

УДК 625.76

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ РАСЧЕТНОЙ СКОРОСТИ****<sup>1</sup>Скрыпников А.В., <sup>2</sup>Козлов В.Г., <sup>1</sup>Чернышова Е.В., <sup>1</sup>Микова Е.Ю.,  
<sup>1</sup>Являнская И.В., <sup>1</sup>Могутнов Р.В.**<sup>1</sup>*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,  
Воронеж, e-mail: elenabok@mail.ru;*<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет  
имени императора Петра I», Воронеж*

В работе приводится анализ наблюдений влияния транспортно-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог на допустимую скорость движения. Конкретными задачами экспериментальных исследований являлись: проверка гипотезы о наличии постоянных и переменных параметров и транспортно-эксплуатационных характеристик дорог; выявление характера и в зависимости от технического уровня дорог пределов изменения переменных параметров в осенний, весенний, зимний и летний периоды года и при различных метеорологических факторах, инженерного оборудования дорог; изучение характеристик транспортного потока в различные времена года (интенсивность и состав); изучение влияния состояния дорог и условий погоды на режимы и безопасность движения тракторных потоков; изучение совместного влияния дорожных и метеорологических условий, а также параметров транспортного потока на выходные характеристики системы ДУ-ТП – скорость, безопасность движения и пропускную способность. Исследования показали, что геометрическая и фактически используемая ширина проезжей части дороги для движения автомобилей отличаются в зависимости от типа и состояния укрепления обочин, общей ширины проезжей части и метеорологических условий. Это объясняется психологическим воздействием на восприятие водителем состояния проезжей части и прикромочной полосы обочины. Чем лучше вид и состояние обочин, тем увереннее чувствует себя водитель, ближе к кромке движения автомобиль и полнее используется проезжая часть. Чем хуже состояние обочин, тем больший обзор безопасности выбирает водитель, отклоняясь ближе к основной линии. При сужении проезжей части возможности отклонения траектории встречных автомобилей ограничены и водители вынуждены снижать скорость.

**Ключевые слова:** расчетная скорость, транспортные потоки, информационная инфраструктура, дорожная сеть**EVALUATION OF THE INFLUENCE OF INDIVIDUAL METEOROLOGICAL  
FACTORS ON THE PROVISION OF DESIGN SPEED****<sup>1</sup>Skrypnikov A.V., <sup>2</sup>Kozlov V.G., <sup>1</sup>Chernyshova E.V., <sup>1</sup>Mikova E.Yu.,  
<sup>1</sup>Yavlyanskaya I.V., <sup>1</sup>Mogutnov R.V.**<sup>1</sup>*Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, e-mail: elenabok@mail.ru;*<sup>2</sup>*Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Voronezh*

The paper analyzes the observations of the effect of transport-operational characteristics of forest-road roads on the permissible speed of movement. Specific tasks of the experimental studies were: testing the hypothesis of the presence of permanent and variable parameters and transport-operational characteristics of roads, identifying the nature and depending on the technical level of the road limits of change of variable parameters in the autumn, spring, winter and summer periods of the year and various meteorological factors, engineering equipment of roads; studying the characteristics of the traffic flow at different seasons (intensity and composition); the study of the influence of the state of roads and weather conditions on the regimes and safety of the movement of tractor flows; studying the joint influence of road and meteorological conditions, as well as transport flow parameters on the output characteristics of the DU-TP system – speed, traffic safety and capacity. Studies have shown that the geometric and actually used width of the carriageway for the movement of cars differ depending on the type and condition of the strengthening of the roadsides, the overall width of the carriageway and meteorological conditions. This is explained by the psycho-psychological impact on the driver's perception of the condition of the carriageway and the curbside curb. The better the look and condition of the roadside, the more confident the driver feels, the car is closer to the edge of the traffic and the carriageway is used more fully. The worse the condition of the roadside, the greater the safety profile the driver chooses, deviating closer to the main line. When narrowing the carriageway, the possibility of deviating the trajectory of oncoming vehicles is limited and drivers are forced to reduce the speed.

**Keywords:** design speed, traffic flows, information infrastructure, road network

Комплексные экспериментальные исследования продлились с целью проверки принятых теоретических гипотез и положений о влиянии погодных-климатических условий различных регионов на состояние дорог, условия и режим движения транспортных потоков [1].

Исходя из целей и задач, была определена общая метеорология, разработаны

частные методики экспериментальных исследований, которые базируются на анализе модели взаимодействий систем комплекса ВАДС и систему ДУ-ТП (рисунок).

Сложность экспериментальных исследований заключалась в том, что условия движения и состояния дороги оцениваются целым комплексом постоянных и переменных параметров и характеристик [2].

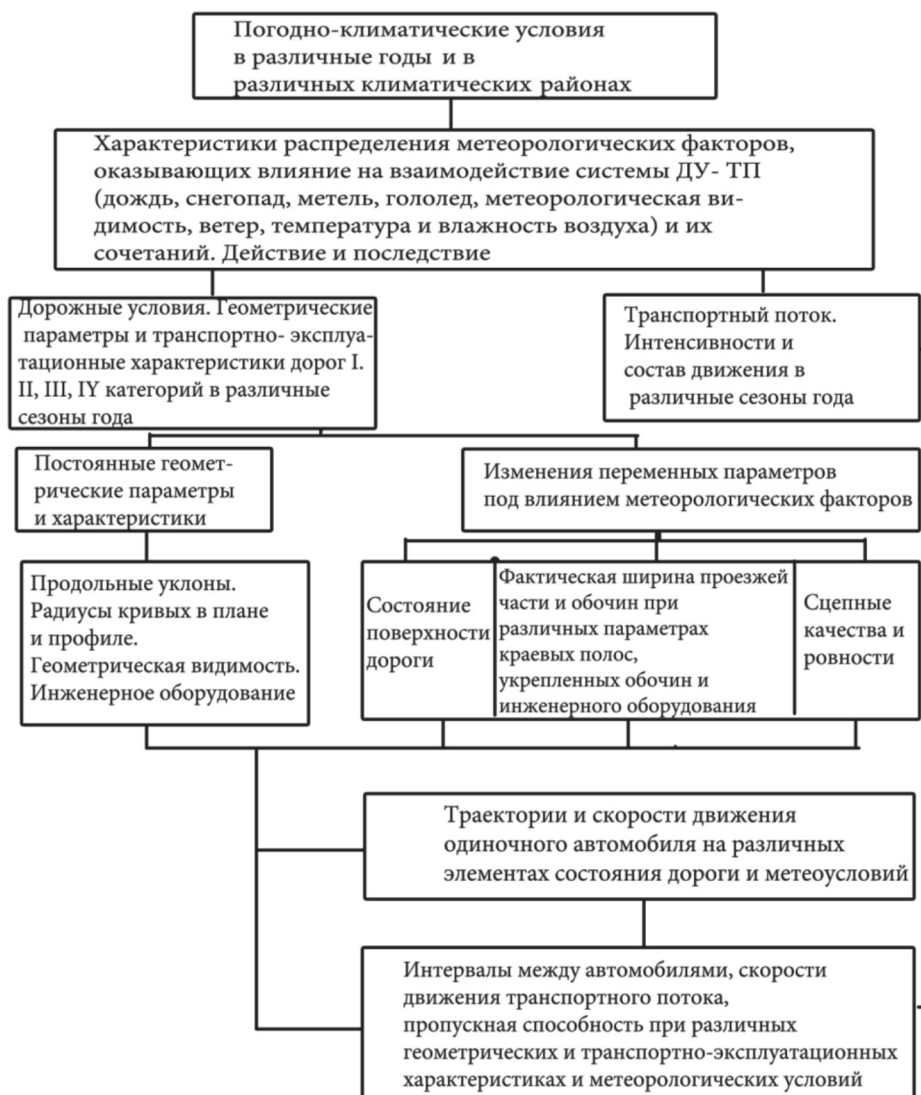


Схема комплексных экспериментальных исследований

Геометрические параметры и другие постоянные характеристики определились путем изучения технической документации и разового обследования дорог в соответствии с действующими методиками [3].

Наиболее трудоемким являлось изучение переменных параметров и характеристик дорог, воздействий метеорологических явлений на условия движения, а также режимов движения транспортных потоков. Для исследования этих вопросов были проведены систематические обследования дорог и созданы постоянно действующие посты наблюдения.

Комплексные обследования и наблюдения были выполнены на дорогах I, II, III, IV категорий во II, III и IV дорожно-климати-

ческих зонах, общим протяжением около 2 тыс. км. Для длительных наблюдений на каждой дороге были выбраны характерные участки. В первую очередь выбирался участок, параметры и характеристики которого отвечали эталонным требованиям. При отсутствии таковых выбирались базовые участки с характеристиками, наиболее близкими к эталонным. Затем намечались другие характерные участки для систематических наблюдений. При наблюдениях за эталонные принимались условия движения в летнее время в сухую, ясную, безветренную погоду при температуре воздуха от 10 до 25 °С.

Первая часть экспериментальных обследований и полевых наблюдений за измене-

ниями состояния дорог, параметров транспортного потока и режимов движения была выполнена авторами на дорогах Саратовской области и Башкортостана и включала в себя оценку климатических и погодных показателей, периодические обследования изменений показателей, транспортно-эксплуатационных характеристик дорог и их состояния, влияния их на интенсивность и состав транспортного потока, скорость и траектории движения автомобилей в различные сезоны года и в различных метеорологических условиях на дорогах II–IV категорий. В процессе наблюдений были выявлены трудности, связанные с влиянием метеорологических условий на сам процесс полевых экспериментальных работ.

Организация обследований и наблюдений в зимний и осенне-весенние периоды года значительно сложнее и требует тщательного выбора мест наблюдения, оборудования пунктов наблюдения, обоснованных продолжительности наблюдения каждым наблюдателем и экипировки наблюдателя, выбора приборов и приспособлений для наблюдений.

Накопленный опыт полевых исследований и наблюдений в неблагоприятных метеорологических условиях позволил уточнить общую методику исследований и разбить ее на три этапа: последовательный, проведение обследований и полевых наблюдений, обработка материалов обследований и наблюдений [4, 5].

Первый этап включает постановку задачи экспериментальных исследований, выбор объекта наблюдений, изучение технической документации по объекту, разработку методики обследований и наблюдений, подбор аппаратуры, разработку и размножение форм журналов и учета документации, сбор и изучение данных о климатических и метеорологических условиях автомобильной дороги.

Второй этап начинается с рекогносцировочного осмотра дороги и уточнения геометрических параметров и технических характеристик. Затем выбираются характерные участки для детальных обследований и наблюдений, местоположение пунктов наблюдений (временных и постоянных), наносятся створные линии, проводится инструктаж наблюдений, делаются пробные замеры, уточняются методики, проводятся полевые наблюдения и их предварительная обработка.

На третьем этапе ведется камеральная обработка материалов исследования и наблюдений. В первый период эта работа выполнялась вручную, а затем с применением ЭВМ, для чего были составлены специальные формы журналов наблюдений

и программы статистической обработки результатов.

По отработанной методике были проведены обследования и наблюдения на дорогах I–IV категории в различных дорожно-климатических зонах. Методика включала полевые измерения и наблюдения на характерных участках дорог ширины проезжей части и обочин. Измерения ширины проезжей части и обочин проводились на всех характерных участках дороги. В осенне-весенний периоды измерялась ширина чистой проезжей части, ширина полос загрязненная и ширина обочин. Зимой измерялась ширина чистой проезжей части, ширина полос наката, общая ширина полосы движения (фактическая ширина проезжей части), ширина обочины, наличие и ширина краевой укрепительной полосы и укрепительной обочины. Все измерения проводились в одних и тех же створах в течение всех периодов наблюдений. Всего выполнено около 8 тыс. измерений ширины проезжей части и обочин на 2,2 тыс. створов.

Состояние проезжей части и обочин оценивалось визуально по видам «сухое», «мокрое чистое», «мокрое загрязненное», «заснеженное», «снежный накат», «обледенелое» и записывалось в журнал в каждом створе изменений.

Коэффициент сцепления колеса с покрытием определялся на конкретных участках дорог протяжением 10–20 км при различных состояниях покрытия и в различные периоды года на скорости 60 км/ч. Всего получено 15 тыс. измерений коэффициента сцепления.

Ровность покрытия определялась на тех же конкретных участках дорог протяжением 10–20 км непрерывно.

Наблюдения за транспортным потоком включали определение интенсивности и состава движения на всех характерных участках дорог. Наблюдения велись как выборочные, так и круглогодичные по два раза в месяц на всех обследованных дорогах. Для выявления расположения движения по дням недели в каждый сезон в течение недели выполнялись ежедневно сплошные наблюдения, а для исследования характера распределения интенсивности движения по длине дороги и определения степени загрузки отдельных перегонов проводились суточные замеры интенсивности движения по всему участку (на учетных пунктах) в рабочие и выходные дни.

Наблюдения за режимами движения проводились систематически во все периоды года на всех характерных участках. Кроме того, наблюдения выполнялись во время выпадения дождя, снега, действия тумана,

ветра, гололеда. Круглогодичные наблюдения выполнены на 480 сечениях различных дорог. Общий массив наблюдений за скоростями превышает 320 тыс. измерений.

Траектории движения изучались путем измерения зазоров безопасности от кромки проезжей части до заднего колеса автомобиля. Наблюдения выполнены на 126 сечениях, получено около 25 тыс. измерений. Определение интервалов между автомобилями выполнялось наблюдателями с помощью секундомеров. Всего получено около 12 тыс. измерений интервалов движения.

Обработка материалов ведется по специальной программе, позволяющей получить характеристики транспортного потока, обработанные методами математической статистики. Статистические характеристики определяются как для всего потока в целом, так и для каждой скоростной группы в отдельности. ЭВМ выдает следующие характеристики транспортного потока: суточная интенсивность движения, состав потока в процентах по скоростным группам, минимальная и максимальная скорости движения, средняя скорость движения, мода и модальное значение скоростей, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, эксцесс, асимметрия, значения скоростей 95, 85, 50 и 15% обеспеченности, распределение скоростей по интервалам через 5 км/час.

Наибольшее влияние на условия и режим движения метеорологические факторы оказывают через состояние поверхности дороги, которое складывается из состояния покрытия проезжей части и обочин [1, 6].

Можно выделить две группы показателей качества поверхности дороги, необходимые для движения автомобилей:

а) показатели, характеризующие взаимодействие автомобиля с дорогой – прочность дорожной одежды, ровность, коэффициент сцепления, коэффициент сопротивления качению;

б) показатели, характеризующие восприятие дороги водителем – геометрические параметры, четкость очертания элементов поверхности (проезжая часть, краевые полосы, обочины), различие их внешнего вида.

Влияние погодных условий на фактическое состояние дорог оценивается качественными показателями: ровное и неровное, с колеями, мокрое (чистое и загрязненное), заснеженное (покрытое рыхлым снегом или уплотненным слоем снега – снежный накат), влажное, сухое, гололед, шероховатое, скользкое, ямочность и выбоины.

Мокрое дорожное покрытие наблюдается, когда на микроповерхности проезжей части имеется пленка свободной воды.

Дорожное покрытие считается заснеженным если на его поверхности присутствует рыхлый снег.

Покрытие считается влажным, если микроповерхность его покрыта сплошным слоем связанной воды. Такой показатель наблюдается если относительная влажность воздуха достигла 90–100%, но температура дорожного покрытия остается положительной. При отрицательной температуре в этих условиях появляется микрогололед.

Снежный накат наблюдается при наличии небольшого слоя снега, который уплотнен движением автомобилей.

Сухой считается дорога, если микроповерхность покрытия не имеет непрерывной пленки воды. Такой показатель наблюдается когда относительная влажность воздуха до 90%.

В зависимости от технического уровня дорог, уровня содержания, вида и характера проявлений метеорологических условий, наблюдаемых для каждого периода года качественные показатели дорожного покрытия могут распространиться на всю ширину проезжей части и соответственно обочин и захватывать большую протяженность дорог, или охватывать лишь малую часть дорожного покрытия, как бы образуя отдельные островки.

Обследования дорожного покрытия показали, что сухое чистое покрытие, сухие обочины и, в общем, благоприятные условия движения наблюдаются преимущественно в летний период. В осенний и весенний сезоны года чаще дорожное покрытие влажное или мокрое и грязные, иногда разрушенные обочины.

Основным отличием осенне-весеннего сезонов является увеличение длительности последствия осадков, которое объясняется возрастанием влажности и понижением температуры воздуха и испаряемости в эти периоды [7, 8]. На длительность последствия влияет рельеф местности, тип грунтов, продуваемость участка дороги и др. Для определения длительности последствия осадков были проведены наблюдения за временем просыхания покрытия и обочин из различных грунтов на дороге Саратов – Воронеж, где был организован постоянный пост. В переходные периоды особенно при температуре воздуха от 0 до плюс 7° время высыхания дорожного покрытия и обочин во много раз превосходит время выпадения дождя или мокрого снега (табл. 1). В указанный период даже неинтенсивные продолжительные дожди имеют последствия в 3–5 раз больше, чем ливневые дожди летом (табл. 1).

Таблица 1

Продолжительность просыхания дорог

| Тип покрытия и обочин                              | Продолжительность высыхания после прекращения дождя, час |                                                        |            |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------|
|                                                    | Летом                                                    | Весной и осенью при среднесуточной температуре воздуха |            |
|                                                    |                                                          | +1 ÷ +7°C                                              | +8 ÷ +15°C |
| Чистое асфальтобетонное и цементобетонное покрытие | 1–2                                                      | 3–10                                                   | 2–6        |
| То же покрытие, загрязненное                       | 1,5–2,5                                                  | 4–12                                                   | 3–6        |
| Сильно загрязненные прикромочные полосы            | 2–3                                                      | 5–15                                                   | 4–10       |
| Обочины из песчаных и супесчаных грунтов           | 3–4                                                      | 6–10                                                   | 6–8        |
| Обочины из глинистых и суглинистых грунтов         | 6–10                                                     | 15–30                                                  | 10–20      |

Существенно отличается от эталонного состояние дорог в зимний период, причем главным фактором формирования состояния поверхности дороги являются снежные осадки и метели. В зависимости от таких показателей, как температурный режим воздуха, интенсивность выпадения снега, скорость ветра и строение земляного полотна, выпадающий снег либо уносится ветром, либо остается на проезжей части и попадает под колеса движущихся автомобилей. В случаях, когда удаление снега с покрытия производится несвоевременно, из покрытия образуется слой рыхлого или накатанного снега, который под действием движения может переходить в лед.

При температурах воздуха, близких к нулю, выпадающий снег ложится на покрытие и под колесами автомобилей тает. Мокрая проезжая часть может наблюдаться на дороге при температуре воздуха до минус 7°C, а в случаях применения противогололедных солей или растворов и при более низкой температуре [9].

Если учесть, что одновременно увеличивается длительность выпадения самих осадков, будет понятно, почему при сравнительно небольшой разнице в объеме выпадающих дождей в летний и осенне-весенний периоды состояние дорог в указанные сезоны значительно отличается. В переходные периоды года длительность осадков и их последствия настолько возрастают, что дорога находится во влажном состоянии большую часть сезона. Особенно заметно возрастает продолжительность просыхания неукрепленных обочин. Наблюдения показывают, что практически в течение 40–60% времени и более в осенне-весенний период неукрепленные обочины, независимо от ширины, не выполняют своего назначения [10].

Большую опасность для движения создает снежный накат, лежащий в виде от-

дельных пятен на поверхности дороги. Это его наиболее распространенный вид. Как правило, полосы движения проезжей части, обращенные к югу и западу, очищаются от снежного наката быстрее, чем полосы, обращенные к северу и востоку. В результате на дорогах, расположенных в широтном направлении, одна полоса движения всегда более чистая, чем другая. Такое положение приводит к перераспределению транспортного потока по ширине проезжей части, особенно при невысокой интенсивности движения. Кроме того, неравномерность распределения пятен наката приводит и к неравномерному распределению сцепных качеств покрытия как вдоль, так и по ширине дороги.

По данным наблюдениям определена вероятность появления каждого фактора в отдельности и выполнены расчеты математического ожидания каждого метеорологического явления в отдельности и в сочетании с другими метеоявлениями.

Для этого вначале определено математическое ожидание вероятности появления двух и более неблагоприятных метеорологических явлений, действующих одновременно.

$$Z \in P_i(x_i) = (P_1P_2 + \dots + P_1P_n) + (P_1P_2P_3 + \dots + P_1P_2P_n) + (P_1P_2P_3P_4 + \dots + P_1P_2P_3P_n),$$

где  $P_i(x_i)$  – общая вероятность появления каждого метеорологического явления. Исключаются явно невозможные сочетания, такие как туман и сильный ветер, снег и высокая температура воздуха и др. Вычисляется сумма произведений парных и тройных сочетаний, а также сочетаний четырех метеорологических явлений. Вероятность сочетания большего числа неблагоприятных факторов очень мала, и ею можно пренебречь.

Затем определяется вероятность появления каждого неблагоприятного явления, действующего отдельно:

$$P'_i(x_i) = P_i(x_i) - \sum_i^n P_i P_i(x_i).$$

Математическое ожидание количества случаев появления каждого неблагоприятного метеорологического явления за время наблюдений составляет:

для одиночных явлений

$$n_1 = 730 \times P'_i(x_i), \quad (1)$$

для сочетаний двух явлений

$$n_2 = 730 \times \sum_1^2 P_2 P'_i(x_i), \quad (2)$$

для сочетаний трех явлений

$$n_3 = 730 \times \sum_1^3 P_3 P'_i(x_i), \quad (3)$$

для сочетаний четырех явлений

$$n_4 = 730 \times \sum_1^4 P_4 P'_i(x_i). \quad (4)$$

Математическое ожидание общего количества неблагоприятных явлений  $N_p$  может быть определено по формуле

$$N_p = 730 \left( \sum P'_i(x_i) + 2 \sum_1^2 P_2 P_i(x_i) + 3 \sum_1^3 P_3 P_i(x_i) + 4 \sum_1^4 P_4 P_i(x_i) \right).$$

Результаты расчетов и их сравнение с данными наблюдениями приведены в табл. 2.

**Таблица 2**

Математическое ожидание общего количества неблагоприятных явлений

| Метеорологические факторы и их сочетания                          | Расчетные показатели                          |                              | Фактически наблюдалось случаев |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|                                                                   | Вероятность появления неблагоприятных явлений | Ожидаемое количество случаев |                                |
| Туман, $P_1$                                                      | 0,0380                                        | 28                           | 32                             |
| Дождь, $P_2$                                                      | 0,0468                                        | 34                           | 34                             |
| Снегопад, $P_3$                                                   | 0,0396                                        | 29                           | 30                             |
| Ветер, $P_4$                                                      | 0,0298                                        | 22                           | 23                             |
| Метель, $P_5$                                                     | 0,0490                                        | 35                           | 38                             |
| Гололед, $P_6$                                                    | 0,0183                                        | 14                           | 16                             |
| Температура воздуха, $P_7$                                        | 0,0246                                        | 18                           | 23                             |
| Относительная влажность, $P_8$                                    | 0,0262                                        | 19                           | 16                             |
| Итого:                                                            | 0,2723                                        | 199                          | 212                            |
| Сочетания двух элементов                                          | 0,2523                                        | 184                          | 194                            |
| Сочетания трех элементов                                          | 0,0212                                        | 15                           | 13                             |
| Сочетания четырех элементов                                       | 0,0002                                        | 1                            | —                              |
| Общее количество неблагоприятных метеорологических явлений, $N_p$ | —                                             | 616                          | 639                            |

Как видно из сопоставления, расчетные данные хорошо совпадают с явлениями фактических наблюдений. Ошибка составляет

$$\delta = \frac{639 - 616}{616} \times 100 = 3,7 \, \%.$$

Таким образом, предложенная методика может быть использована как определение и прогнозирование вероятности появления неблагоприятных метеорологических явлений и их сочетаний по распределению вероятности каждого явления.

**Список литературы**

1. Алгоритм решения задачи оптимального трассирования лесовозной автомобильной дороги на неоднородной местности / Е.В. Чернышова [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. – Т. 79. № 2 (72). – С. 113–120.
2. Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Пономарева Н.Г., Тюрикова Т.В., Хрусталева М.О. Математическая модель процесса прессования термомодифицированной древесной коры в пресс-грануляторах барабанного типа // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2017. – № 2 (356). – С. 130–148.
3. Логойда В.С. Изменение параметров технического состояния элементов лесотранспортных машин при эксплуатации // Системы. Методы. Технологии. – 2017. – № 3 (35). – С. 149–154.
4. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision / A.V. Skrypnikov, S.V. Dorokhin, V.G. Kozlov and E.V. Chernyshova // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017, Vol. 12, No. 2, p. 511–515.
5. Скрыпников А.В. Разработка теоретических основ и методов управления лесовозным автотранспортом // Бюллетень транспортной информации. – 2009. – № 9. – С. 23–24.
6. Анализ методов оценки надежности сложных технических комплексов / М.М. Умаров, А.Ю. Арутюнян [и др.] // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: ВГУИТ, 2015. – С. 76–81.
7. Салминен Э.О. Лесная транспортная инфраструктура как элемент развития транспортной инфраструктуры региона // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы Второй международной научно-технической конференции. – 2017. – С. 79–81.
8. Левушкин Д.М., Кривенцова Я.Ю., Борисов В.А. Повышение прочности дорожных покрытий лесовозных дорог // Наука сегодня: опыт, традиции, инновации: материалы международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 16–21.
9. Карпачёв С.П., Запруднов В.И., Шмырев В.И., Шмырев Д.В., Камусин А.А., Редькин А.К. Моделирование технологических процессов освоения биоресурсов леса с использованием мягких контейнеров на лесосеке // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 2 (236). – С. 45–48.
10. Сербулов Ю.С., Лемешкин А.В. Системное моделирование ресурсных задач. Выбор и распределение ресурсов. – Saarbrücken, 2017. – 230 с.