицина, Д.В. Радько [1, 2, 18]. Выполненные этими авторами исследования положены в основу районирования территорий по трудности снегоборьбы, ими предложено деление участков дорог по снегозаносимости в зависимости от соотношения геометрических размеров земляного полотна. Разработаны комплекс инженерных и организационных мероприятий по защите лесовозных автомобильных дорог от снежных заносов и требования к проектированию плана и профиля дороги по условиям снегозаносимости. Накоплен обширный опыт содержания дорог в зимний период.

При проектировании дорог не производится сравнение вариантов обеспечения требуемого состояния их поверхности в зимних условиях различными сочетаниями конструктивных и эксплуатационных мероприятий, не оцениваются возможность и вероятность образования гололеда и снежного наката на дорожных покрытиях, не предусматриваются меры по их предупреждению и ликвидации.

Во многих работах отмечаются значительные трудности зимнего содержания дорог на участках кривых малого радиуса в плане, на узлах примыканий и пересечений в одном и разных уровнях и в других стесненных условиях. Это требует изучения влияния геометрических элементов дорог и их сочетаний на состояние дорог и режимы движения в сложных погодных условиях.

Схемы установки дорожных знаков, разметки, конструкции ограждений, направляющих устройств и другого инженерного оборудования приняты одинаковыми для всей территории страны, для всех периодов года и климатических условий. Не учитывается, что направляющие столбики, тумбы и парапеты, дорожные знаки, установленные в пределах земляного полотна, приводят к снежным заносам, сужают его поверхность, мешают снегоочистке.

Назначению оптимальных скоростей движения транспортных потоков в реальных условиях посвящены многочисленные исследования, которые отражают большой накопленный опыт организации движения и управления им. Они охватывают широкий круг дорожных условий, различные сочетания

геометрических элементов дорог, интенсивности и состава движения, однако подавляющая часть наблюдений выполнена в летний период года, т. е. в наиболее благоприятных погодных условиях [14]. Исключением являются исследования режимов эксплуатации лесовозных автопоездов в зимний и осенне-весенний периоды года, которые посвящены изучению работы только автомобилей в условиях бездорожья, но не касаются режимов движения транспортных потоков [19]. В связи с этим необходимо продолжить изучение режимов движения одиночных автомобилей и транспортных потоков во время действия отдельных метеорологических факторов и их сочетаний в различные периоды года. Тем более, что произошел определенный прогресс в развитии методов, систем и технических средств управления движением. Появились знаки со сменной информацией, автоматические системы сбора информации о транспортных потоках, внедряются автоматизированные системы управления движением на автомагистралях с использованием ЭВМ, телевизионных устройств, управляемых дорожных знаков и различных приборов для сбора информации о параметрах дорог и метеорологических условиях.

Ведутся работы по изучению влияния дорожных условий на количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Особое значение имеют разработанные В.Ф. Бабковым [1] методы оценки безопасности движения на автомобильных дорогах с учетом коэффициентов аварийности и безопасности. Для оценки вариантов проектных решений плана и профиля дорог используются коэффициенты относительной безопасности, обратные по величине коэффициентам аварийности [1]. Однако эти методы учитывают влияние только некоторых отдельных метеорологических факторов на безопасность движения.

Представляет интерес попытка разработать метод оценки влияния всех элементов комплекса «водитель–автомобиль–дорога–среда» на безопасность движения. Многофакторная модель ДТП связана с погодно-климатическими условиями. На примере анализа ДТП А.В. Скрыпникова, Е.В. Кондрашовой и др. [8] получено уравнение множественной корреляции, связывающее количество ДТП с девятью факторами, которое не может считаться исчерпывающим, так как не включает многие важные элементы и параметры дорог. Таким образом, необходимость учета влияния погодно-климатических условий на безопасность движения остается актуальной.

Требуют уточнения и некоторые вопросы технико-экономического обоснования капиталовложений в дорожное строительство в различных климатических зонах.

Основным источником экономической эффективности строительства автомобильной лесовозной дороги является сокращение времени доставки лесоматериалов и пассажиров за счет увеличения скоростей движения автомобилей. Расчеты эффективности основаны на определении себестоимости перевозок до и после строительства дороги, причем себестоимость прежде всего связана с типом покрытия проезжей части, в зависимости от которого принимается и расчетная скорость. В технико-экономических расчетах скорость движения и себестоимость перевозок принимаются для летних условий и считаются постоянными в течение всего года, что не соответствует действительности.

Необходимо разработать методику учета влияния погодноклиматических условий на состояние дорог и условия движения. Анализ состояния лесовозных автомобильных дорог, условий движения, изменения скоростей движения и наличия ДТП в зависимости от состояния дорог для различных периодов года и погодных условий, выполненный совместно с анализом методов проектирования, организации ремонта, содержания дорог и регулирования движения с учетом погодных условий, позволяет сделать ряд важных выводов [9, 11, 17].

С позиций системного анализа функционирование автомобильно-дорожной системы представляет собой сложный многомерный процесс, непрерывно изменяющийся во времени и пространстве. Эффективность функционирования всей системы определяется состоянием отдельных подсистем, соответствием параметров одной подсистемы требованиям другой, их взаимодействием в различных условиях эксплуатации.

Лесовозные автомобильные дороги и вся дорожная сеть являются одним из главных элементов системы, степень развития, технический уровень и состояние которой существенно влияют на себестоимость автомобильных перевозок лесоматериалов, скорость, удобство и безопасность движения. Следовательно, необходимо непрерывное управление развитием сети лесовозных автомобильных дорог, их техническим уровнем и состоянием в целях обеспечения требуемой эффективности их работы как основной части автомобильно-дорожной системы.

Погодно-климатические и метеорологические условия, которые можно отнести к характеристикам окружающей среды, оказывают положительное или отрицательное влияние на состояние лесовозных автомобильных дорог, режим и безопасность движения лесовозов. Под воздействием условий изменяются транспортно-эксплуатационные характеристики дороги и окружающая обстановка, режим работы систем автомобиля, психофизиологическое состояние водителя, что приводит к изменению взаимодействия всего комплекса «водитель–автомобиль–дорога–среда» и его выходных параметров. При этом чем больше совершенствуются параметры автомобилей и автомобильных дорог и выше интенсивность и скорость движения, тем более существенным становится влияние погодноклиматических условий на взаимодействие систем комплекса и тем совершеннее должны быть методы управления параметрами комплекса и их взаимодействием в реальных условиях функционирования.

Существующие методы проектирования автомобильных лесовозных дорог недостаточно учитывают изменения условий движения лесовозов под воздействием неблагоприятных погодноклиматических условий и не предусматривают всего комплекса мер по обеспечению удобного и безопасного движения в любые периоды. Погодно-климатические условия учитываются при определении прочности дорожных одежд и устойчивости земляного полотна, но часто игнорируются при назначении параметров дорог, наиболее существенно влияющих на удобство и безопасность движения. Основные геометрические параметры плана, продольного поперечного профиля лесовозных автомобильных дорог, транспортно-эксплуатационные характеристики и элементы обустройства рассчитываются, как правило, на работу в летнее, наиболее благоприятное, время и не проверяются на их обеспеченность в другие периоды года, когда существенно изменяются интенсивность и состав

движения. Не разработаны методы прогноза и определения необходимого уровня транспортно-эксплуатационных характеристик дорог, что снижает ответственность проектных организаций за соблюдение нормальных условий движения лесовозного подвижного состава в процессе эксплуатации дорог в сложных погодных условиях. Вся ответственность за обеспечение удобного и безопасного движения возлагается на службу эксплуатации, не сравниваются различные варианты требуемой мощности и ресурсов для содержания дорог, имеющих различные технические параметры в неблагоприятные периоды года.

Таким образом, имеется разрыв в единой цепи создания и функционирования лесовозных автомобильных дорог. Существующие методы их ремонта и содержания направлены главным образом на сохранение естественно сложившихся ненормированных режимов и уровней безопасности движения, а в неблагоприятные периоды года и в сложных погодных условиях – на обеспечение непрерывности движения. Не разработаны научно-обоснованные методы определения минимально-допустимых показателей состояния дорог в неблагоприятные периоды года, показателей режимов движения, путей и ресурсов для их обеспечения.

Заключение

Закономерности движения транспортных потоков в неблагоприятных погодных-климатических условиях не исследованы и поэтому не имеют достаточного отражения в требованиях к элементам лесовозных автомобильных дорог и организации движения. Отсутствие данных о закономерностях движения транспортных потоков в неблагоприятные периоды года не позволяет прогнозировать режимы движения, пропускную способность дорог и уровень обеспечения безопасности движения, а также учитывать эти изменения в технико-экономических расчетах.

Все крупные инженерные сооружения рассчитываются на определенные критические условия работы или критические нагрузки, при которых они должны обладать необходимым запасом прочности и устойчивости. Современная лесовозная автомобильная дорога является сложным и дорогостоящим сооружением и для обеспечения высокой скорости и безопасности движения должна сохранять определенный минимум транспортно-эксплуатационных качеств в критических условиях эксплуатации.

Таким образом, возникает задача обоснования расчетных условий движения в зависимости от назначения дороги и погодных-климатических характеристик района, где она расположена. Необходимо разработать комплекс конструктивных и организационных решений, которые позволили бы обеспечить движение лесовозного подвижного состава в любых погодных-климатических условиях с требуемыми скоростями и уровнем безопасности, заложенными в проект. Выполнение требований расчета условий движения в зависимости от характеристик дороги и погодных-климатических условий может повлечь дополнительные затраты и поэтому должно быть экономически оправданным. Не во всех случаях полный комплекс мероприятий может быть экономически целесообразен, т. е. необходимы частные решения, которые могли бы локализовать влияние отдельных климатических факторов или значительно ослабить их. В этом случае должны быть заранее определены допускаемые режимы движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабков В.Ф.* Дорожные условия и безопасность движения: учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
2. *Бируля А.К.* Эксплуатация автомобильных дорог: учеб. М.: Транспорт, 1966. 326 с.
3. *Дрю Д.* Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 2012. 424 с.
4. *Иванов В.Н., Ерохов В.Н.* Влияние параметров автомобильных дорог на расход топлива // *Автомобильные дороги*. 2014. № 8. С. 10–13.
5. *Калужский Я.А., Бегма И.В., Кисляков В.М., Филиппов В.В.* Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1969. 136 с.
6. *Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В.* Совершенствование организации дорожного движения в транспортных системах лесного комплекса // *Системы управления и информационные технологии*. 2008. № 3.2(33). С. 272–275.
7. *Сильянов В.В., Ситников Ю.М.* Расчет скоростей движения при проектировании автомобильных дорог // *Тр. МАДИ*. 1974. Вып. 72. С. 47–66.
8. *Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Чистяков А.Г.* Моделирование поведения водителя при управлении автотранспортным средством // *Вестн. ВГУИТ*. 2015. № 1(63). С. 97–104.
9. *Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Скворцова Т.В., Арутюнян А.Ю.* Автоматизированное проектирование лесовозной дороги // *Автоматизация. Современные технологии*. 2016. № 6. С. 38–41.
10. *Скрыпников А.В., Котляров Р.Н.* Теоретическое обоснование условий безопасности движения лесовозных автопоездов в автомобильных потоках // *Лесотехн. журн*. 2011. № 2. С. 41–44.
11. *Скрыпников А.В., Котляров Р.Н., Морозов П.И.* Проектирование и планирование обустройства лесовозных автомобильных дорог // *Лесотехн. журн*. 2011. № 2. С. 36–41.
12. *Скрыпников А.В., Умаров М.М., Арутюнян А.Ю., Чернышова Е.В.* Анализ методов оценки надежности сложных технических комплексов // *Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 08–09 апр. 2015 г.* Воронеж: ВГУИТ, 2015. С. 76–81.
13. *Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю., Логойда В.С.* Выбор критерия принятия решений при управлении информационным обеспечением автомобильного транспорта // *Автоматизация. Современные технологии*. 2017. Т. 71, № 10. С. 476–478.
14. *Хомяк Я.В.* Проектирование сетей автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1983. 207 с.
15. *Чернышова Е.В.* Алгоритм решения задачи оптимального трассирования лесовозной автомобильной дороги на неоднородной местности // *Вестн. ВГУИТ*. 2017. Т. 79, № 2(72). С. 113–120.
16. *Чернышова Е.В.* Методы формирования цифровой модели местности при трассировании лесовозных автомобильных дорог // *Системы. Методы. Технологии*. 2017. № 3(35). С. 143–148.
17. *Skrypnikov A., Dorokhin S., Kozlov V.G., Chernyshova E.V.* Mathematical Model of the Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. Vol. 12, no. 2. Pp. 511–515. Режим доступа: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0117_5647.pdf (дата обращения: 01.02.2017).

18. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Analysis of Security Identity and Access Management Systems // International Journal of Control Theory and Applications. 2016. Vol. 9, no. 1. Pp. 105–117.

19. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Development of the Method for the Integration of Mobile Applications and Corporate Information Systems // Journal of Digital Information Management. 2016. Vol. 14, iss. 5. Pp. 322–332. Режим доступа: http://dline.info/fpaper/jdim/v14i5/jdimv14i5_5.pdf (дата обращения: 01.11.2016).

Поступила 25.06.18

UDC 634.0.383(083.9)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.117

Theoretical Foundations and Methods of Mathematical Modeling of Forestry Roads

G.V. Kozlov, Doctor of Engineering Sciences

A.V. Skrypnikov, Doctor of Engineering Sciences, Professor

E.V. Chernyshova, Candidate of Engineering Sciences

E.V. Chirkov, External Student

S.A. Postavnichiy, External Student

R.V. Mogutnov, External Student

Voronezh State University of Engineering Technologies, prosp. Revolyutsii, 19, Voronezh, 394036, Russian Federation; e-mail: vya-kozlov@yandex.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru, elenabok@mail.ru, e_v_chircov@mail.ru, r-mogutnov@mail.ru

Scientific basis of forestry roads design laid down in the works of the leading scientists in the sphere of support of their transportation and operational parameters is based on the automobile theory. At the initial stage the requirements for plan and profile parts were determined by the condition of movement of a single car according to dynamic characteristics and dynamic stability on the certain road sections, i.e. by the condition of “car – road” system interaction. A necessity to ensure the traffic flow of varying intensity emerged with the increase of cars on roads. That required studying of “road conditions – transport roads” system interaction. These issues were studied in the papers of such scientists as A.K. Biruli, V.F. Babkov, E.V. Kondrashov, V.V. Sil’yanova and others, who created the fundamentals of the traffic flows theory under varying road conditions. Application of the theories of probability and queueing to the study of movement processes in the papers of Ya.A. Kaluzhskiy, V.V. Sil’yanov, I.V. Begma, V.M. Kislyakov and D. Dryu had significantly deepened the understanding of regularities of traffic flows and their management. Traffic speeds had increased due to the increase of acceleration capacity of cars and improvement of roads that enhanced the driver’s role in choosing the optimal modes and ensuring traffic safety. Consequently, one of the most promising ways to improve the efficiency of forestry road transport is the study of “driver – traffic conditions” system interaction. The research shows that the requirements for the road parameters must be based on creation of the most favorable conditions for the driver's work since the key link in “driver – car – road – environment” system interaction is a driver. Methods of landscape and spatial design of forestry roads must be developed due to these requirements. Currently, there are no requirements for assumed changes in transportation and operational parameters of roads depending on the climatic and weather conditions and methods for assessment of their influence on the traffic

For citation: Kozlov G.V., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Chirkov E.V., Postavnichiy S.A, Mogutnov R.V. Theoretical Foundations and Methods of Mathematical Modeling of Forestry Roads. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 117–127. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.117

mode and safety. This does not allow evaluating of projects quality and efficiency of road service activities for ensuring of traffic convenience and safety on road.

Keywords: forestry roads, operation parameters, road design, information support.

REFERENCES

1. Babkov V.F. *Dorozhnyye usloviya i bezopasnost' dvizheniya: ucheb. dlya vuzov* [Road Conditions and Traffic Safety: Textbook for Universities]. Moscow, Transport Publ., 1993. 271 p. (In Russ.)
2. Birulya A.K. *Eksploatatsiya avtomobil'nykh dorog: ucheb.* [Road Operation: Textbook]. Moscow, Transport Publ., 1966. 326 p. (In Russ.)
3. Dryu D. *Teoriya transportnykh potokov i upravleniye imi* [Theory of Traffic Flows and Their Management]. Moscow, Transport Publ., 2012. 424 p. (In Russ.)
4. Ivanov V.N., Erokhov V.N. Vliyaniye parametrov avtomobil'nykh dorog na raskhod topliva [Influence of Highways Parameters on Fuel Consumption]. *Avtomobil'nyye dorogi*, 2014, no. 8, pp. 10–13.
5. Kaluzhskiy Ya.A., Begma I.V., Kislyakov V.M., Filippov V.V. *Primeneniye teorii massovogo obsluzhivaniya v proyektirovanii avtomobil'nykh dorog* [Application of Queueing Theory in Road Design]. Moscow, Transport Publ., 1969. 136 p. (In Russ.)
6. Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. Sovershenstvovaniye organizatsii dorozhnogo dvizheniya v transportnykh sistemakh lesnogo kompleksa [Improving of Traffic Management in Transport Systems of Forest Complex]. *Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii*, 2008, no. 3.2(33), pp. 272–275.
7. Sil'yanov V.V., Sitnikov Yu.M. Raschet skorostey dvizheniya pri proyektirovanii avtomobil'nykh dorog [Calculation of Driving Speed in Road Design]. *Tr. MADI* [Academic Papers of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)]. 1974, iss. 72, pp. 47–66.
8. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Chistyakov A.G. Modelirovaniye povedeniya voditelya pri upravlenii avtotransportnym sredstvom [Modeling of Driver's Behavior in Driving a Vehicle]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2015, no. 1(63), pp. 97–104.
9. Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Skvortsova T.V., Arutyunyan A.Yu. Avtomatizirovannoye proyektirovaniye lesovoznoy dorogi [Automated Design Engineering of a Forestry Road]. *Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii* [Automation. Modern Technology], 2016, no. 6, pp. 38–41.
10. Skrypnikov A.V., Kotlyarov R.N. Teoreticheskoye obosnovaniye usloviy bezopasnosti dvizheniya lesovoznykh avtopoyezdov v avtomobil'nykh potokakh [Theoretical Justification of Safety Conditions for Traffic of Logging Truck in Automobile Flows]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2011, no. 2, pp. 41–44.
11. Skrypnikov A.V., Kotlyarov R.N., Morozov P.I. Proyektirovaniye i planirovaniye obustroystva lesovoznykh avtomobil'nykh dorog [Designing and Planning of Construction of Forestry Roads]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2011, no. 2, pp. 36–41.
12. Skrypnikov A.V., Umarov M.M., Arutyunyan A.Yu., Chernyshova E.V. Analiz metodov otsenki nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskikh kompleksov [Analysis of Methods for Reliability Assessment of Complex Engineering Complexes]. *Sistemnyy analiz i modelirovaniye protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Voronezh, 08–09 apr. 2015 g.* [System Analysis and Modeling of Quality Management Processes in Innovative Development of Agroindustrial Complex: Proceedings of Int. Sci.-Pract. Conf., Voronezh, April 08–09, 2015]. Voronezh, VSUET Publ., 2015, pp. 76–81.

13. Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Mikova E.Yu., Logoyda V.S. Vybor kriteriya prinyatiya resheniy pri upravlenii informatsionnym obespecheniyem avtomobil'nogo transporta [Criterion Selection for Decision Making in Information Support Management of Automobile Transport]. *Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii* [Automation. Modern Technology], 2017, vol. 71, no. 10, pp. 476–478.

14. Khomyak Ya.V. *Proyektirovaniye setey avtomobil'nykh dorog* [Network Design of Automobile Roads]. Moscow, Transport Publ., 1983. 207 p. (In Russ.)

15. Chernyshova E.V. Algoritm resheniya zadachi optimal'nogo trassirovaniya lesovoznoy avtomobil'noy dorogi na neodnorodnoy mestnosti [Solution Algorithm of Optimal Forestry Road Setting out on a Heterogenic Terrain]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2017, vol. 79, no. 2(72), p. 113–120.

16. Chernyshova E.V. Metody formirovaniya tsifrovoy modeli mestnosti pri trassirovaniy lesovoznykh avtomobil'nykh dorog [Methods of Formation of a Digital Terrain Model for Forestry Road Setting out]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2017, no. 3(35), pp. 143–148.

17. Skrypnikov A., Dorokhin S., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of the Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 12, no. 2, p. 511–515. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0117_5647.pdf (accessed 01.02.2017).

18. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Analysis of Security Identity and Access Management Systems. *International Journal of Control Theory and Applications*, 2016, vol. 9, no. 1, pp. 105–117.

19. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Development of the Method for the Integration of Mobile Applications and Corporate Information Systems. *Journal of Digital Information Management*, 2016, vol. 14, iss. 5, pp. 322–332. Available at: http://dline.info/fpaper/jdim/v14i5/jdimv14i5_5.pdf (accessed 01.11.2016).

Received on June 25, 2018
