

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЕГО ПО ЛЕЖНЕВОЙ ДОРОГЕ

И. И. ЛЕОНОВИЧ

Ассистент

(Белорусский лесотехнический институт)

Динамическое воздействие автомобиля на лежневое покрытие лесовозной дороги можно представить как статическую нагрузку $P_{ст}$, умноженную на динамический коэффициент K_d , то есть

$$P_d = P_{ст} K_d. \quad (1)$$

Для определения динамического коэффициента необходимо рассмотреть колебания автомобиля, возникающие под воздействием внешних возмущающих сил. Эти силы зависят от величины и характера дорожных неровностей.

Для выяснения характера и определения величины неровностей автолежневого пути под воздействием подвижной нагрузки нами были проведены испытания на Шекшемской лесовозной дороге Костромской области и Мостовской лесовозной дороге Оленинского ЛПХ ЦНИИМЭ. На Шекшемской автолежневой дороге (протяжением 14 км), колесопроды которой уложены на шпалах, при помощи рейки и масштабной линейки на характерном участке длиной 1 км были произведены замеры остаточных деформаций. Кроме того, определялись неровности лежневого пути, для чего использовались вибрографы ВР-1.

Произведенные замеры показали, что характерной для лежневого покрытия является неровность в виде порога. Величина порогов колеблется в значительных пределах, достигая 4 см и более. Вместе с тем установлено, что на лежневом покрытии вследствие неравноупругости грунтового основания имеется значительное количество единичных неровностей различной глубины и длины. Чаще всего их длина составляет 2—3 шпальных пролета (1,6—2,5 м) и глубина равна 2—4 см. Произвольное их чередование и различие в размерах не позволяют выразить этого рода неровности в виде определенной закономерности.

Записи просадок лежневого покрытия вибрографами при движении подвижного состава показали характер неровностей лежневого покрытия в динамике. На стыке виброграмма имела скачок с амплитудой 5—7 см.

Вибрографы, установленные под шпалами в середине пролета, дали возможность записать и абсолютные просадки шпал. Путем сравнения показаний отдельных вибрографов определялась величина еди-

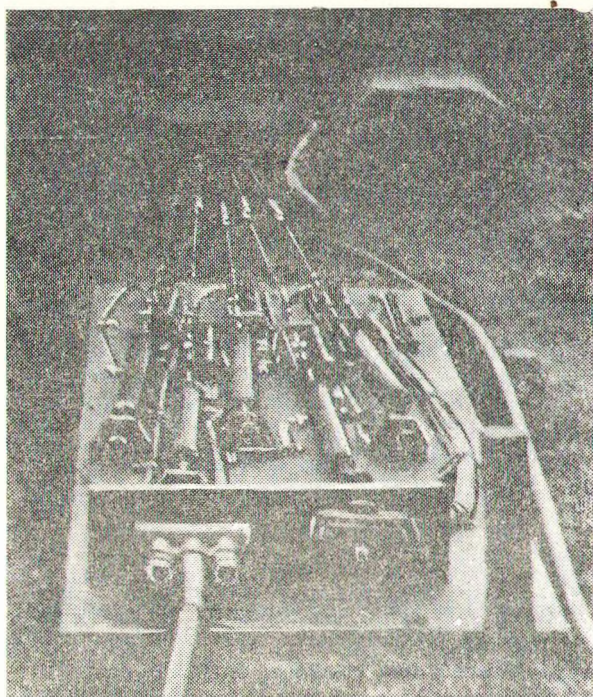


Рис. 1. Панель реохордных датчиков для определения просадок лежневого покрытия.

ничных неровностей. По величине единичные просадки в динамике не превышали 5 см. Длина неровностей при этом достигала 2,5 м. С помощью вибрографов, установленных под шпалой и в промежутках между шпалами, было выявлено, что даже при расстоянии между шпалами 0,8—1,0 м лежни колесопроводов имеют несколько меньшую (на 3—5 мм) просадку в сечении над шпалами, чем посередине шпальной пролета.

Проведенные в 1958 г. дорожной лабораторией ЦНИИМЭ с участием автора экспериментальные исследования работы лежневого покрытия под воздействием автомобиля МАЗ-501 на опытных участках Мостовской лесовозной дороги подтверждают характер неровностей лежневого покрытия, установленных ранее на Шекшемской лесовозной дороге.

При этих исследованиях для записи просадок были использованы реохордные датчики (рис. 1) и тензометрическая установка ОТ-24-51. Ползунки датчиков крепились к лежням. Сечения щита для измерения просадок были выбраны с таким расчетом, чтобы можно было установить неровность покрытия под воздействием движущегося автомобиля. От конца щита они располагались на расстоянии 6, 54, 174 и 320 см.

О величинах просадок щита длиной 6,4 м, полученных при обработке осциллограмм, можно судить по данным табл. 1, в которой приведены в качестве примера просадки центрального бруса (14×17) колесопровода при движении по покрытию автопоезда (МАЗ-510, 1-Р-8 и $Q = 13$ т) со скоростью 2,1 км/час и при укладке щита на девяти, пяти и трех шпалах.

Таблица I

Количество шпал под щитом $L=6,4$ м	Среднее значение просядок в мм для сечений, удаленных от конца щита на расстояние, см			
	6	54	174	320
9	13,2	10,7	6,8	4,6
5	10,0	9,6	9,9	5,9
3	8,7	12,3	20,0	5,2

Аналогичные данные получены для других брусьев щита и при других скоростях движения подвижного состава. Абсолютное же значение просядок зависит от скорости движения. Максимум (на стыке 25 мм) они достигают при скорости 8—16 км/час. Неровности лежневого покрытия на Мостовской дороге меньше, чем на Шекшемской. Это обстоятельство объясняется различием конструкций покрытия, почвенно-грунтовыми условиями, а также тем, что при постройке покрытия на Мостовской дороге соблюдались технические условия, чего не было на Шекшемской дороге. Осциллограммы просядок и данные табл. I подтверждают наличие пороговых неровностей на стыках и отдельных просядок шпал, вызванных неравноупругостью грунтового основания.

Наряду с экспериментальными исследованиями, в Оленинском лесопромхозе было проведено визуальное обследование действующих участков лежневого покрытия. Неровности измерялись нивелиром. На обследованных участках лежневое покрытие состояло из щитов с гребенчатым стыком (конструкции ЦНИИМЭ), уложенных на пристыковые шпалы. Кроме порогов на стыках характерной неровностью для данной конструкции является волнообразный продольный профиль с длиной волны равной длине щита (6,5) и высотой гребня 15—20 см. Средняя часть щитов, опирающаяся непосредственно на грунт, имела значительные остаточные деформации. Под действием колес подвижного состава деформация покрытия еще больше возрастала, однако форма неровностей оставалась прежней.

Наблюдения за работой лежневого покрытия, а также теоретические и экспериментальные исследования показывают, что неровности в виде порогов на лежневых дорогах по характеру своего воздействия на подвижной состав могут быть аппроксимированы в виде импульса силы, единичные неровности — в виде параболического закона (длина параболы равняется двум-трем шпальным пролетам), возмущения и систематические относительные просядки между шпалами — в виде синусоидального закона (при длине волны синусоиды равной расстоянию между смежными опорами).

Колебания груженого автомобильного поезда при движении его по дороге обычно выражается системой дифференциальных уравнений. Однако данные проф. Г. В. Зимелева [3] и других ученых показывают, что при определенном распределении масс задача может быть значительно упрощена и сведена к рассмотрению колебаний масс, приходящихся на заднюю ось, как имеющих максимальное значение. Приемлемость этого положения для лесовозных автомобилей была проверена методом Б. Г. Гастева [1]. Проверка показала, что коэффициенты связи для автомобилей МАЗ близки к нулю ($< 0,25$) и поэтому колебания осей подвижного состава можно рассматривать независимо друг от друга. Если принять это условие и пренебречь внутренними сопротивлениями в системе, как не оказывающими существенного влияния на максимум амплитуды в начальный период, то уравнение колебаний будет иметь вид:

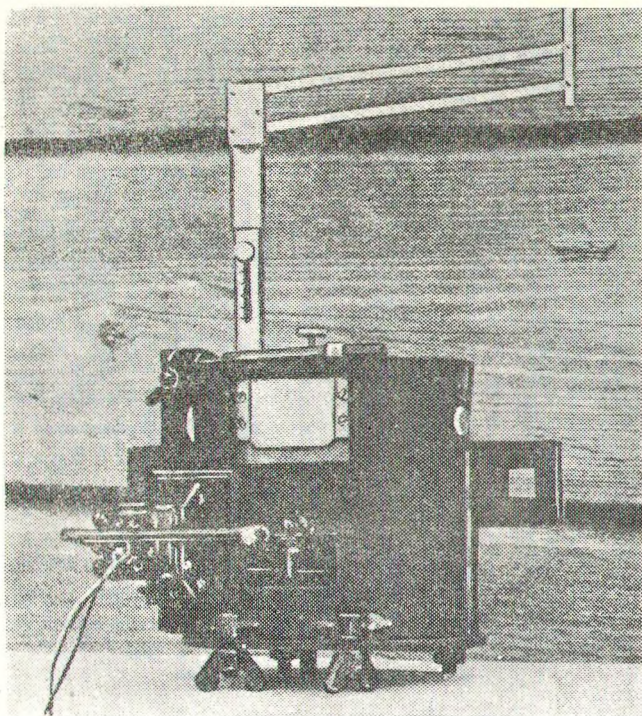


Рис. 2. Виброграф ВР-1 с приспособлениями.

$$M \frac{d^2L}{dt^2} + CL = f(t), \quad (2)$$

где M — поддрессоренная масса, в $кг \cdot см^{-1} \cdot сек^2$;
 L — амплитуда, в $см$;
 t — время, в $сек$;
 C — приведенная жесткость шин и рессор, в $кг \cdot см$;
 $f(t)$ — функция внешней возмущающей силы, в $кг$.

Это уравнение является, конечно, приближенным, так как в нем не учитывается упругость пути.

Первым этапом в решении вопроса о динамическом воздействии автомобиля на лежневое покрытие является рассмотрение свободных колебаний, вторым — рассмотрение вынужденных колебаний.

Определение динамического воздействия автомобиля на лежневое покрытие при вынужденных колебаниях основывается на решении неоднородного дифференциального уравнения (2). При этом в первую очередь необходимо найти общий интеграл уравнения. Постоянные интегрирования определяются из начальных условий. Затем полученное решение дважды дифференцируется и определяется ускорение колеблющихся масс. Путем умножения ускорения на величину колеблющихся масс находится динамическая добавка F_{max} . После этого динамический коэффициент определится из выражения

$$K_d = \frac{P_{cr} + F_{max}}{P_{cr}}. \quad (3)$$

Таблица 2

Наименование	Вынужденные колебания при характере возмущающей силы в виде		
	Свободные колебания	импульса	параболы
Уравнение колебаний	$M \frac{d^2L}{dt^2} + CL = 0$	$M \frac{d^2L}{dt^2} + CL = \int_0^T f(t) dt$	$M \frac{d^2L}{dt^2} + CL = hC(1 - \nu^2 t^2)$
Ускорение L''	$A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi)$	$\frac{M_{\text{нп}}}{M} \omega \nu \operatorname{tg} \alpha \sin \omega t$	$\frac{h\omega^2 \nu^2}{\nu^2 - \omega^2} \cos \nu t$
Максимальное ускорение L''_{max}	$A\omega^2$	$\frac{M_{\text{нп}}}{M} \omega \nu \operatorname{tg} \alpha$	$\frac{h\omega^2 \nu^2}{\nu^2 - \omega^2}$
Максимальная динамическая добавка F_{max}	$MA\omega^2 = AC$	$M_{\text{нп}} \omega \nu \sqrt{\frac{R^2 - (R_K - h_0)^2}{(R_K - h_0)^2}}$	$\frac{Mh\omega^2 \nu^2}{\omega^2 - \nu^2}$

Обозначения: A — амплитуда колебаний в см; φ — начальная фаза колебаний; ω — частота собственных колебаний, равная $\omega = \sqrt{\frac{C}{M}}$ сек⁻¹; h — амплитуда неровностей в см; S — длина неровностей в см; ν — частота возмущающей силы в сек⁻¹. h_0 — высота пороговой неровности в см; R — радиус недеформированного колеса в см; R_K — радиус качения колеса в см; $M_{\text{нп}}$ — неподдрессоренная масса в кг·см⁻¹·сек²; ν — скорость движения автомобиля в см·сек⁻¹.

Расчетные формулы, необходимые для вычисления коэффициента динамического воздействия автомобиля на лежневое покрытие, приведены в табл. 2. Вынужденные колебания автомобиля рассматривались с учетом наличия неровностей покрытия, имеющих параболический и синусоидальный характер, а также при наличии импульса силы в стыковых соединениях.

Используя формулы (табл. 2), можно определить динамический коэффициент для лесовозного автомобиля МАЗ-200, имеющего следующие расчетные характеристики:

Приведенная жесткость задней подвески	342 кг·см
Вес неподрессоренных масс заднего моста	1520 кг
Вес поддрессоренных масс заднего моста	8450 »
Радиус недеформированного колеса	56,9 см
Радиус качения колеса	53,5 »

Вычисления дают значение динамического коэффициента в зависимости от скорости автомобиля и характера дорожных неровностей. Так, при движении груженого автомобиля МАЗ-200 по лежневому покрытию со скоростью 20 км/час коэффициент имеет следующее значение:

Таблица 3

Характер возмущающей силы в виде	Характеристика дорожных неровностей			Динамический коэффициент K_d
	высота в см	длина в см	частота в сек ⁻¹	
Синусоиды	1	200	17,5	1,04
	2	200	17,5	1,08
	3	200	17,5	1,12
	4	200	17,5	1,16
	5	200	17,5	1,20
Параболы	1	200	2,8	1,06
	2	200	2,8	1,12
	3	200	2,8	1,18
	4	200	2,8	1,24
	5	200	2,8	1,31
Импульсов	1	650	0,86	1,23
	2	650	0,86	1,26
	3	650	0,86	1,28
	4	650	0,86	1,31
	5	650	0,86	1,33

С изменением скорости движения автомобиля динамический коэффициент меняет свою величину.

Для определения фактического характера колебаний подвижного состава при движении его по лежневому покрытию были проведены опыты. Опыты проводились на упомянутых выше дорогах с использованием автомобилей МАЗ-200 и МАЗ-501 при скоростях движения 15, 20 и 30 км/час. Регистрация колебаний осуществлялась вибрографами со специальными приспособлениями для крепления их к раме автомобиля, для дистанционного включения и для редуцирования амплитуд колебания (рис. 2). В результате опытов получены виброграммы, анализ которых показывает, что колебания носят затухающий характер. Частота их находится в пределах от 4 до 6 сек⁻¹. Максимальное значение амплитуд колебаний, по величине которых можно судить о максимальном динамическом воздействии автомобиля на лежневое покрытие, достигает 50 мм для порожнего автомобиля и 15—20 мм — для груженого автомобиля.

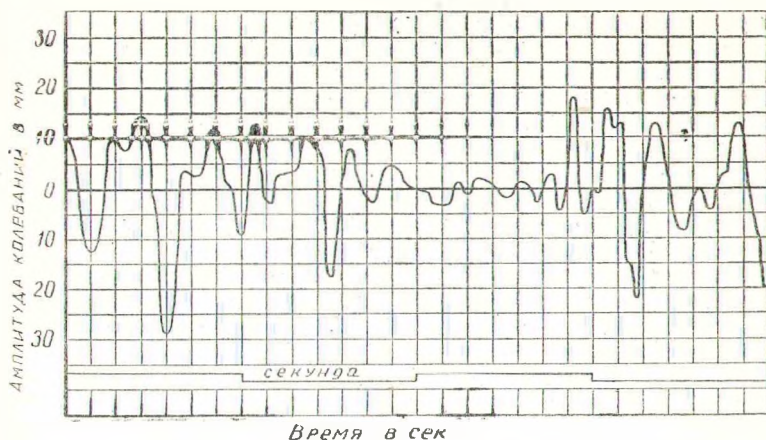


Рис. 3. Виброграмма колебаний поддресоренных масс автомобиля МАЗ-200 в порожнем состоянии.

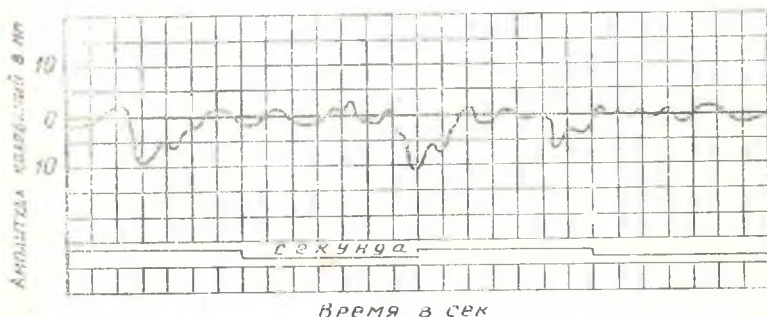


Рис. 4. Виброграмма колебаний поддресоренных масс груженого автомобиля МАЗ-200.

На рис. 3 приведен пример записи колебаний заднего моста автомобиля при движении его со скоростью 20 км/час по дороге с синусоидальным характером неровностей (длина неровности 1 м и высота 3—4 см). Согласно этой виброграмме динамический коэффициент равен 1,13. Колебания груженого автомобиля (рис. 4) записаны при скорости движения 15 км/час на участке дороги, имеющем синусоидальный характер неровностей (длина 1 м и высота 1 см). Динамический коэффициент в этом случае составляет 1,04.

Сравнивая результаты проведенных экспериментов с расчетными данными по определению коэффициента динамичности, можно видеть, что они имеют близкое сходство. В силу этого приведенные в табл. 2 расчетные формулы могут быть использованы в качестве первого приближения к определению величины динамического коэффициента для дорожных покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Б. Г. Гастев. Некоторые вопросы теории перевозок древесины в хлыстах на лесовозных дорогах. Диссертация на соискание ученой степени д-ра техн. наук, 1955.
 [2]. Дж. Н. Ден-Гортюк. Теория колебаний. ГТТЛ, 1942. [3]. Г. В. Зимин. Теория автомобиля. Воениздат, 1957.

Поступила в редакцию
4 апреля 1959 г.