

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

В.В. НИКИТИН, доц. МГУЛ, канд. техн. наук,

В.Г. КОЗЛОВ, доц. «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», канд. техн. наук⁽²⁾,

А.Ю. АРУТЮНЯН, асп. «Ухтинский государственный технический университет»⁽³⁾,
М.М. УМАРОВ, асп. МГУЛ⁽¹⁾

nick@mgul.ac.ru, rivenelasoul@mail.ru, info@ugtu.net

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

⁽²⁾ «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»,
394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

⁽³⁾ «Ухтинский государственный технический университет»,
69300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская д. 13

Все проблемы, связанные с системами управления дорожным движением, постепенно решаются путем теоретического анализа и натурных экспериментов. При рассмотрении крупномасштабных транспортных систем не всегда легко предложить достаточно точную теорию или провести адекватные их масштабу экспериментальные исследования. Поэтому необходимо компенсировать недостаток средств для исследования путем использования нематематических моделей. В статье описана техника имитационного моделирования функционирования лесовозной автомобильной дороги с помощью ЭВМ. Для проведения имитационного моделирования были определены следующие данные: параметры, связанные с индивидуальными автопоездами: скорость, тип и размер автопоезда, максимальное ускорение; общие характеристики обгонов; характеристики дороги: число полос, ограничение скорости, расположение въездов и съездов. Рассмотрены возможные варианты возникновения различных ситуаций на лесовозной автомобильной дороге, для которых составлены модели движения автопоезда: модель свободного движения: автопоезд, не имеющий препятствий в движении по участку некоторой длины; автопоезд, следующий за лидером; автопоезд, изменяющий полосу движения; автопоезд, выполняющий маневр слияния.

Ключевые слова: лесовозная автомобильная дорога, имитационное моделирование, автопоезд, дорожное движение, функционирование дороги.

Хотя проблемы, связанные с системами управления дорожным движением, постепенно решаются путем теоретического анализа и натурных экспериментов, при рассмотрении крупномасштабных транспортных систем не всегда легко предложить достаточно точную теорию или провести адекватные их масштабу экспериментальные исследования. Поэтому важно уметь компенсировать недостаток средств для исследования путем использования нематематических моделей. Хотя имеются некоторые примеры использования аналоговых моделей, основанных на применении специализированных вычислительных устройств, для целей подобного нематематического моделирования обычно применяют компьютер, поскольку малая общность аналоговых моделей делает невыгодными капиталовложения в разработку реализующих их средств вычислительной техники. Попытки подобного применения компьюте-

ров для имитационного моделирования дорожного движения предпринимались достаточно давно, поскольку модель автопоезда интуитивно понятна и сравнительно просто представляется кодами компьютера [1–3].

Однако имитационное моделирование транспортного потока на лесовозной дороге не является простым делом в связи со сложностью системы и невозможностью моделировать все факторы, воздействующие на нее. Поэтому, для того чтобы решить некоторую задачу методом моделирования, необходимо сузить как ее постановку, так и масштабы модели. Тем не менее, техника имитационного моделирования на ЭВМ позволяет иметь дело с более детальными моделями, чем аналитические методы, и выполнять более безопасные, дешевые и быстрые эксперименты, чем при натурном экспериментировании [4].

Рассмотрим технику имитационного моделирования функционирования лесовоз-

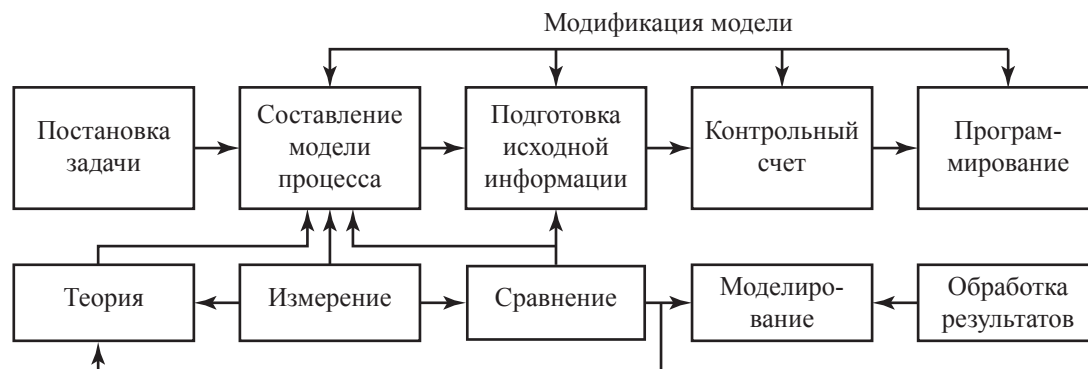


Рис. 1. Этапы имитационного моделирования
Fig. 1. Stages of simulation

ной автомобильной дороги с помощью ЭВМ (рис. 1).

Теоретический анализ

Моделирование функционирования лесовозной дороги связано с взаимодействием автопоездов в процессе движения. Когда используется физическая модель, то дорога делится на участки протяженностью, равной средней длине автопоезда, и если игнорируется распределение длин автопоездов, то каждый автопоезд представляется двоичной единицей, как показано на рис. 2, а,б. Если учитывается длина автопоездов, то дорога разбивается на участки меньшей длины, и каждый автопоезд представляется цепочкой

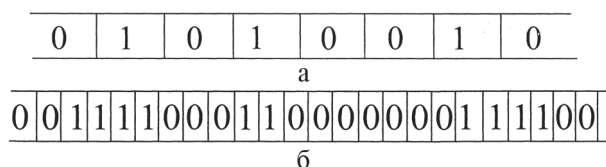


Рис. 2. Физическая модель
Fig. 2. Physical model

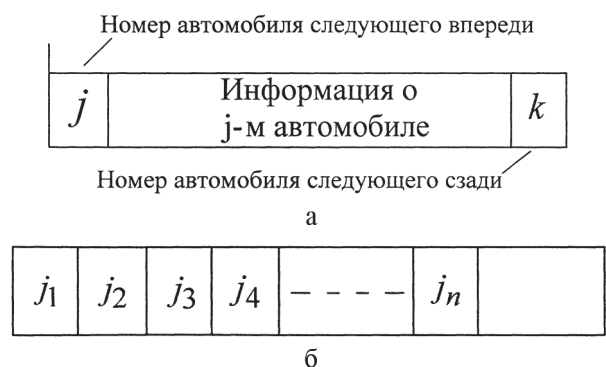


Рис. 3. Информация о порядке следования автопоездов
Fig. 3. Information about the following order trains

единиц. Поскольку автопоезда «физической» модели обычно передвигаются на основе простых логических посылок, такая модель не может быть использована для детального исследования.

В математической модели автопоезд, попадающий на дорогу на въезде или в начале дороги (возможно фиктивной), получает идентификационный номер и информация относительно места его нахождения, скорости и т. д. записывается в участок памяти, соответствующий данному номеру. Обгоны автопоездов могут представляться различными способами. Один из них состоит в использовании списочной структуры, в рамках которой вместе с информацией, относящейся к данному автопоезду, заполняются номера автопоездов, едущих впереди и сзади него, как показано на рис. 3, а. Другой заключается в подготовке перечня номеров автопоездов, представляющего порядок их следования, как показано на рис. 3, б. «Математическая» модель может быть использована для имитационного моделирования таких сложных ситуаций [5].

Методика

Для проведения имитационного моделирования были определены следующие данные:

- параметры, связанные с индивидуальными автопоездами: скорость, тип или размер автопоезда, максимальное ускорение и т. д.;
- общие характеристики обгонов;
- характеристики дороги: число полос, ограничение скорости, расположение въездов и съездов и т. д.

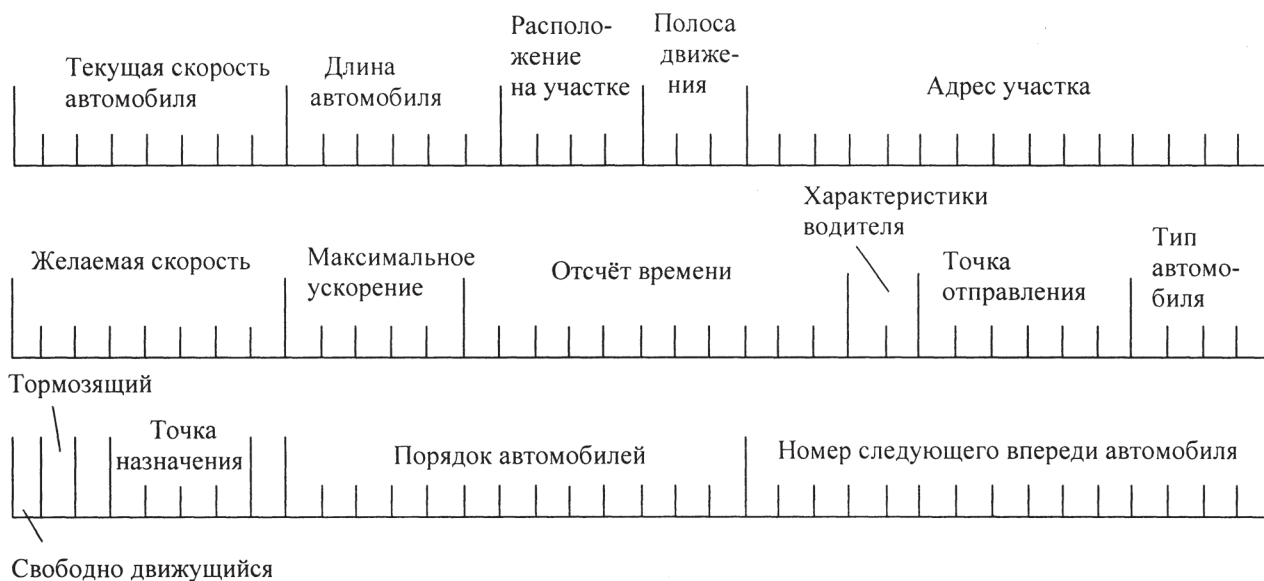


Рис. 4. Информация об автопоезде
Fig. 4. Information about the road train

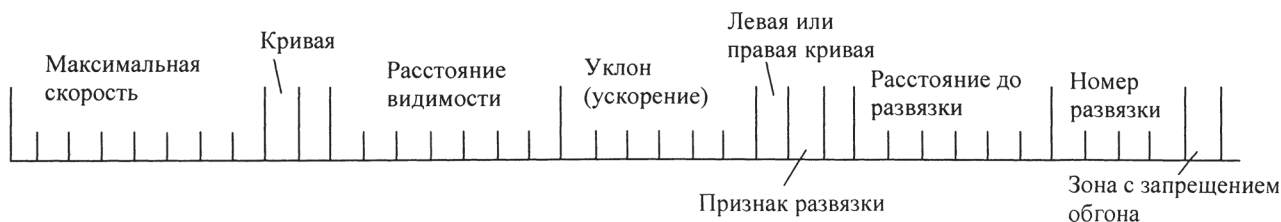


Рис. 5. Информация об участке дороги
Fig. 5. Information section of the road

Данные по первому из этих пунктов запоминаются в участке памяти совместно с текущей информацией относительно места расположения автопоезда. Структура памяти в имитационной модели показана на рис. 4. Этот пример относится к случаю универсальной имитационной модели движения по автомобильной магистрали, реализованной на ЭВМ; для представления информации об одном автопоезде используются три 36-разрядных машинных слова. Одно машинное слово используется, как показано на рис. 5, для представления характеристик каждого участка дороги длиной 4,88 м. Данная модель является очень детализированной, типичными для имитационного моделирования являются более простые модели [6–7].

Для каждого автопоезда, представленного выше, в каждом периоде времени Δt определяется величина ускорения $\ddot{x}$, скорость пересчитывается по формуле $y + \ddot{x}\Delta t$ и автопоезд сдвигается на расстояние $y\Delta t$. Для раз-

личных ситуаций, в которые попадает автопоезд, ускорение x определяется по-разному.

С использованием рис. 5 составлены различные модели движения автопоезда на лесовозной автомобильной дороге [6–7].

1. Модель свободного движения: автопоезд, не имеющий препятствий в движении по участку некоторой длины (автопоезд $i = 1$ на рис. 6), может быть передвинут с ускорением

$$\ddot{x}_i(t + \tau) = K_1 \{v_{di} - x(t)\} + \langle r \rangle, \quad (1)$$

где τ – время реакции водителя;

K_1 – константа;

v_{di} – желаемая скорость i -го автопоезда;

$\langle r \rangle$ – случайная переменная, называемая шумом ускорения. Для ее представления будем использовать нормальное распределение [8].

2. Автопоезд, следующий за лидером: i -й автопоезд (автопоезд 2 на рис. 6), впереди которого движется более медленный автопоезд j (автопоезд 1 на рис. 6), может быть

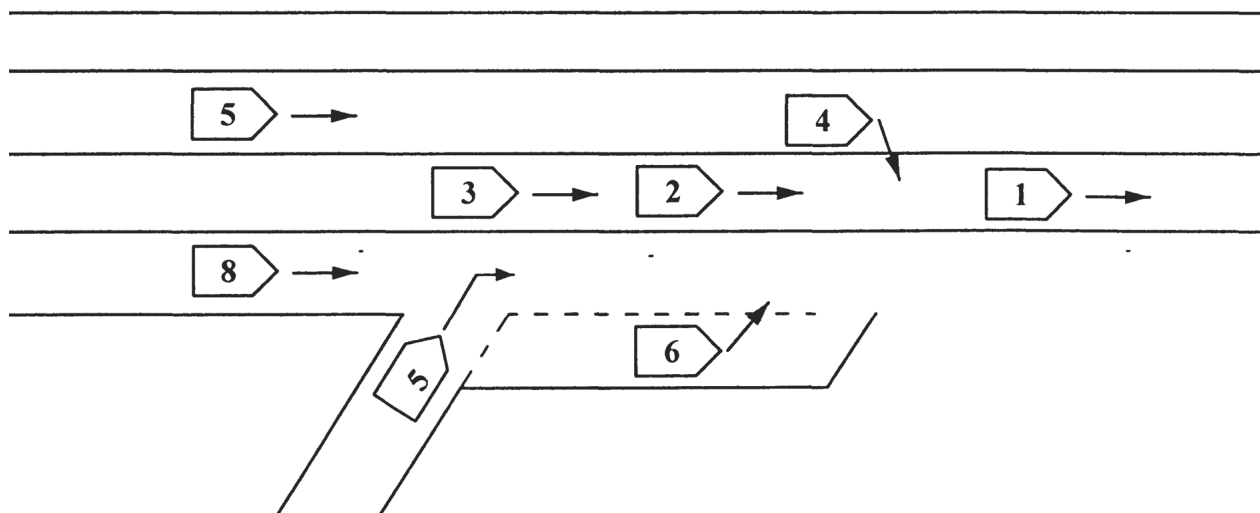


Рис. 6. Расположение автопоездов
Fig. 6. Location trains

передвинут на основе модели следования за лидером

$$\ddot{x}_i(t + \tau) = [k_2 \{x_j(t) - x_i(t)\} / \{x_j(t) - x_i(t)\}] + < r >. \quad (2)$$

Для того чтобы определить, к какому типу в данный момент времени относится конкретный автопоезд, свободно движущемуся или следующему за лидером, может быть использована величина интервала времени между этим автопоездом и движущимся впереди. По экспериментальным данным, граничным является интервал в 7 с для легкового автомобиля и 4 с для грузового.

3. Автопоезд, изменяющий полосу движения. Смена полосы движения (автопоезд 3 на рис. 6) рассматривается путем введения вероятности этого события, определяемой по величине временного интервала t между данным и движущимся сзади по соседней полосе автомобилями (автопоезд 5 на рис. 6) Вероятность $P(t)$ смены полосы движения за фиксированное время как функцию упомянутого временного интервала t часто выражают формулой

$$p(t) = \begin{cases} 0 & t \leq t_m \\ \frac{t - t_m}{t_M - t_m}, & t_m \leq t \leq t_M \\ 1 & t_M \leq t \end{cases} \quad (3)$$

где t_m и t_M соответственно равны 1,5 и 4,0 с.

График этой функции приведен на рис. 7. Если $t_m \leq t \leq t_M$ то мы можем решить, нужно ли менять полосу, генерируя случай-

ное число u , равномерно распределенное в интервале от 0 до 1, при этом, если $u \leq P(t)$, то смена полосы происходит при условии, что скорость автопоезда ограничивается медленно движущимся впереди автопоездом [9].

4. Автопоезд, выполняющий маневр слияния. Автопоезд, въезжающий на дорогу с въезда, может рассматриваться аналогично предыдущему случаю. Если имеется полоса ускорения (автопоезд 6 на рис. 6), то мы можем прямо использовать уравнение (3). В случае, когда такой полосы нет (автопоезд 7 на рис. 6), предлагается вероятность (рис. 7, а)

$$p(t) = \begin{cases} 0, & t \leq t_m \\ 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{t - t_m}{t_M - t_m} \right) \right\}, & t \geq t_m \end{cases} \quad (4)$$

где t – средний временной интервал в потоке, приемлемый для вхождения в него стоящего транспортного средства; график $P(t)$ приведен на рис. 7, б.

Прибытия автопоездов как на въезде, так и на полосе движения, куда осуществляются вхождения, генерировались с использованием случайных чисел [10–12].

Распределение интервалов может быть принято экспоненциальным или эрланговским. Параметры отдельных автопоездов, такие как желаемая скорость, размеры и так далее, также определяются случайными числами, причем, для скорости вполне подходит нормальное

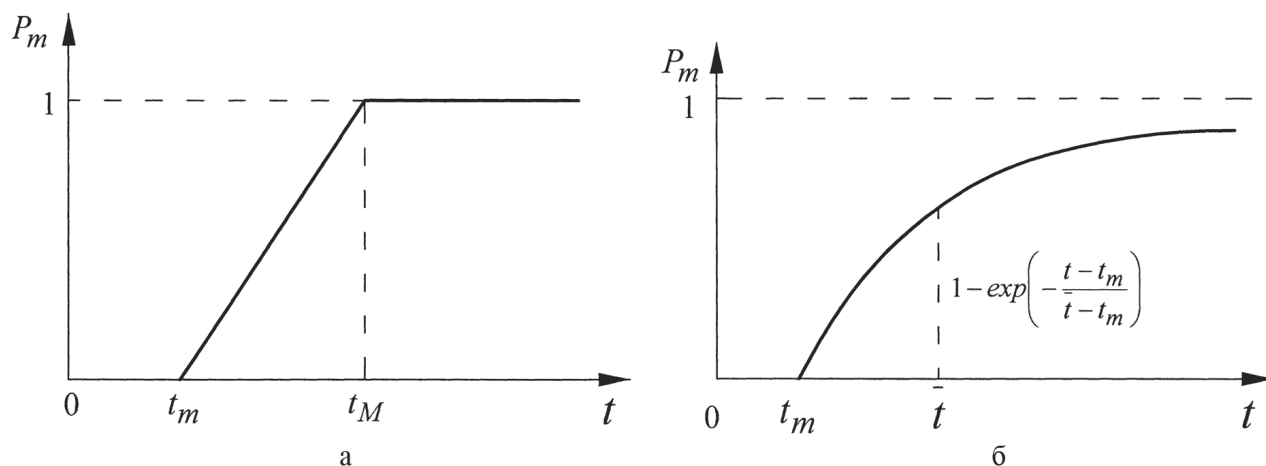


Рис. 7. Вероятность смены полос движения и въезда на дорогу
Fig. 7. The change lanes and the entry to the road

распределение; что же касается размеров автопоездов, то их распределение различно как по дорогам, так и по годам (состав движения может заметно разниться в 2004 и 2014 гг.).

Назовем отношение времени, необходимого для моделирования на ЭВМ, к длительности моделируемого процесса отношением реального времени.

При проведении эксперимента это отношение колебалось в широких пределах в зависимости от масштабов транспортной сети. При моделировании функционирования участка лесовозной автомобильной дороги длиной 400 м на ЭВМ ($\Delta t = 0,25$ с), отношение реального времени составило 35÷38.

Библиографический список

1. Скрыпников, А.В. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова и др. – М.: издательство ФЛИНТА: Наука, 2012. – 310 с.
2. Скрыпников, А.В. Комплексное моделирование процесса функционирования дороги в системе автоматизированного проектирования / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Транспорт Урала. – 2008. – № 4. – С. 6–9.
3. Управление, основанное на средних характеристиках транспортного потока / В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.В. Скрыпников // Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж, 2007. – С. 204–209.
4. Камусин, А.А. Лесовозные автопоезда: учебное пособие для вузов / А.А. Камусин, А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова. – М.: МГУЛ, 2012 – 268 с.
5. Имитационное моделирование транспортного потока для оценки транспортно-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог / Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.В. Скрыпников, Д.Ю. Сухов // Системы управления и информационные технологии. – Воронеж, 2008. – № 3.2 (33). – С. 276–278.
6. Кондрашова, Е.В. Оценка влияния эксплуатационных условий лесовозных автопоездов на безопасность их движения в САПР / Е.В. Кондрашова, А.В. Скрыпников, В.К. Курьянов // Лес. Наука. Молодежь ВГЛТА – 2002: сб. материалов по итогам научно-исследовательской работы молодых ученых Воронежской государственной лесотехнической академии за 2001–2002 годы. – Воронеж: ВГЛТА. – Воронеж, 2002. – С. 175–181.
7. Скрыпников, А.В. Комплексное моделирование процесса функционирования автомобильных лесовозных дорог в САПР / А.В. Скрыпников, В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова. – Деп. В ВИНТИ № 1088-B2004 24.06.2004. – 73 с.
8. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова и др. – Воронеж, 2011. – 127 с. – Деп. в ВИНТИ 26.09.2011, №420-2011.
9. Курьянов, В.К. Повышение эффективности обследования автомобильных дорог в районах лесозаготовок / В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова, Ю.В. Любанов. – М.: Изд-во РАЕ, 2010. – 130 с.
10. К вопросу повышения безопасности движения на лесовозных автомобильных дорог и дорогах общего пользования : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, В.Ю. Губарев, А.Б. Киреев. – М.: Издательство ФЛИНТА: Наука, 2012. – 168 с.
11. Скрыпников, А.В. Метод оптимизации планов ремонта участков лесных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6; www.science-education.ru/100-5155.
12. Скрыпников, А.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8 (ч. 3). – С. 667–671.

SIMULATION MODELING OF HAULING ROAD FUNCTION

Nikitin V.V., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; **Kozlov V.G.**, Assoc. Prof. «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I», Ph.D. (Tech.)⁽²⁾; **Harutyunyan A.Y.**, pg. Ukhta State Technical University⁽³⁾; **Umarov M.M.**, pg. MSFU⁽¹⁾

nick@mgul.ac.ru, rivenelasoul@mail.ru, info@ugtu.net

⁽¹⁾ Moscow State Forest University, MSFU, 1, 1st Institutskaya st., Mytishi-5, Moscow reg., 141005, Russia

⁽²⁾ «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I», 394087, Voronezh, Michurina st., 1, Russia

⁽³⁾ Ukhta State Technical University, 169300, 13, Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi, Russia

All the problems connected to traffic management system, gradually solved by theoretical analysis and field experiments, when considering large-scale transport systems is not always easy to offer a sufficiently precise theory or spend their adequate scale experimental studies. Therefore, it is necessary to compensate for the lack of funds for research through the use of non-mathematical models. The article describes the technique of hauling highway operation computer simulating. To carry out simulation the following data needed: individual trains parameters, such as speed, size and type of train, the maximum acceleration; general characteristics of overtaking; road characteristics: lanes number, speed limit, entrances and exits location etc. Possible options for the occurrence of various situations on hauling roads, which are composed motion model train: a model of free movement: trailer with no obstacles in the movement area of some length; trailer, follow the leader; truck, changing lanes; trailer, maneuver the merger.

Keywords: Logging road, simulation, truck, traffic, road operation.

References

1. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Vakulin A.I., Logachev V.N. *Metody, modeli i algoritmy povysheniya transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesnykh avtomobil'nykh dorog v protsesse proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii*. [Methods, models and algorithms improve transport and performance of forest roads in the design, construction and operation]. Moscow: FLINTA: Nauka, 2012. 310 p.
2. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Kompleksnoe modelirovanie protsessa funktsionirovaniya dorogi v sisteme avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Complex modeling of road operation in the computer-aided design]. Transport Urala, 2008. № 4. pp. 6-9.
3. Kur'yanov V.K., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Skrypnikov A.V. *Upravlenie, osnovannoe na srednikh kharakteristikakh transportnogo potoka* [Management, based on the average characteristics of the traffic flow]. Perspektivnye tekhnologii, transportnye sredstva i oborudovanie pri proizvodstve, ekspluatatsii, servise i remonte: mezhevuzovskiy sbornik nauchnykh trudov [Advanced technologies, vehicles and equipment in the production, operation, service and repair: Interuniversity collection of scientific papers]. Voronezh, 2007. pp. 204-209.
4. Kamusin A.A., Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V. *Lesovoznye avtopoezda* [Forestry train]. Moscow: MSFU, 2012. 268 p.
5. Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Skrypnikov A.V., Sukhov D.Yu. *Imitatsionnoe modelirovanie transportnogo potoka dlya otsenki transportno-ekspluatatsionnykh kharakteristik lesovoznykh avtomobilnykh dorog* [Simulation of traffic flow to assess the performance of transport and haulage roads]. Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii. 2008. N. 3.2 (33). pp. 276-278.
6. Kondrashova E.V., Skrypnikov A.V., Kur'yanov V.K. *Otsenka vliyaniya ekspluatatsionnykh usloviy lesovoznykh avtopoezdov na bezopasnost' ikh dvizheniya v SAPR* [Assessing the impact of the operating conditions of forest-aw topoezdov the safety of their movement in the CAD]. Les. Nauka. Molodezh' VGLTA - 2002: sb. materialov po itogam nauch-no-issledovatel'skoy raboty molodykh uchennykh VGLTA 2001-2002. Voronezh: VGLTA. Voronezh, 2002. pp. 175-181.
7. Skrypnikov A.V., Kur'yanov V.K., Kondrashova E.V. *Kompleksnoe modelirovanie protsessa funktsionirovaniya avtomobil'nykh lesovoznykh dorog v SAPR* [Kompleksnoe Simulation of the operation of automobile forest roads in the CAD]. VINITI № 1088-V2004 24.06.2004. 73 p.
8. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Vakulin A.I., Logachev V.N. *Informatsionnye tekhnologii dlya resheniya zadach upravleniya v usloviyakh ratsional'nogo lesopol'zovaniya* [Information technology solutions for control tasks in a rational forest management]. Voronezh, 2011. 127 p. VINITI 26.09.2011, №420-2011.
9. Kuryanov V.K., Kondrashova E.V., Lobanov Yu.V. *Povyshenie effektivnosti obsledovaniya avtomobilnykh dorog v rayonakh lesozagotovok* [Improving the efficiency of roads in the survey logging areas]. Moscow: FLINTA Nauka Publ., 2010. 162 p.
10. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Gubarev V.Yu., Kireev A.B. *K voprosu povysheniya bezopasnosti dvizheniya na lesovoznykh avtomobil'nykh dorog i dorogakh obshchego pol'zovaniya* [On the question of increasing traffic safety on the car-tion of forest roads and public roads]. Moscow: FLINTA: Nauka, 2012. 168 p.
11. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Metod optimizatsii planov remonta uchastkov lesnykh avtomobilnykh dorog* [Optimization method of repairing portions of forest roads planning]. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2011. N. 6. www.science-education.ru/100-5155 (data obrascheniya: 04.10.2015).
12. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Optimizatsiya mezhremontnykh srokov lesovoznykh avtomobilnykh dorog* [Optimization of maintenance periods of forest roads]. Fundamentalnyye issledovaniya [Basic Research]. 2011. N. 8 (ch. 3). pp. 667-671.