

УДК 630*375.5

В.А. Алферов

Северный (Арктический) федеральный университет

Алферов Василий Александрович родился в 1983 г., окончил в 2007 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант Северного (Арктического) федерального университета. Область научных исследований – изучение эксплуатационных факторов при оценке топливной экономичности лесовозных автопоездов, имитационное моделирование их движения.
E-mail: Vasilij_Alferov@mail.ru



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА ПО КРИВЫМ В ПЛАНЕ

Представлены методика и результаты экспериментальных исследований по определению дополнительного сопротивления движению лесовозного автопоезда на участках кривых в плане. Представлена математическая модель сопротивления движению как функция от радиуса кривой.

Ключевые слова: лесовозный автопоезд, сопротивление движению, радиус кривой, динамический ряд.

Автомобильный лесовозный транспорт представляет собой важную фазу производственного процесса лесозаготовок. На его долю приходится более 80 % объема вывозки лесоматериалов, поэтому определение сопротивления движению автопоездов и меры по его уменьшению занимают важное место при разработке и совершенствовании их конструкции, а также при проектировании новых дорог.

Суммарное сопротивление движению складывается из сопротивлений, зависящих от конструкции и состояния автомобиля (колеса, подвеска, трансмиссии), конструкции и состояния дороги. В отличие от прямолинейных участков дорог на поворотах сопротивление движению возрастает из-за возникающих центробежных сил и реакции ходовой части автомобиля. При больших скоростях и малых радиусах эти силы достигают значительной величины [2].

При проектировании новых дорог руководствуются требованиями строительных норм и правил, согласно

которым принимают минимальные радиусы кривых в плане и продольном профиле и расстояния видимости дороги водителем. Эти требования исходят из расчетной скорости. Минимальные значения норм на элементы профиля и плана установлены на основании условных расчетных схем, недостаточно обоснованных наблюдениями за реальными режимами и траекториями движения автомобилей. В связи с этим возникает необходимость исследований для определения коэффициента сопротивления движению автопоезда на кривых различных радиусов.

В соответствии с поставленной целью нами проведены натурные дорожные испытания автопоезда КамАЗ-43118+ГКБ-8350 в Вологодской области на технологических маршрутах вывозки лесоматериалов. Коэффициент сопротивления движению ω_f (Н/т) определяли широко апробированным способом динамометрирования прицепа. Для реализации этого метода в тягово-сцепное устройство системы крюк – петля автопоезда монтировали

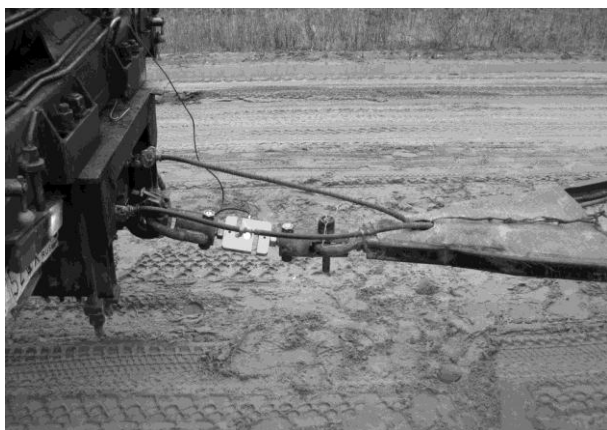


Рис. 1. Электронный динамометр, вмонтированный в тягово-сцепное устройство крюк – петля

электронный динамометр ДОУ-3-100И (рис. 1), предназначенный для измерения статической и динамической сил растяжения и сжатия.

Динамометры серии ДОУ представляют собой тензометрический датчик, соединенный кабелем связи с электронным измерительным индикатором. Он способен передавать сигналы в индикатор с частотой 10 Гц, что обеспечивает более точное фиксирование нагрузки и соответствует частоте продольных колебаний в тягово-сцепном устройстве автопоезда. Электронный измерительный индикатор имеет возможность соединения с ПК. посредством специализированного программного обеспечения View200 данные передаются на ПК и отображаются как в цифровой, так и в графической форме, что существенно облегчает дальнейшую процедуру их обработки.

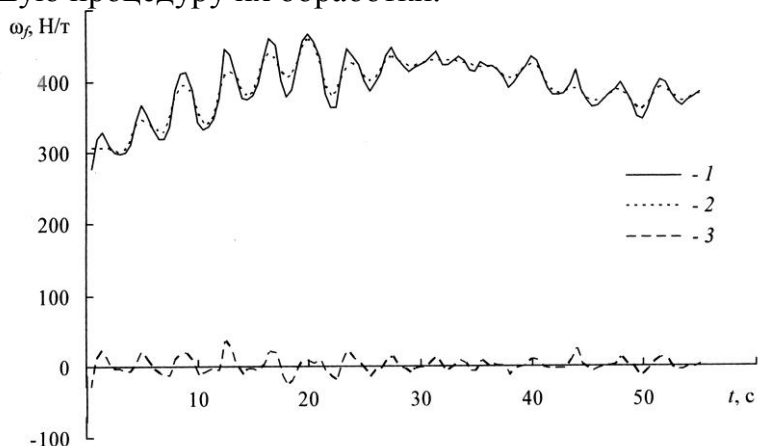


Рис. 2. Ряды данных сопротивления движению: 1 – исходный; 2 – преобразованный; 3 – ряд остатков

Сигналы динамометра записывали при буксировании прицепа в прямом и обратном направлениях по горизонтальному участку дороги с радиусами закругления 30, 50, 100, 200, 300, 400 и 500 м, скоростью 15...20 км/ч, не превышающей критическую по условию опрокидывания. Массу прицепа определяли на автомобильных весах УЦК 1-500/1000-10-10,0-2 с точностью ± 10 кг.

Отношение нагрузки (Н) к полной массе прицепа (т) приравнивали к искомому коэффициенту сопротивления движению. В результате эксперимента получили динамические ряды сопротивления движению для каждой исследуемой круговой кривой, а также для прямолинейного участка дороги, позволяющие определить дополнительное сопротивление движению. На рис. 2 представлен ряд данных сопротивления движению для кривой радиусом 30 м и его преобразование. Статистическую обработку данных производили с помощью пакета прикладных программ.

Для поиска аномально отклоняющихся значений применена процедура сглаживания, включающая в себя несколько последовательных преобразований [1]. На практике этот метод фильтрации дает сглаженный ряд, сохраняющий основные характеристики исходного. Затем строят ряд остатков вычитанием преобразованного ряда из

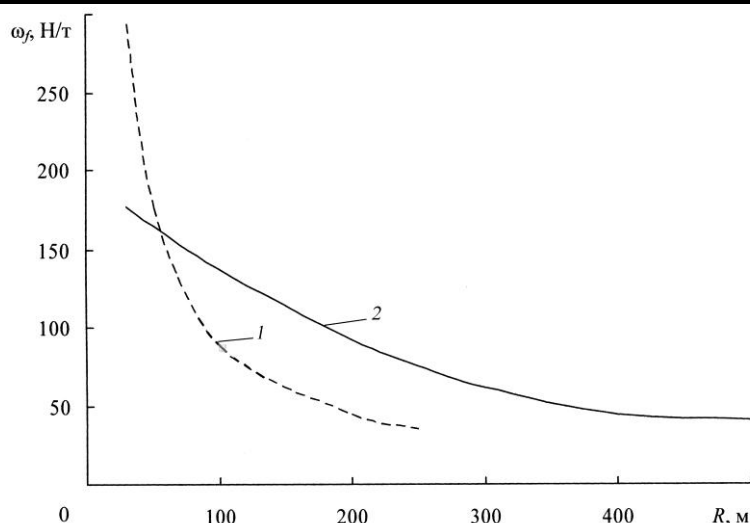


Рис. 3. Зависимость $\omega_f = f(R)$:
 1 – $\omega_f = gA/R$; 2 – $\omega_f = 196,44 - 0,66R + 7 \cdot 10^{-4}R^2$

исходного, находят робастную оценку его дисперсии и в качестве выбросов рассматривают точки, превысившие по модулю пять стандартных ошибок [3].

Статистический анализ показал, что для всех рядов данных плотность распределения сопротивления движению хорошо аппроксимируется функцией нормального распределения. Проверка по критерию согласия Колмогорова выявила, что теоретическое нормальное распределение плотности вероятности сопротивления движению для каждого ряда согласуется с их гистограммами с вероятностями, близкими к единице.

Для правомерности объединения рядов данных сопротивления движению в одну генеральную совокупность как независимую переменную в регрессионном анализе гипотезу об однородности дисперсий рядов данных проверяли по критерию Бартлетта [1]. Статистика критерия имеет вид

$$B = \frac{2,303(k \lg \sigma^2 - \sum_{i=1}^m k_i \lg \sigma_i^2)}{1 + \frac{1}{3(m-1)} \left(\sum_{i=1}^m \frac{1}{k_i} - \frac{1}{k} \right)},$$

где k_i – число степеней свободы i -го

$$\text{ряда, } k = n_i - 1; k = \sum_{i=1}^m k_i;$$

n, m – количество значений i -го ряда и число рядов соответственно;

σ_i^2 – несмещенная оценка дисперсии для i -го ряда,

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^m k_i \sigma_i^2 / k.$$

Бартлетт показал, что случайная величина B при условии справедливости нулевой гипотезы распределена приближенно как χ^2 с $m-1$ степенями свободы, если все $n_i > 3$. По заданному уровню значимости α , числу степеней свободы $m-1$ для правосторонней критической области определяется критическое значение $\chi_{\text{кр}}^2(m-1; \alpha)$. Если соблюдается условие

$$B < \chi_{\text{кр}}^2(m-1; \alpha),$$

то нет основания отвергать нулевую гипотезу. В нашем случае $B = 11,06 < \chi_{\text{кр}}^2(6; 0,05) = 12,60$, что подтверждает справедливость нулевой гипотезы и правомерность объединения данных.

Параметры альтернативных моделей регрессии $\omega_f = f(R)$ оценивали методом Левенберга – Маркара [1]. Наилучшей с точки зрения минимума остаточной дисперсии признана степенная зависимость

$$\omega_f = 196,44 - 0,66R + 7 \cdot 10^{-4}R^2,$$

для которой коэффициент детерминации составил 0,79.

В настоящее время для учета дополнительного сопротивления от радиуса кривой применяется эмпирическая формула, имеющая вид $\omega_f = gA/R$, где $A = 800 \dots 1000$ (рис. 3) [5]. Она справедлива для кривых радиусом $R \leq 250$ м и имеет широкий диапазон варьирования эмпирического коэффициента A . Из анализа литературных источников известно, что при малых радиусах данная зависимость дает завышенные значения сопротивления, при больших – заниженные.

Проведенные исследования с применением современного электронного оборудования, специализированного программного обеспечения и статистической обработки показали наличие дополнительного сопротивления движению автопоезда при радиусах кривых до 500 м. Полученная математическая модель с помощью известных методик [2, 4] позволяет выполнить анализ конструктивных параметров автопоездов и проектных параметров лесовозных автомобильных дорог в целях снижения износа шин, расхода топлива, повышения управляемости, устойчивости и других эксплуатационных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
2. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. М.: Транспорт, 1990. 135 с.
3. Славутский Л.А. Основы регистрации данных и планирования эксперимента: учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во ЧГУ, 2006. 200 с.
4. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: учеб. для вузов. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 478 с.
5. Транспортные системы, пути и перевозки лесопромышленности. В 3 т. Т. 1. Транспортные системы: учеб. пособие для вузов/ Ф.А. Павлов [и др.]; под ред. Ф.А. Павлова. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2001. 382 с.

Поступила 14.12.09

V.A. Alferov

Northern (Arctic) Federal University

Experimental Research of Additional Running Resistance of Timber Carrier according to Curves in Plane

Technique and results of experimental research are provided in determination of additional running resistance of timber carrier on the curves in plane. Mathematical model of running resistance is presented as a function of the curve radius.

Keywords timber carrier, running resistance, curve radius, dynamic row.