

К вопросу учета динамического действия подвижной нагрузки

А. Н. Кочанов¹

Петрозаводский государственный университет

Рассмотрено динамическое воздействие подвижной нагрузки на плиты, лежащие на грунтовом основании без связи между собой и со сварным стыковым соединением, теоретические расчеты составлены при помощи экспериментальных исследований.

Ключевые слова: динамика, нагрузка, плита, сварной стык, свободные колебания, вынужденные колебания, прогиб покрытия.

СОДЕРЖАНИЕ

При динамическом расчете железобетонных колеиных покрытий автомобильных лесовозных дорог дифференциальное уравнение движения в общем случае может быть представлено несколькими степенями свободы. Наиболее простой моделью для решения динамической задачи является система с одной степенью свободы, а дифференциальное уравнение движения для нее имеет вид:

$$M_n \frac{d^2 w}{dt^2} + k\phi \frac{dw}{dt} + kw = P(t), \quad (1)$$

где: M_n - приведенная масса покрытия;
 w - прогиб покрытия;
 k - коэффициент жесткости покрытия;
 ϕ - модуль затухания;
 $P(t)$ - подвижная нагрузка.

При расчете покрытий учитывают максимальные значения прогибов и усилий, которые имеют место в начале колебательного процесса. Поэтому интеграл уравнения (1) может быть представлен формулами:

при $mt_1 < \pi$ (нагрузка движется по плите)

$$w = w_{cm}^{\max} \frac{P}{p^2 - m^2} (p \sin mt - m \sin pt), \quad (2)$$

при $mt_1 > \pi$ (нагрузка сошла с плиты)

$$w = w_{cm}^{\max} \frac{P}{p^2 - m^2} \left\{ \begin{array}{l} [p \sin mt - m \sin pt] + \\ [p \sin m(t - t_1)] - \\ [m \sin p(t - t_1)] \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где t - время;

$$p = \sqrt{\frac{k}{M_n}} - \text{частота собственных колебаний.}$$

Здесь коэффициент жесткости покрытия k отражает усилие, необходимое для создания единичного перемещения, и может быть определен по формуле

$$k = 2,4 \sqrt{CE_\delta h^3}, \quad (4)$$

где: C - коэффициент постели;
 E_δ - модуль упругости бетона;
 h - толщина плиты.

Частоту вынужденных колебаний покрытия представим в виде:

$$m = \frac{\pi V}{l}, \quad (5)$$

где V - скорость движения автомобиля
 l - диаметр чаши плиты при ее деформировании.

Для плит колеиных покрытий лесовозных автомобильных дорог, относящихся к категории бесконечных по длине, диаметр чаши можно принять равным

$$l = 4L, \quad (6)$$

где: L - характеристика плиты, определяемая по формуле

$$L = \sqrt{\frac{2E_\delta J_{np} 0,85(1 - \mu_0^2)}{bK_{Eo} E_0 (1 - \mu_\delta^2)}}, \quad (7)$$

где: J_{np} - момент инерции приведенного сечения относительно центра тяжести;

b - ширина плиты;

K_{Eo} - коэффициент, учитывающий более благоприятные условия работы материала подстилающего слоя под плитой [2];

E_0 - модуль упругости грунта подстилающего слоя;

μ_δ, μ_0 - коэффициент Пуассона, соответственно для бетона и грунта.

Прогиб покрытия при статической нагрузке равен:

$$W_{cm}^{\max} = \frac{P}{p^2 M_n}. \quad (8)$$

¹ Автор - доцент кафедры промышленного транспорта и геодезии

Коэффициенты динамичности могут быть вычислены как отношение прогибов покрытия при динамической и статической нагрузках.

Кафедрой сухопутного транспорта леса Санкт-Петербургской лесотехнической академии была разработана конструкция предварительно напряженной железобетонной плиты со сварными стыковыми соединениями размером 6,0×1,0×0,08 м [3].

Колейное покрытие из плит ЛТА-ПТН-6 прошло производственное испытание на лесовозно-хозяйственных дорогах Тосненского и Лисинского лесхозов Ленинградской области. Грунт земляного полотна представляет пылеватую супесь, на который отсыпалась песчаная подушка из мелкозернистого песка с коэффициентом постели $C=0,6-0,7$ МПа/см.

В качестве подвижной нагрузки применялся автопоезд МАЗ-509+ГКБ-9383-012 с нагрузкой на заднюю ось 92,5 кН и на роспуск - 165 кН (с учетом массы роспуска).

Скорость движения автомобиля изменилась от 0,5 до 8,4 м/с.

Выполненные расчеты по формулам (2 и 3) для данных условий эксплуатации показали, что отношение динамических нагрузок к статическим не превышают 1,1.

Вопросам учета динамического воздействия подвижных нагрузок на плиты посвящены работы С. В. Коновалова, Б. Н. Смирнова и др. [4, 5], которые рекомендуют при расчете концевых участков плит назначать коэффициент динамичности, равный 1,5, а при расчете срединных - 1,1.

Для уточнения этих рекомендаций при выполнении экспериментальных исследований плит ЛТА-ПТН-6 испытанию подверглись 6 плит, по 3 в каждом колесоприводе. При этом плиты, находящиеся в правом колесоприводе, имели сварное стыковое соединение, а в левом колесоприводе плиты между собой соединены не были.

Прогибы краев и середины плит, а также взаимное смещение их концов определялись как в условиях обеспечения надежной связи плит между собой, так и без связи (т. е. свободно лежащие плиты без сварных стыков).

Тензометр для определения прогибов представлял собой чувствительную пластинку с датчиком, показания которого при изгибе плиты от движущегося автопоезда регистрировались осциллографом. Кроме того, методикой проведения дорожных испытаний лесовозного автопоезда предусматривалась регистрация с помощью электроизмерительной аппаратуры следующих величин: вертикальных нагрузок на балку заднего моста на колеса роспуска автомобиля; пройденного пути; времени и момента проезда автопоезда

по исследуемому сечению плиты; частоты колебаний хлыстов, а также величины динамического воздействия колес автомобиля и роспуска на покрытие [6].

На рис. 1 показана экспериментальная зависимость коэффициента динамичности вертикальных усилий заднего колеса автомобиля (для концов плит) от скорости движения (по состыкованным и не состыкованным плитам).

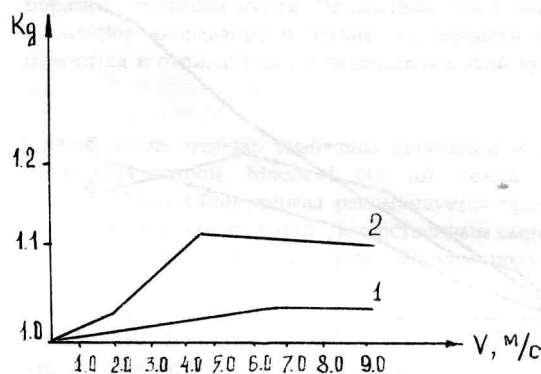


Рис. 1. Зависимость коэффициента динамичности от скорости движения:

1 - состыкованные плиты; 2 - не состыкованные плиты

Коэффициент динамичности подсчитывался по формуле:

$$K_q = \frac{\varepsilon_q}{\varepsilon_{cm}} = \frac{a_{cm} + a_q}{a_{cm}} = 1 + \frac{a_q}{a_{cm}}, \quad (9)$$

где a_q - ордината осциллограммы, соответствующая динамической нагрузке;

a_{cm} - ордината осциллограммы, соответствующая статической нагрузке.

Из рис. 1 видно, что максимальная величина коэффициента динамичности для свободно лежащих плит составила $K_q=1,18$ при скорости движения от 4 до 6 м/с, а для плит со сварными стыками $K_q=1,1$.

Следует отметить, что при скорости движения 7 м/с, прослеживаются тенденции явного снижения коэффициента динамичности.

В целях выявления прочности предлагаемых плит ЛТА-ПТН-6 было выполнено исследование движения автопоезда МАЗ-509+ГКБ-9383-012 по колейному покрытию с наличием искусственно созданных неровностей порогового типа (были уложены и закреплены к плитам деревянные щиты размером в плане 1×1 м и высотой 0,05 м).

Пройденный автопоездом путь замерялся по числу оборотов колеса, которое регистрировалось датчиком импульсно-индуктивного типа с постоянным подмагничиванием, а время пути - моторным отметчиком времени осциллографа.

Момент подъезда к неровности, т. е. фиксация наезда колес автопоезда на неровность, фиксировался с помощью тензометрического прогибомера.

Результаты исследования представлены на рисунке 2.

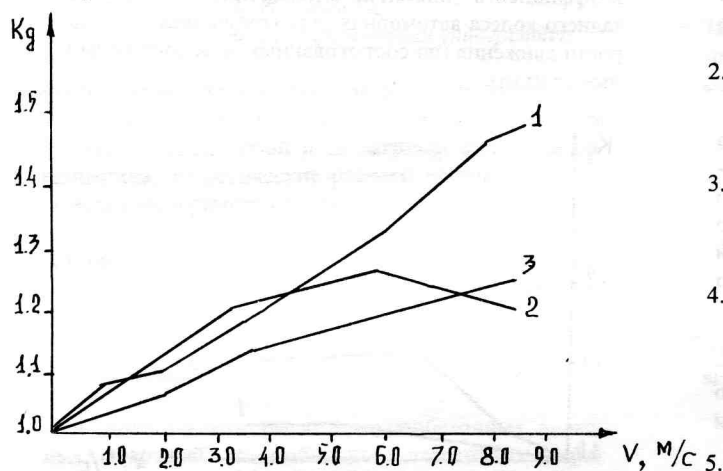


Рис. 2. Зависимость коэффициента динамичности от скорости движения автопоезда по единичной неровности порогового типа (не состыкованные плиты):

1 - от заднего колеса автомобиля; 2 - от переднего колеса роспуска; 3 - от заднего колеса роспуска

Из рис. 2 видно, что наиболее неблагоприятной нагрузкой автопоезда является воздействие заднего колеса автомобиля. Величина коэффициента динамичности искусственно была доведена до $K_q = 1,5$.

После этих опытов все плиты в покрытиях остались неповрежденными.

Следует отметить, что согласно правилам эксплуатации железобетонных покрытий лесовозных автомобильных дорог неровности высотой 0,05 м не допускаются.

ВЫВОДЫ

1. Железобетонные плиты со сварными стыковыми соединениями должны иметь швы расширения. Поэтому величина динамического коэффициента при расчете плит на прочность должна приниматься: на отрицательный изгибающий момент $K_q = 1,2$ (нагрузка расположена в зоне стыкового соединения) и на положительный изгибающий момент $K_q = 1,1$ (середина плиты).
2. Для уменьшения динамического воздействия подвижных нагрузок следует обеспечивать ровность покрытия и его содержание в требуемом эксплуатационном состоянии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глушков Г. И., Бабков В. Ф., Медников И. А. и др. Жесткие покрытия аэродромов и автомобильных дорог / Под ред. Г. И. Глушкова. М.: Транспорт, 1987. 255 с.
2. Герсеванов Н. М., Мачерет Я. А. К вопросу о бесконечно длинной балке на упругой почве, нагруженной силой // *Фундаментострой*. 1937. № 8.
3. Ильин Б. А., Кочанов А. Н. Экономичные плиты покрытий лесовозных дорог // *Лесная промышленность*. 1974. № 1. С. 23 - 28.
4. Коновалов С. В. Общая моторика исследований железобетонных железобетонных покрытий и некоторые результаты выполненных на ее основе испытаний // *Тр. ЦНИИМЭ*. Вып. 50. Химки, 1964. С. 41 - 118.
5. Смирнов Б. Н. Взаимодействие плит сборного железобетонного покрытия автомобильных дорог с основанием под подвижной нагрузкой // *Тр. ЦНИИМЭ*. Вып. 72. Химки, 1966. С. 119 - 128.
6. Храмов Г. Ф., Кочанов А. Н. Методика экспериментального исследования силового взаимодействия системы "лесовозный двухзвенный автопоезд - дорога" // *Вопросы механизации и автоматизации работ в лесной промышленности Северо-Запада РСФСР: Межвузовский сборник*. Петрозаводск, 1997. С. 175 - 180.