

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Козлов В.Г., Кондрашова Е.В., Заболотная А.А., Скворцова Т.В.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», (394087 г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1) rivenasoul@mail.ru

В статье дополнены исследования, проведенные ранее авторами по созданию имитационной системы функционирования лесовозной автомобильной дороги с использованием информационных технологий. Теперь объектом исследования являются не только лесовозные дороги, но и дороги общего пользования, хотя авторы не поменяли название пакета прикладных программ. Модернизированы три алгоритма программы «Лесовозная дорога»: Состав, Трасса, Поток и добавлен новый модуль «Водитель». Модуль ТРАССА анализирует геометрические элементы дороги и снимает информацию о дорожных условиях. Одна из главных задач модуля – это анализ видимости поверхности дороги и встречного автомобиля, так как проектировщик редко анализирует условия видимости поверхности дороги в продольном профиле, ориентируясь на нормативное значение радиусов вертикальных кривых. Модуль СРЕДА обеспечивает моделирование восприятия непрерывной последовательности элементов дороги механической подсистемой «дорога - автомобиль» и подсистемой «дорога – водитель - среда». Модуль ПОТОК позволяет получать результаты моделирования процесса функционирования лесовозных автомобильных дорог, обусловленных случайным характером дорожного движения. Непрерывное изменение от пикета к пикету проектируемых характеристик дороги создаёт по каждому варианту последовательность дорожных условий, формирующих режимы движения, присущие только данному участку дороги. Дополненный модуль составлен на основе разработанной методики оценки надежности водителей автотранспортных средств. Конечный результат работы модуля «Водитель» - балльная оценка профессионального мастерства водителя.

Ключевые слова: автомобильная дорога, моделирование, система автоматизированного проектирования, функционирование, алгоритм, модуль.

THE MODERNIZATION PROCESS SIMULATION SYSTEM FUNCTIONING ROADS USING INFORMATION TECHNOLOGY

Kozlov V.G., Kondrashova E.V., Zabolotnaya A.A., Skvortcova T.V.

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I (394087, Voronezh, Michurina, 1) rivenasoul@mail.ru

The article supplemented by research conducted earlier by the authors to create a simulation of the functioning of timber-carrying road with the use of information technology. Now the object of the study are not only forest roads, but also public roads, although we have not changed the name of the application package. Upgraded three algorithms of the "forest roads": composition, route, flow and added new module "driver". Ride module analyzes geometric elements of the road and removes information about road conditions. One of the main objectives of the module - an analysis of the visible surface of the road and an oncoming car, as the designer rarely examines visibility of the road surface in the longitudinal profile, focusing on the normative value of the radius of vertical curves. The module modeling environment provides a continuous sequence of elements of perception expensive mechanical sub-system "road - the car" subsystem and "road - the driver - environment". Streams module allows you to receive results of the simulation of the functioning of forest roads due to the random nature of the road. Continuous change from picket to picket projected performance of the road for each option creates a sequence of road conditions, traffic shaping modes, unique to this stretch of road. Complemented by the module is based on the developed methodology for assessing the reliability of drivers avtotrans tailors funds. The end result of the module "driver" - Score of professional skill of the driver.

Keywords: road, modeling, computer-aided design, function, algorithm module.

С целью снижения срока разработки проектов лесовозных автомобильных дорог за счёт уменьшения времени поиска оптимального варианта разработана имитационная система «ЛЕСОВОЗНАЯ ДОРОГА» (рисунок 1), обеспечивающая повышение достоверности и

существенное расширение номенклатуры транспортно-эксплуатационных показателей работы дороги, уменьшение времени моделирования работы дороги, снижение затрат времени на подготовку данных путём автоматического согласования результатов с уже эксплуатируемыми комплексами программ.

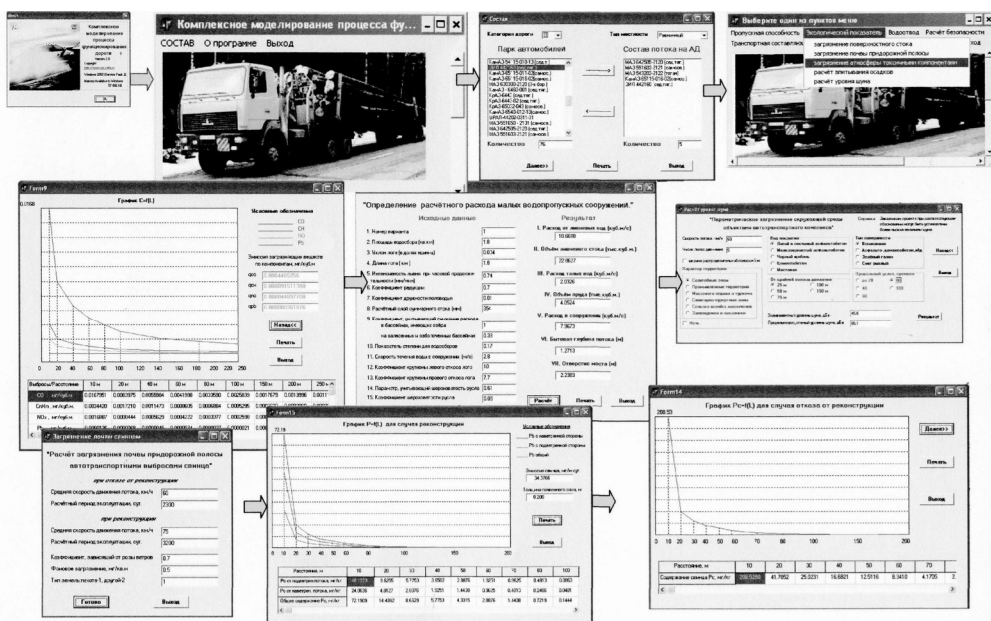


Рис. 1. Разработанная программа «Лесовозная дорога»

Теоретический анализ. Исходными данными программы, оценивающей проектное решение, являются: параметры продольного профиля; параметры поперечного профиля; параметры проезжей части; параметры плана; параметры дорожной обстановки.

Создание имитационной системы «ЛЕСОВОЗНАЯ ДОРОГА» потребовало решения отдельных сложных задач – обобщения теории транспортных потоков, разработки методик расчёта: расхода топлива, эксплуатационных расходов, транспортной составляющей себестоимости перевозок, экологических показателей, оценки надёжности водителей. Имитационная система моделирования процесса функционирования лесовозной дороги включает следующие модули: ТРАССА, СРЕДА, ПОТОК, ВОДИТЕЛЬ (рисунок 2) [3-5].

Методика. Модуль ТРАССА анализирует геометрические элементы дороги и снимает информацию о дорожных условиях. Одна из главных задач модуля – это анализ видимости поверхности дороги и встречного автомобиля.

Алгоритм модуля ТРАССА.

1. Ввод параметров плана, профиля, данных о боковых препятствиях.

2. Расчёт элементов кривых: $T = Rtg \frac{\alpha}{2}$, $K = \frac{\pi R \alpha}{180}$, $D = 2T - K$, $HK = BY - T$, $KK = HK + K$ и

т.д.), азимутов трассы, лучей зрения водителей $f_1 = R \left(1 - \cos \left(\frac{180S}{\pi R} \right) \right)$,

$$f_2 = R \left[1 - \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{180S}{\pi R} \right) + (L-1) \sin \frac{\alpha}{2} - \delta \right].$$

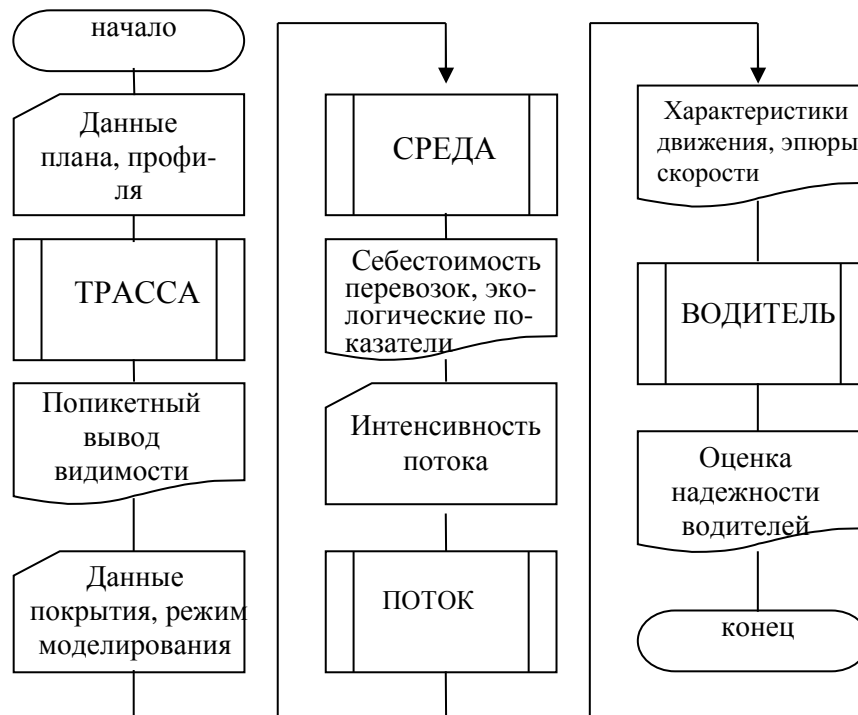


Рис. 2. Обобщённый алгоритм программы «ЛЕСОВОЗНАЯ ДОРОГА»

3. Расчёт видимости в плане по 4 схемам и выбор максимального значения:

$$s = \frac{V_1}{3,6} + \frac{kV_1^2}{254(\varphi \pm i_1)} + l_o \quad \text{- схема 1,} \quad s = \frac{V_1 + V_2}{3,6} + \frac{kV_1^2}{254(\varphi \pm i_1)} + \frac{kV_2^2}{254(\varphi \pm i_2)} + l_o \quad \text{-}$$

$$\text{схема 2, } s = \frac{V_1}{3,6} + 2\sqrt{ag} + \frac{V_2}{3,6} + 2\frac{V_2}{V_1}\sqrt{ag} + l_o \quad \text{- схема 3, } s = l_1 + 2l_2 \frac{V_3}{v_1} 2l_2 + l_o \quad \text{- схема}$$

4.

4. Расчёт видимости в профиле прямо ($\omega = i_j + i_{j+1}, j=1..n$; $S \leq \frac{(\sqrt{d_1} + \sqrt{d_2})^2}{\omega}$),

$$S = \sqrt{2R}(\sqrt{d_1} + \sqrt{d_2}) \text{ и т.д.).}$$

5. Инверсия отметок, уклонов.

6. Расчёт видимости в профиле обратно.

7. Вывод таблиц попикетной видимости в плане, профиле.

8. Построение эпюр видимости поверхности дороги.

Расчёты видимости с каждого пикета выполняются отдельно для плана и отдельно для продольного профиля. Эпюра видимости строится по минимальным значениям видимости на пикетах. При расчётах расстояний видимости моделируется восприятие водителем трассы.

Для работы программы СРЕДА вводят данные, подготовленные модулем ТРАССА. Модуль

СРЕДА обеспечивает моделирование восприятия непрерывной последовательности элементов дороги механической подсистемой «дорога - автомобиль» и подсистемой «дорога – водитель - среда» [10].

Алгоритм модуля СРЕДА.

1. Создание нормативно-справочной базы технико-экономических параметров автомобилей, входящих в состав потока.
2. Расчёт длины подъёмов и спусков и установление ограничений скорости.
3. Установление режима движения.
4. Проверка наката или торможения. Расчёт скорости, п.7.
5. Расчёт скорости с учётом ограничений.
6. Установление степени открытия дросселя, выбор номера передачи.

7. Расчёт расхода топлива ($Q = \frac{\int_0^L \left[(kF + G\alpha S)v(x)^2 + G \left(f_0 + i(x) + j \frac{\delta}{g} \right) \right] q(x)}{\eta dx}$).

8. Расчёт эксплуатационных затрат $\Xi = A \left(S_{cp} + \frac{b}{m_v^3} \sigma_v^2 \right)$.

9. Расчёт экологических показателей

9.1. Определение удельной эмиссии загрязняющих веществ по компонентам

$$q = 2.06 \cdot 10^{-4} \cdot m \cdot \left[\left(\sum_1^i G_{ik} \cdot N_{ik} \cdot K_k \right) + \left(\sum G_{ig} \cdot N_{ig} \cdot K_g \right) \right];$$

9.2. Определение концентрации загрязнения атмосферного воздуха различными компонентами в зависимости от расстояния от дороги $C = 2 \cdot 10^3 \cdot q_i / \sigma \sqrt{2\pi \cdot V \cdot \sin \varphi}$;

9.3. Определение предельно допустимой концентрации загрязняющего вещества в поверхностном стоке по каждому ингредиенту загрязнения с учётом смешения его с водами водотока $C_{прод} = \frac{\gamma Q_B}{Q_C} (C_{ПДК} - C_B) + C_{ПДК}$;

9.4. Определение концентрации свинца, кадмия, цинка, никеля, меди, хрома в почве

$$P = P_o L^{-b} k_n k_v.$$

10. Расчёт составляющих себестоимости перевозок: затрат по топливу ($C_{T,j} = 1,1 \cdot g_j A_{T,j}$),

амортизации ($C_{a,j} = \left(\frac{\Pi_{a,j} a_j}{1000} + \frac{\Pi_{a,j} b_j}{1000} \right) k_j$), шинам ($C_{ш} = \frac{\Pi_j n_j H_j}{10^5 K_{H,j} K_{V,j}} K_{i,j}$).

11. Расчёт коэффициентов безопасности по В.Ф. Бабкову ($k_0 := k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot k_8 \cdot k_9 \cdot k_{10} \cdot k_{11} \cdot k_{14}$).

12. Попикетный вывод эпюр экологических показателей, коэффициентов безопасности и эпюр себестоимости.

13. Таблица показателей движения в обоих направлениях.

Модуль ПОТОК позволяет получать результаты моделирования процесса функционирования лесовозных автомобильных дорог (I-в, II-в, III-в, IV-в категорий), обусловленных случайным характером дорожного движения. Непрерывное изменение от пикета к пикету проектируемых характеристик дороги создаёт по каждому варианту последовательность дорожных условий, формирующих режимы движения, присущие только данному участку дороги.

Алгоритм программы ПОТОК.

1. Определение средней гармонической временной скорости $\hat{v}_t = \overline{v_s}$.

2. Расчёт зависимости между скоростью и плотностью $v = v_o \left(1 - \frac{k}{k_c} \right)$.

3. Расчёт ограничения скорости $v = \begin{cases} v_1 (1 - k/k'_c) & 0 \leq k \leq k_2, k_2 \leq k_1 \\ v_o \left\{ 1 - (k/k_1)^{(n+1)/2} \right\} & k_2 \leq k \leq k_c \end{cases}$

4. Расчёт среднего пространственного интервала между автомобилями $d = 5,7 + 0,14v + 0,0022v^2$.

5. Расчёт интенсивности транспортного потока $q = k_c v (1 - v/v_o)$.

6. Расчёт границ плотности потока $C = \frac{q_a - q_b}{k_a - k_b}$.

7. Расчёт пространственной координаты $X_{i+1}(s) = \frac{K}{(K + se^s)^i} X_i(s)$ при $K \leq \pi/2$.

8. При условии стационарности потока скорость $v = \alpha \ln \frac{k_c}{k}$, плотность

$k = 1 / \{x_i(t) - x_{i+1}(t)\}$.

9. Расчёт плотности распределения произвольных интервалов между автомобилями в потоке

$f(h) = \varphi \lambda_1 e^{-\lambda_1(h-\tau)} + (1 - \varphi) \frac{(k\lambda_2)^k h^{k-1} e^{-\lambda_2 kh}}{(k-1)!}$.

10. Вывод характеристик движения автомобилей по обоим направлениям.

Модуль «ВОДИТЕЛЬ» выполняет оценку надежности водителей автотранспортных средств.

Для оценки уровня надежности водителя программа использует критерий надежности

$$K = K_{\text{Б}} \cdot K_{\text{П}} \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{ЭС}} \cdot K_{\text{ОМ}}, \quad (23)$$

где $K_{\text{Б}}$ – критерий безопасности; $K_{\text{П}}$ – критерий производительности перевозки груза; $K_{\text{Э}}$ – критерий экономичности; $K_{\text{ЭС}}$ – критерий экстремальных условий; $K_{\text{ОМ}}$ – критерий знаний основ механики.

Алгоритм программы «ВОДИТЕЛЬ»:

1. Проверка исправности, технического состояния индикаторов и контрольно-измерительных приборов лесовозного автопоезда.
2. Определение маршрута испытания протяженностью один час езды при скорости 40...80 км/ч.
3. Синхронизация сбора данных, калибровка каналов измерительно-регистрирующей аппаратуры.
4. Определение нормативных значений скорости движения $V_{\text{срб}}$, расхода топлива на маршруте $Q_{\text{Б}}$, средневзвешенного значения передаточного числа коробки передач $i'_{\text{кб}}$.
5. Выполнение около 40 заездов 20 испытуемых водителей по заданному маршруту на лесовозном автопоезде, оборудованном комплексом бортовой аппаратуры с измерением продолжительности движения лесовозного автопоезда, количества оборотов коленчатого вала.
6. Обработка результатов и заключение об уровне надежности водителя.

На основании критериев $K_{\text{П}}$, $K_{\text{Д}}$, $K_{\text{Б}}$, $K_{\text{ЭС}}$ и $K_{\text{ОМ}}$ определяется интегральный критерий надежности водителя K . Причём, если надежность водителя высокая, то $K_{\text{П}}$, $K_{\text{Д}}$, $K_{\text{Б}}$, $K_{\text{ОМ}}$, $K_{\text{ЭС}} \geq 1,0$. Если мастерство водителя недостаточно, значения показателей $K_{\text{П}}$, $K_{\text{Д}}$, $K_{\text{Б}}$, $K_{\text{ОМ}}$ и $K_{\text{ЭС}} < 1,0$.

Оптимизация проекта достигается построением эпюр:

- эпюр эмиссии токсичных веществ, выявляющих уровень концентрации токсичных веществ в придорожном пространстве;
- эпюр скорости, отражающих влияние дорожных условий на режимы движения;
- эпюр расхода топлива, являющихся индикатором в энергосберегающих проектных решениях.

Задача выбора новых параметров, улучшающих дорогу при вариантном проектировании, очень сложная и необходим направленный поиск наилучшего варианта,

основанный на декомпозиции проблемы поиска вариантов путём рассмотрения агрегированных характеристик. Агрегирование заключается в замене большого комплекса характеристик и конструктивных параметров дороги небольшим количеством обобщённых характеристик и параметров. Из этих параметров на каждом этапе проектирования выбираются наиболее важные. На этапе вариантного проектирования трассы такими обобщающими параметрами можно считать V – расчётную скорость, H – условия проложения дороги через населённые пункты, Π – условия пересечения с другими дорогами. Имеется набор параметров V_C, H_C, Π_C , при которых дорога имеет наименьшую стоимость C_{\min} , другой набор V_D, H_D, Π_D , при которых прогнозируется наименьшее количество ДТП, оцениваемое величиной D_{\min} , имеется набор $V_{\text{Э}}, H_{\text{Э}}, \Pi_{\text{Э}}$, обеспечивающий минимум затрат на перевозки Э_{\min} [1-3].

Любой вариант дороги отличается по своим характеристикам $C, D, \text{Э}$ от идеальных решений. Это отклонение определяется величиной ω_i для стоимости дорог

$$\omega_C = \frac{C - C_{\min}}{C_{\max C} - C_{\min}}. \quad (1)$$

Коэффициенты ω_i находятся в пределах от 0 до 1 и показывают, насколько тот или иной вариант дороги хуже соответствующего идеального решения по i -ой характеристике.

Характеристики $C, D, \text{Э}$ не одинаково важны для оптимального варианта. Для определения их важности введены относительные веса $\lambda_C, \lambda_D, \lambda_{\text{Э}}$, тогда оптимальный вариант дороги

$$W = \lambda_C \omega_C + \lambda_D \omega_D + \lambda_{\text{Э}} \omega_{\text{Э}} \rightarrow \min \quad (2)$$

Для оптимального варианта существует такое сочетание $\lambda_C, \lambda_D, \lambda_{\text{Э}}$, которое обеспечивает минимум приведённых затрат. Задача направленного вариантного проектирования заключается в установлении этих значений. По каждому варианту дороги с уровнем затрат C смоделирован пропуск транспортных потоков расчётной интенсивности, определив по результатам моделирования характеристики $D, \text{Э}$, рассчитываем приведённые суммарные затраты P [6-9].

Так как значения $\lambda_C, \lambda_D, \lambda_{\text{Э}}$, заранее известны, то ими нужно задаться в виде сетки с узлами λ ($\lambda_C, \lambda_D, \lambda_{\text{Э}}$). Для каждого k -го узла (набора значений $\lambda_{Ck}, \lambda_{Dk}, \lambda_{\text{Э}k}$) следует найти значения V_k, H_k, Π_k , при которых W достигает минимума. Значения V_k, H_k, Π_k находят решением уравнений $dW/dx_{ik} = 0$. Значения V_k, H_k, Π_k направленно определяют требования к новому варианту трассы. Конструктивные параметры этого

варианта служат исходной информацией для моделирования дорожного движения имитационной системой. Результаты этого моделирования используются для вычисления критерия P . Затем выбирается другой узел Λ_K (другие значения $\lambda_C, \lambda_D, \lambda_E$), процесс повторяется и вычисляется новое значение P . Таким образом, на сетке Λ находится узел, при котором P достигает минимума. Этим окончательно определяется вариант дороги, наилучшим образом сочетающий основные транспортно-эксплуатационные характеристики: стоимость, безопасность, экономичность, и обеспечивающий минимум приведённых затрат.

Результаты – определение оптимального проектного решения с гармоническим сочетанием транспортно-эксплуатационных, экономических и экологических показателей, тем самым снижение сметной стоимости строительства объектов и их материалоёмкости на 10-15 %, сокращение сроков проектирования.

Список литературы

1. Камусин А.А., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В. Лесовозные автопоезда: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов, магистров и бакалавров направления 250400 "Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств" по профилю "Лесоинженерное дело"; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждения высш. проф. образования "Московский гос. ун-т леса". – М., 2012. – 268 с.
2. Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Скрыпников А.В. Критерии качества управления светофорной сигнализацией // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвузовский сборник научных статей. – Воронеж: «ВГЛТА», 2007. – С. 179-181.
3. Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Скрыпников А.В., Сухов Д.Ю. Имитационное моделирование транспортного потока для оценки транспортно-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог // Системы управления и информационные технологии. – Воронеж, 2008. - № 3.2 (33). – С. 276-278.
4. Кондрашова Е.В., Скрыпников А.В., Курьянов В.К. Оценка влияния эксплуатационных условий лесовозных автопоездов на безопасность их движения в САПР // 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.
5. Кондрашова Е.В., Скрыпников А.В., Скворцова Т.В. Модель определения экономических

границ зон действия поставщиков материалов в условиях вероятностного характера дорожного строительства лесовозных автомобильных дорог // *Фундаментальные исследования*. 2011. - № 8-2. – С. 379-385.

6. Курьянов В.К., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Скрыпников А.В. Пропускная способность регулируемого перекрестка // *Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвузовский сборник научных трудов / под ред. В.И. Посметьева*. – Воронеж, 2007. – С. 201-203.

7. Курьянов В.К., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Скрыпников А.В. Управление, основанное на средних характеристиках транспортного потока // *Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвузовский сборник научных трудов. / под ред. В.И. Посметьева*. – Воронеж, 2007. – С. 204-209.

8. Курьянов В.К., Рябова О.В., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В. Условия труда водителей автомобилей. Профессиональный отбор // *Проблемы и перспективы лесного комплекса: материалы межвузовской научно- практической конференции*. – Воронеж, 2005. – С. 234-237.

9. Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В. Комплексное моделирование процесса функционирования автомобильных лесовозных дорог в САПР.– *Деп. В ВИНТИ № 1088-V2004 24.06.2004*. – 73 с.

10. Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В. Рекомендации по проектированию элементов поперечного профиля на кривых в плане при движении автомобильных поездов // *Деп. В ВИНТИ № 1450-V2002 07.08.2002*. – 30 с.

Рецензенты:

Афоничев Д.Н., д.т.н., заведующий кафедрой электротехники и автоматики ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж;

Скрыпников А.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж.