

Но без песчаной прослойки дорожной конструкции не обойтись, т.к. она выполняет дренирующие, морозоустойчивые и др. функции, но укрепление песчаного и грунтового основания возможно не целесообразно в связи с низкими физико-механическими свойствами материала.

Выводы:

1. В двухслойной дорожной конструкции из щебня и песка, наиболее слабым местом является песчаное основание.
2. Для уменьшения накапливания действующих напряжений в песчаном слое необходимо их перехватывать в вышележащих слоях, что видно из рис. 3.
3. Для исключения увеличения тол-

щины щебеночного слоя можно использовать армирующие мероприятия – укладку геосинтетических материалов.

### Библиографический список

1. Занин А.А. Оценка целесообразности и направления совершенствования дорожных одежд лесных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал. Воронеж, 2011. Вып. №2. С. 13-17.
2. Дорожные одежды из местных материалов / ред. А. К. Славуцкий. – Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1977. 264 с.

DOI: 10.12737/1772

УДК 630\*160.2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРIZУЮЩИХ ДВИЖЕНИЕ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ПО УЧАСТКУ МАГИСТРАЛИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

кандидат технических наук, профессор кафедры промышленного транспорта,  
строительства и геодезии **В. Н. Макеев**

заведующий кафедрой промышленного транспорта, строительства и геодезии,  
доктор технических наук, профессор **С. И. Сушков**

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры математики **А. И. Фурменко**  
студент **М. С. Солопанов**

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»

[sushkov@mail.ru](mailto:sushkov@mail.ru), [vglta@vglta.vrn.ru](mailto:vglta@vglta.vrn.ru)

В настоящее время, как правило, и особенно в малолесных регионах специализированный подвижной состав доставляет хлысты или сортименты с лесосеки на нижний склад лесопромышленного предприятия, двигаясь, часть маршрута по лесовозным дорогам, а часть по магистралям общего пользования.

Технические характеристики лесовозного автопоезда (автомобиля – сортировщика) въезда существенно влияют на особенности его на магистраль общего пользования и движение его по участку магистрали до съезда с него.

При моделировании этого процесса перехода автопоезда (автомобиля – сорти-

ментовоза) с лесовозной дороги на участок магистрали общего пользования, а затем опять на лесовозную дорогу, большее значение имеет определение среднего времени ожидания лесовозного подвижного состава благоприятных условий для въезда на магистраль общего пользования и среднего времени движения по участку данной магистрали до момента съезда с него.

Рассмотрим упрощённую схему момента въезда лесовозного автопоезда (автомобиля – сортиментовоза) на магистраль общего пользования (рис. 1).

Предположим, что через поперечник „СС” ширины магистрали общего пользования движется установившийся транспортный поток в двух направлениях. Бу-

дем считать, что движение транспортного потока по магистрали общего пользования подчинено закону Пуассона [1]. В этом случае вероятность того, что за время  $t$  через перекрёсток в сторону движения лесовоза пройдёт „ $n$ ” количество единиц автомобильного транспорта различного вида, определяется по формуле:

$$P_n(t) = \frac{1}{n!} (\lambda t)^n \cdot \exp(-\lambda t), \quad (1)$$

где  $\lambda$  – параметр пуассоновского потока, характеризующий число единиц различного типа автомобилей, проходящих через поперечник „СС” ширины проезжей части магистрали в единицу времени (т.е.  $\lambda$  – интенсивность движения).

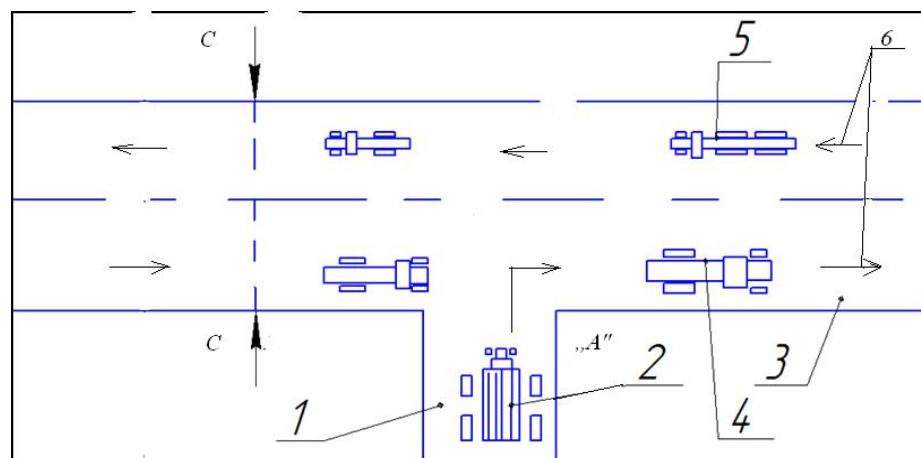


Рис. 1. Момент въезда (вхождения) лесовозного подвижного состава на магистраль общего пользования: 1 – лесовозная дорога, 2 – лесовозный подвижной состав, 3 – магистраль общего пользования, 4 – автотранспорт общего назначения, движущийся в сторону движения лесовоза, 5 – автотранспорт встречного потока; 6 – направление движения транспортных потоков магистрали

Если предположить, что суточное время разбито на конечное число периодов, то можно считать, что  $\lambda$  постоянно для каждого периода и поток будем считать стационарным.

Обозначим через „ $T$ ” наименьший промежуток времени ожидания необходимый лесовозному автопоезду, находящемуся в точке „ $A$ ” (рис. 1), для момента въезда на магистраль общего пользования

при условии, что все типы автомобилей,двигающиеся по магистрали, не будут изменять своих скоростных характеристик и направления движения.

Плотность распределения временных промежутков движения между последовательными автомобилями в сторону движения лесовозного автопоезда задаётся соотношением:

$$\varphi(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda t), \quad (2)$$

тогда существующая функция распределения равна:

$$F(t) = \int_0^t \lambda \exp(-\lambda \tau) d\tau = 1 - \exp(-\lambda t), \quad (3)$$

Обозначим через  $t_1$ , наименьший промежуток времени между моментом прибытия лесовоза в т.А и моментом появления I-го автомобиля на перекрёстке магистрали общего пользования (рис. 1), через  $t_2$  – промежуток времени между первым и вторым автомобилем на магистрали движущихся в сторону движения лесовозного автопоезда, соответственно определяются последующие промежутки  $t_3, \dots, t_n$ . В этом случае, если для некоторого числа „K”  $\max\{t_1, \dots, t_k\} < T$ , а  $t_{k+1} \geq T$ , то время ожидания лесовозного автопоезда в пункте А до въезда на магистраль дороги общего пользования равно  $t_1 + t_2 + \dots + t_k$ . Если случайные величины  $t_i$  считаются независимыми, то ве-

$$\overrightarrow{T_{ожид}} = (1 - (1 - \exp(-\lambda T))^{-1} \cdot \left( \int_0^T \tau \exp(-\lambda \tau) d\tau \right) = \exp(\lambda T) \cdot \left[ \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda} \exp(-\lambda T) - T \exp(-\lambda T) \right] = \frac{1}{\lambda} \exp(\lambda T) - \frac{1}{\lambda} - T, \quad (8)$$

Вхождение лесовозного автопоезда в транспортный поток магистрали общего пользования существенно меняет характер движения по магистрали, в частности, габариты лесовозного автопоезда делают затруднённым, а в ряде случаев невозможным выполнение обгона как самим лесо-

роятность момента въезда лесовозного автопоезда на магистраль общего пользования после пропуска „K” машин (автомобилей) может быть задана формулой:

$$P(t_1 < T) \cdot P(t_2 < T) \dots P(t_k < T) \cdot (1 - P(t_{k+1} < T)), \quad (4)$$

Для определения плотности распределения суммы  $t_1 + t_2 + \dots + t_k$  независимых случайных  $t_1 + t_2 + \dots + t_k$  достаточно воспользоваться формулой свертки функций. Так как характеристическая функция величины  $t_1$  имеет вид:

$$\int_0^\infty e^{\eta \tau_i} \lambda e^{-\lambda \tau_i} d\tau_i = \frac{\lambda}{\lambda - \eta}, \quad (5)$$

то преобразование позволяют получить выражение для плотности распределения вероятностей суммы  $t_1 + t_2 + \dots + t_k$  при условии, что  $t_1 + t_2 + \dots + t_k < T$ . (см.[1])

$$\varphi_{1,2,\dots,k} = \lambda \frac{(\lambda t)^{k-1} \exp(-\lambda t)}{(n-1)!}, \quad (6)$$

Средняя длительность ожидания лесовозным автопоездом необходимого временного промежутка между движущимися автомобилями для момента въезда на магистраль общего пользования с перекрёстка определяется из соотношения:

$$\overrightarrow{T_{ожид}} = (1 - F(T))^{-1} \cdot \left( \int_0^T \tau \varphi(\tau) d\tau \right), \quad (7)$$

Интегрирование формулы (7) даёт следующие выражение:

возным автопоездом, так и более скоростными участниками движения (различного рода автомобилей потока). Предполагая, что на участке магистрали общего пользования находятся участники движения с более низкими скоростями, чем эксплуатационная скорость лесовоза (например, трак-

торы, спецмашины и т.д.), рассмотрим изменение средней скорости движения лесовозного автопоезда на участке АВ (рис. 2)

и, следовательно, средне время прохождения АВ, какой-то определённой протяжённости.

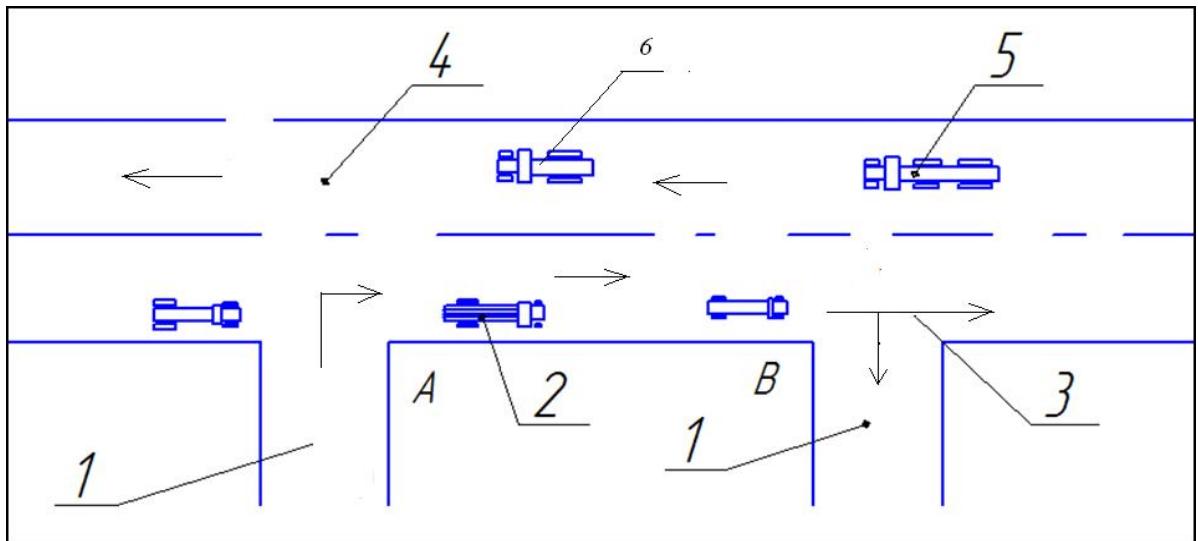


Рис. 2. Движение лесовозного автопоезда на участке магистрали общего пользования за транспортом с меньшим скоростным движением: 1 – лесовозная дорога; 2 – лесовозный автопоезд; 3 – направление движения; 4 – магистраль общего пользования; 5 – различные автомобили в потоке на магистрали; 6 – колесный трактор с тележкой

При рассмотрении данной задачи удобно воспользоваться методом, предложенным в работе [2].

Выделим в общем транспортном по-

$$[V_1, V_2], [V_2, V_3], \dots, [V_{n-1}, V_n], \text{ при } (V_i < V_{i+1}) \quad (9)$$

где  $V_1$  – наименьшая скорость транспортного средства, зафиксированная на участке АВ,

$V_n$  – наибольшая скорость, зафиксированная на участке АВ.

Обозначим через  $\lambda_i$  ( $i=1, \dots, n-1$ ) интенсивность потока автомобилей, поступающих на участок АВ со скоростями из промежутка  $[V_i, V_{i+1}]$ .

Определим через  $\vec{V}_i$  – среднюю скорость автомобиля из промежутка  $[V_i, V_{i+1}]$  с учётом интенсивности  $\lambda_i$ . Обозначим через  $V_L$  – наибольшую техническую ско-

токе интенсивности  $\lambda$  группы автолюбителей, скорости которых попадают в фиксированные промежутки:

рость лесовозного автопоезда на участке АВ [3]. Предположим, что автомобили с определёнными средними скоростями  $V_i$  поступают на участок АВ по закону Пауссона с  $\lambda = \lambda_i$ .

Введём на участке АВ магистрали общего пользования систему координат (рис. 3).

Будем предполагать, что лесовозный автопоезд не может обгонять транспортные средства, движущиеся с меньшей скоростью, и в этой связи вынужден уменьшать свою собственную скорость.

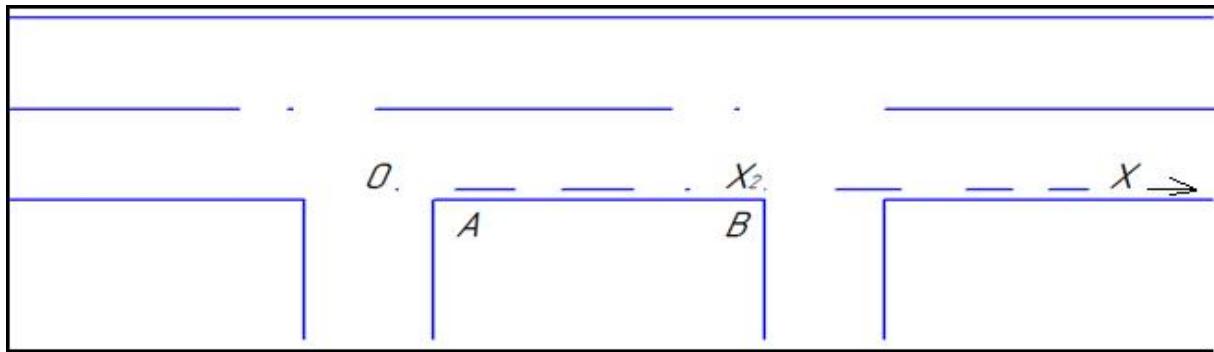


Рис. 3. Координатная схема движения лесовозного автопоезда на участке АВ за транспортным средством с наименьшей скоростью

Наименьшее расстояние автомобиля, двигающегося со скоростью  $\vec{V}_1$  ( $\vec{V}_1 < V_{\text{л}}$ ), от точки А(начало координат 0), позволяющее автомобилю выйти за пределы участка АВ до встречи с лесовозным автопоездом (при условии постоянной скорости  $V_i$ ) определяется по выражению:

$$P_{\text{л}}(V_{\text{л}} > V_i) = \exp(-\lambda_i x_i) = \exp\left[-\lambda_i\left(1 - \frac{V_i}{V_{\text{л}}}\right)AB\right], \quad (12)$$

Так как появление на участке АВ автомобилей с характеристиками  $\vec{V}_i$  ( $i=1, \dots, k$ ) представляет собой независимые случайные события, то вероятность того, что

$$P_{\text{л}}(V_{\text{л}}) = P_{\text{л}}(V > \vec{V}_1) \cdot P_{\text{л}}(V > \vec{V}_2) \dots P_{\text{л}}(V > \vec{V}_k), \quad (13)$$

При ( $V_{\text{л}} \leq \vec{V}_{k+1}$ ).

Вероятность, что снижение скорости

$$P_{\text{л}}(V_{\text{л}}) = P_{\text{л}}(V > \vec{V}_1) \cdot P_{\text{л}}(V > \vec{V}_2) \dots P_{\text{л}}(V > \vec{V}_{k-1}) \cdot [1 - P_{\text{л}}(V > \vec{V}_{k-1})], \quad (14)$$

Аналогично можно определить вероятности снижения скорости лесовозного автопоезда до величины  $\vec{V}_1, \vec{V}_2, \dots, \vec{V}_{k-1}$  в конце участка АВ. Так

$$P(\vec{V}_1) = 1 - P(V > \vec{V}_1), \quad (15)$$

$$\vec{V}_{\text{л}}(\Delta x) = \Delta x \left[ \frac{\Delta x}{\vec{V}_1} P_{\text{л}}(v_1) + \frac{\Delta x}{\vec{V}_2} P_{\text{л}}(v_2) + \dots + \frac{\Delta x}{\vec{V}_k} P_{\text{л}}(\vec{V}_k) \right]^{-1}, \quad (16)$$

$$\frac{AB_i}{V_{\text{л}}} = \frac{AB - x_i}{V_i}, \quad (10)$$

Откуда

$$x_i = AB \frac{V_{\text{л}} - V_i}{V_i}, \quad (11)$$

Вероятность того, что лесовозному автопоезду не придётся на участке АВ снижать скорость до величины  $V_i$  определяем, как:

лесовозный автопоезд пройдёт весь участок АВ без снижения скорости  $V_{\text{л}}$  будет равна:

лесовозного автопоезда произойдёт до величины  $\vec{V}_k$  в конце участка АВ определяем, как

Выбрав достаточно малый промежуток  $[B-\Delta x, B]$  участка АВ, можно определить среднюю скорость лесовозного автопоезда на участке  $\Delta x$ .

А также можно определить время движения лесовозного автопоезда по участку АВ из соотношения

$$T_{\text{движ}} = \int_0^{x=B} \frac{1}{\overrightarrow{V}_1} [1 - \exp(-\lambda_1(1 - \frac{\overrightarrow{V}_1}{V_\lambda})x)] dx + \int_0^{x=B} \frac{1}{\overrightarrow{V}_2} [1 - \exp(-\lambda_1(1 - \frac{\overrightarrow{V}_1}{V_\lambda})x) \cdot (1 - \exp(-\lambda_2(1 - \frac{\overrightarrow{V}_2}{V_\lambda})x))] dx + \dots + \int_0^{x=B} \frac{1}{\overrightarrow{V}_k} [\exp(-\lambda_2(1 - \frac{\overrightarrow{V}_2}{V_\lambda})x) \dots \exp(-\lambda_{k-1}(1 - \frac{\overrightarrow{V}_{k-1}}{V_\lambda})x) \cdot (1 - \exp(-\lambda_k(1 - \frac{\overrightarrow{V}_k}{V_\lambda})x))] dx, \quad (17)$$

Среднее время, затрачиваемое лесовозным автопоездом при переезде из пункта А в пункт В, т.е. с момента выезда на магистраль общего пользования до момента съезда на лесовозную дорогу В

$$T_{\text{сред}} = T_{\text{ожид}} + T_{\text{движения}}, \quad (19)$$

Таким образом, в настоящее время практически все лесопромышленные предприятия как многолесных, так и малолесных регионов для вывозки заготовляемых лесоматериалов используют дороги общего пользования, т.е. потоки лесных грузов как бы вливаются в общие существующие в действительности потоки различных грузов этих дорог. А это, безусловно, требует определённого теоретического обоснования, чему и посвящается настоящая статья.

$$T_{\text{движ}} = \int_0^{x=B} \frac{dx}{\overrightarrow{V}_1(Ax)}. \quad (17)$$

### **Библиографический список**

1. Кожин А.П. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками: учеб. пособ. М.: Высшая школа, 1979. 303 с.
2. Матюнин Н.Е., Катькало Ю.А. Применение математических методов на промышленном транспорте: учеб. пособ. Минск: Высшая школа, 1979. 191 с.
3. Макеев В.Н., Дымова Н.Н., Долматов Д.В. Определение технической скорости движения лесовозных автопоездов // Лесотехнический журнал. Воронеж: ВГЛТА, 2011. №3. С. 81-83.