

Но без песчаной прослойки дорожной конструкции не обойтись, т.к. она выполняет дренажные, 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, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ 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, vglt@vglt.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 – сортиментовоза) 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 λ – параметр пуассоновского потока, характеризующий число единиц различного типа автомобилей, проходящих через поперечник „СС” ширины проезжей части магистрали в единицу времени (т.е. λ – интенсивность движения).

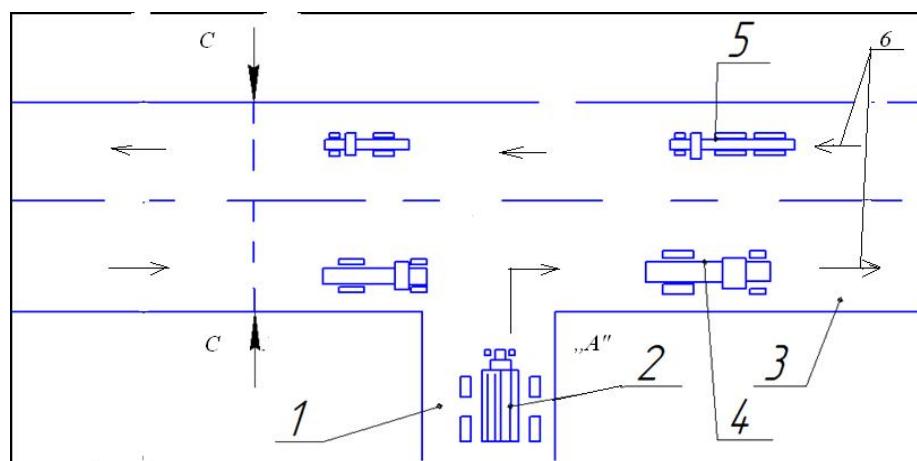


Рис. 1. Момент въезда (вхождения) лесовозного подвижного состава на магистраль общего пользования: 1 – лесовозная дорога, 2 – лесовозный подвижной состав, 3 – магистраль общего пользования, 4 – автотранспорт общего назначения, движущийся в сторону движения лесовоза, 5 – автотранспорт встречного потока;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

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

Обозначим через „ T ” наименьший промежуток времени ожидания необходимого лесовозному автопоезду, находящемуся в точке „А” (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-

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_i имеет вид:

$$\int_0^\infty e^{i\eta t_i} \lambda e^{-\lambda t_i} dt_i = \frac{\lambda}{\lambda - i\eta}, \quad (5)$$

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:

$$\overline{T_{ожид}} = (1 - F(T))^{-1} \cdot \left(\int_0^T t \varphi(t) dt \right), \quad (7)$$

Интегрирование формулы (7) даёт следующие выражение:

$$\begin{aligned} \overline{T_{ожид}} &= (1 - (1 - \exp(-\lambda T)))^{-1} \cdot \int_0^T t \exp(-\lambda t) dt = \exp(\lambda T) \cdot \left[\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda} \exp(-\lambda T) - \right. \\ &\quad \left. - T \exp(-\lambda T) \right] = \frac{1}{\lambda} \exp(\lambda T) - \frac{1}{\lambda} - T, \end{aligned} \quad (8)$$

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 лесовозным 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-

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, среднее время прохождения АВ, какой-то определённой протяжённости.

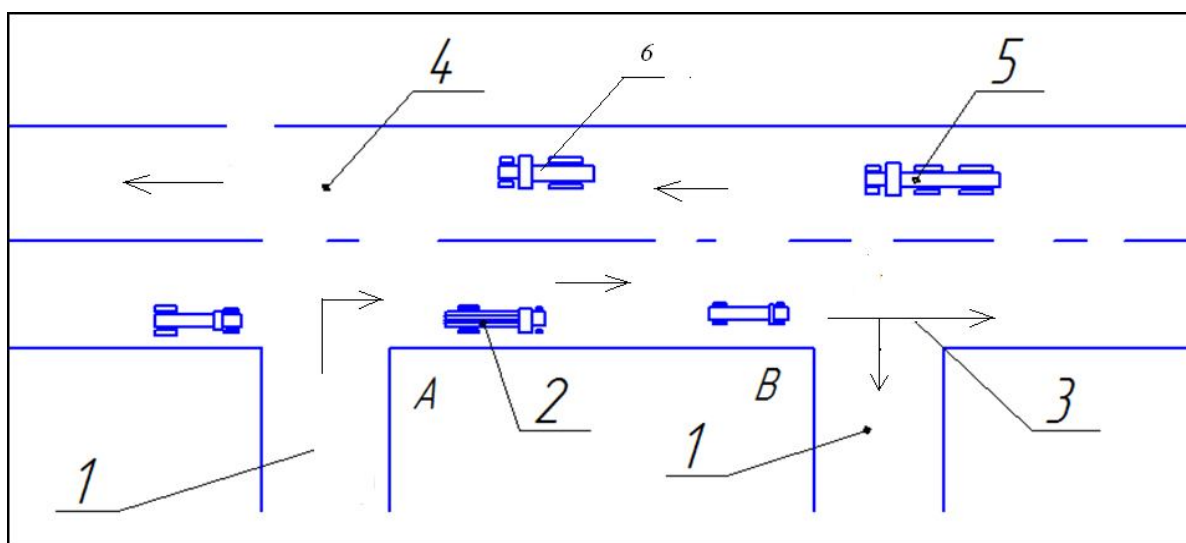


Рис. 2. Движение лесовозного автопоезда на участке магистрали общего пользования за транспортом с меньшим скоростным движением: 1 – лесовозная дорога; 2 – лесовозный автопоезд; 3 – направление движения; 4 – магистраль общего пользования; 5 – различные автомобили в потоке на магистрали; 6 – колесный трактор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

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

Выделим в общем транспортном потоке интенсивности λ группы автолюбителей, скорости которых попадают в фиксированные промежутки:

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

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

V_n – наибольшая скорость, зафиксированная на участке АВ.

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

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

рость лесовозного автопоезда на участке АВ [3]. Предположим, что автомобили с определёнными средними скоростями V_i поступают на участок АВ по закону Пуассона 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.

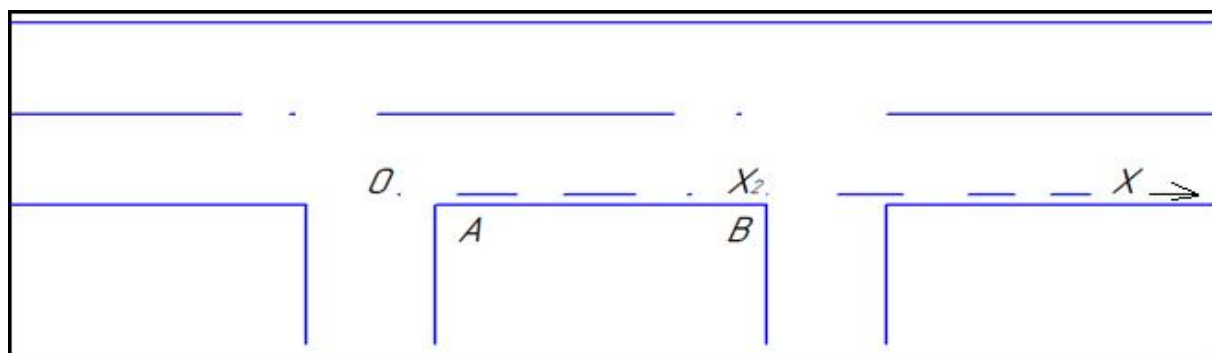


Рис. 3. Координатная схема движения лесовозного автопоезда на участке АВ за транспортным средством с наименьшей скоростью

Наименьшее расстояние автомобиля,двигающегося со скоростью \vec{V}_1 ($\vec{V}_1 < V_l$), 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:

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

Откуда

$$x_i = AB \frac{V_l - V_i}{V_i}, \quad (11)$$

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

$$P_l(V_l > V_i) = \exp(-\lambda_i x_i) = \exp[-\lambda_i (1 - \frac{V_i}{V_l}) AB], \quad (12)$$

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

лесовозный автопоезд пройдёт весь участок АВ без снижения скорости V_l будет равна:

$$P_l(V_l) = P_l(V > \vec{V}_1) \cdot P_l(V > \vec{V}_2) \dots P_l(V > \vec{V}_k), \quad (13)$$

При ($V_l \leq \vec{V}_{k+1}$).

Вероятность, что снижение скорости

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

$$P_l(V_l) = P_l(V > \vec{V}_1) \cdot P_l(V > \vec{V}_2) \dots P_l(V > \vec{V}_{k-1}) \cdot [1 - P_l(V > \vec{V}_{k-1})], \quad (14)$$

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

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

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

$$\vec{V}_l(\Delta x) = \Delta x \left[\frac{\Delta x}{V_1} P_l(v_1) + \frac{\Delta x}{V_2} P_l(v_2) + \dots + \frac{\Delta x}{V_k} P_l(\vec{V}_k) \right]^{-1}, \quad (16)$$

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

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

$$T_{\text{движ}} = \int_0^{x=B} \frac{1}{\vec{V}_1} [1 - \exp(-\lambda_1(1 - \frac{\vec{V}_1}{V_l})x)] dx + \int_0^{x=B} \frac{1}{\vec{V}_2} [1 - \exp(-\lambda_1(1 - \frac{\vec{V}_1}{V_l})x) \cdot (1 - \exp(-\lambda_2(1 - \frac{\vec{V}_2}{V_l})x))] dx + \dots + \int_0^{x=B} \frac{1}{\vec{V}_k} [\exp(-\lambda_2(1 - \frac{\vec{V}_2}{V_l})x) \dots \exp(-\lambda_{k-1}(1 - \frac{\vec{V}_{k-1}}{V_l})x) \cdot (1 - \exp(-\lambda_k(1 - \frac{\vec{V}_k}{V_l})x))] dx, \quad (18)$$

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 заготавливаемых 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.

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., Каткало 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.