



УДК 624.121



А. Х. АБДУЖАБАРОВ
КГУСТА ИМ. Н. ИСАНОВА,
БИШКЕК, КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА
E-MAIL: KHASANOV.NURALI@MAIL.RU

A. KH. ABDUJABAROV
KSUCTA N.A. N. ISANOV,
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC

Н. М. ХАСАНОВ
ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ.М.С.ОСИМИ,
ДУШАНБЕ, РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН
E-MAIL: KHASANOV.NURALI@MAIL.RU

N. M. KHASANOV
TALIK TECHNICAL UNIVERSITY, N. A. M. S. OSHIMI,
DUSHANBE. REPUBLIC OF TAJKISTAN

А. О. ЯКУБОВ
ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. С. ОСИМИ,
ДУШАНБЕ, РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН

A. O. YAKUBOV
TALIK TECHNICAL UNIVERSITY, N. A. M. S. OSHIMI,
DUSHANBE, REPUBLIC OF TAJKISTAN

E.mail. ksucta@elcat.kg

ВОЗДЕЙСТВИЕ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА НА ТОННЕЛИ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ И ПОДЗЕМНЫЕ ПЕРЕХОДЫ

IMPACT OF GROUND TRANSPORT ON TUNNELS SMALL SITUATIONS AND UNDERGROUND TRANSITIONS

Макалада жер үстүндөгү транспорттун тайызыраак тоннелдерге жана жөө өтмөктөргө тийгизген таасирин аныктоонун теориялык эсептери берилди.

Чечүүчү сөздөр: оордук күчү, инженердик курулуштар, сейсмикалык таасирлер, тигинен жана капталынан термелүү, ылдамдык, транспорт, жер титирөөлөр.

В данной статье получены теоретические решения для определения степени влияния наземного транспорта на тоннели мелкого заложения и подземные пешеходные переходы.

Ключевые слова: нагрузка, инженерные сооружения, сейсмические воздействия, вертикальные и боковые колебания, скорость, транспорт, землетрясения.

In this article, theoretical solutions are obtained for determining the degree of influence of ground transportation on shallow tunnels and underground pedestrian crossings.

Key words: load, engineering facilities, seismic impact, vertical and lateral fluctuations, speed, transport, earthquakes.

Подвижной состав железных дорог и большегрузный наземный автотранспорт создают не только значительное дополнительное нагрузки на инженерные сооружения находящиеся под дорогами, но и создают систему колебательных процессов подобно

сейсмическим воздействиям. Нетрудно понять, что это повлияет на состояние инженерных сооружений не в лучшую сторону и реально снизит срок нормальной эксплуатации, а может привести и к аварийному состоянию.

Метрополитен мелкого заложения построен в г. Ташкенте, г. Баку и г. Алматы. В скором времени, вероятно, будет такой метрополитен строиться в г. Душанбе, г. Бишкек, и в г. Ашхабад. Кроме того, что эти города находятся в сейсмической зоне, влиянием тяжёлого надземного транспорта как дополнительно и постоянного источника сейсмического воздействия пренебрегать нельзя.

Пространственные колебания транспорта в опорной части колёс дают вертикальные и боковые колебания, которые передаются в основание дорог и на подземные сооружения находящиеся под ними.

С возрастанием скорости движения транспорта меняются частотные характеристики, возникающие при этом. Необходимо определить диапазон изменения частот от скорости к веса транспорта.

Для определения взаимодействия транспорта и поверхности дороги при вертикальных колебаниях, рассмотрим двухмассовую систему (рис 1).

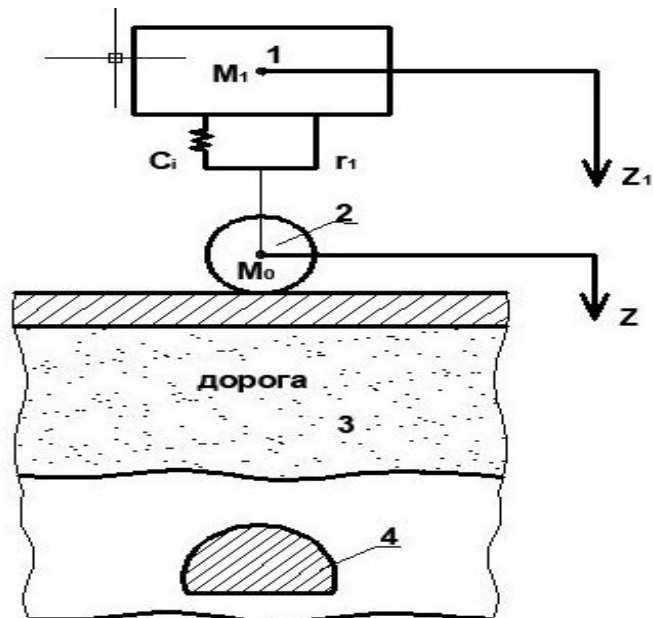


Рис. 1. Динамическая система колёса транспорта и дороги:
1- транспорт; 2- колёса; 3- дорога; 4-инженерное сооружение.

Колебания такой системы действием динамической силы - Q_g описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} M_1 \frac{d^2 z_1}{dt^2} + r_1 \frac{dz_1}{dt} + c_1 z_1 - r_1 \frac{dz}{dt} - c_1 z = 0 \\ -r_1 \frac{d^2 z_1}{dt^2} - c_1 z_1 + M_0 \frac{d^2 z}{dt^2} + r_1 \frac{dz}{dt} + c_1 z = -Q_g \end{cases} \quad (1)$$

Преобразуя уравнения (1) по Лапласу и принимая начальные условия нулевыми, получим систему двух алгебраических уравнений первой степени:

$$\begin{cases} z_1(M_1 s^2 + r_1 s + c_1) - z(r_1 s + c_1) = 0 \\ -z_1(r_1 s + c_1) + z(M_0 s^2 + r_1 s + c_1) = -Q_g \end{cases} \quad (2)$$



$$z = -\frac{M_1 s^2 + r_1 s + c_1}{M_1 M_0 s^4 + r_1 (M_1 + M_0) s^3 + c_1 (M_1 + M_0) s^2} Q_g; \quad (3)$$

Теперь передаточная функция, связывающая вертикальное смещение колёса с динамической силой в точке контакта колёса и дорожного покрытия или рельса, если железная дорога, может быть выражена:

$$W^0(s) = -\frac{M_1 s^2 + r_1 s + c_1}{M_1 M_0 s^4 + r_1 (M_1 + M_0) s^3 + c_1 (M_1 + M_0) s^2}; \quad (4)$$

Импульсная переходная функция системы - $h^0(t)$ можно определить обратным преобразованием Лапласа передаточной функции - $W^0(s)$.

$$W^0(s) = \frac{A}{s^2} + \frac{B}{(s + r_1 \gamma / 2)^2 + c_1 \gamma - (\frac{r_1 \gamma}{2})^2}; \quad (5)$$

$$\text{где: } \gamma = \frac{M_1 + M_0}{M_1 - M_0}; \quad A = -\frac{1}{M_1 + M_0}; \quad B = \frac{M_1}{M_0(M_1 - M_0)}.$$

Отсюда получим:

$$h^0(t) = At + B \frac{1}{\beta} \exp\left(-\frac{r_1 \gamma}{2} t\right) \sin(\beta t) \quad (6)$$

$$\text{где: } \beta = \sqrt{(c_1 \gamma + r_1 \gamma / 2)^2};$$

Импульсная переходная функция - $h^0(t)$ даёт возможность получить значение для перемещения колёса в вертикальной плоскости - $z(t)$:

$$z(t) = \int_{-\infty}^t h^0(t - \tau) Q_g(\tau) dt; \quad (7)$$

Движение одной необрессоренной массы - M_0 , а импульсная переходная функция - $h^0(t)$ равна:

$$h^0(t) = -\frac{1}{M_0} t;$$

При $M_1 = 0$ из (6) перемещение колёса получим:

$$z(t) = \frac{1}{M_0} \int_0^t (t - \tau) Q_g(\tau) dt; \quad (8)$$

Если (8) дважды продифференцировать по - t получим:

$$-M_0 \frac{d^2 z}{dt^2} = Q_1(t); \quad (9)$$

Для определения динамических параметров влияния движущегося транспорта на надземные сооружения лучше использовать частотную характеристику - $W^0(i\omega)$, которая может быть получена из (4) заменой - s на $i\omega$:

$$W^0(i\omega) = \frac{M_1 \omega^2 - i r_1 \omega - c_1}{M_1 M_0 \omega^4 - i r_1 (M_1 + M_0) \omega^3 - c_1 (M_1 + M_0) \omega^2}; \quad (10)$$

Определим вертикальные силы возникающие при совместных колебаниях транспорта движущегося со скоростью - v и покрытия дороги или пути в железных дорогах.



$$z(t) - z_g^0(t) - \eta^0(t) = \xi^0(\vartheta t) \quad (11)$$

Преобразуя (11) по Фурье и учитывая равенство

$$z(t) = W^0(i\omega)Q_g; \quad z_g^0 = W_z^0(Q, i\omega)Q_g; \quad \eta^0(t) = \frac{1}{C_k^0}Q_g;$$

Получим:
$$\left[W^0(i\omega) - W_z^0(0, i\omega) - \frac{1}{C_k^0} \right] Q_g = \xi$$

Теперь:
$$Q_g = W_p(i\omega)\xi \quad (12)$$

где:

$$W_p(i\omega) = \frac{1}{W^0(i\omega) - W_z^0(0, i\omega) - \frac{1}{C_k^0}} \quad (13)$$

частотная характеристика.

В области преобразований Фурье дифференцирование эквивалентно умножению на $-i\omega$, получим значение частотной характеристики:

$$W_Q(i\omega) = \frac{1}{\omega^2 \left[W_z^Q(0, i\omega) - W_0(i\omega) + \frac{1}{C_k} \right]}; \quad (14)$$

Из формулы (10) и (14) получим:

$$W_Q(0) = \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{M_1 M_0 \omega^4 - i r_1 (M_1 + M_0) \omega^3 - C_1 (M_1 + M_0) \omega^2}{M_1 \omega^4 - i r_1 \omega^3 - C_1 \omega^2} = M_1 + M_0 \quad (15)$$

График (Рис. 1.) и (Рис. 2.) вычислены при следующих весах транспорта $M_1=10\ 000$ кг, колес $M_0=1000$ кг; $C_1 = 2 \cdot 10^6$ Н/м; $r_1=9000$ Н·с/м; жёсткость в точке контакта колёса и покрытия $C_k^0 = 5 \cdot 10^8$ Н/м. Аргументы частной характеристики $W_Q(i\omega)$ при частотах $\omega = 0 \div 3000$ с⁻¹.

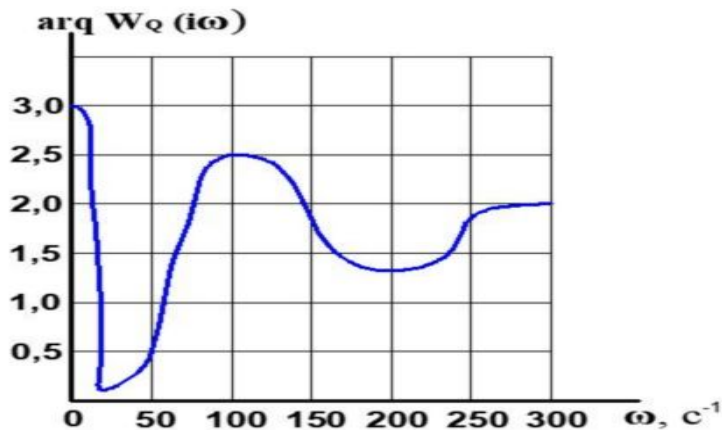


Рис. 1.

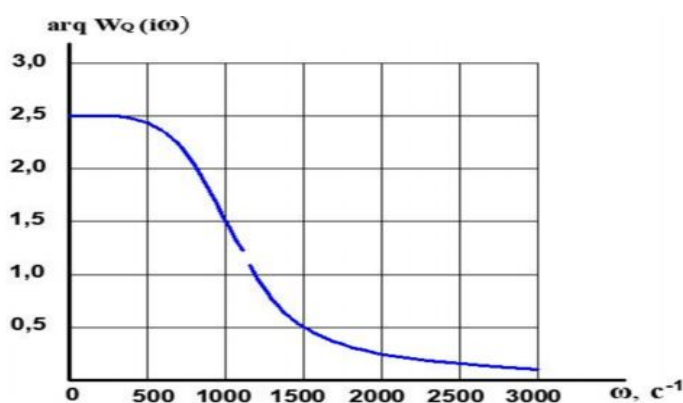




Рис.2.

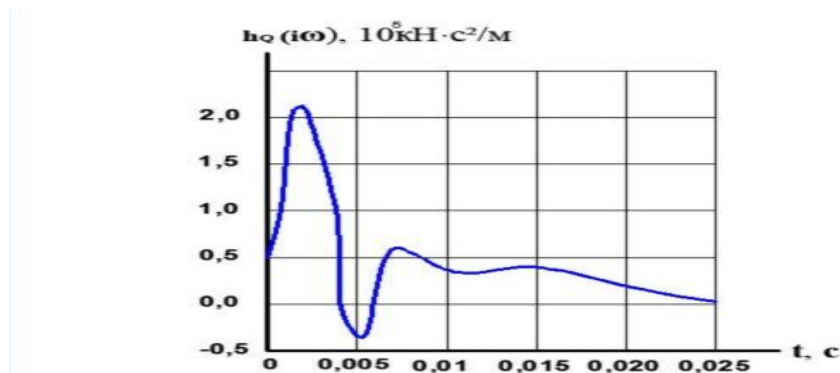


Рис. 3.

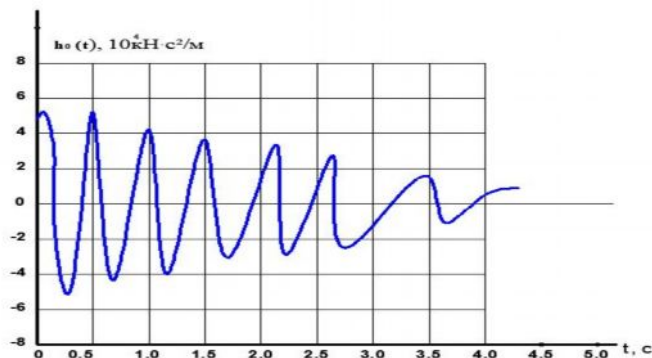


Рис. 4.

Импульсная переходная функция силы в контакте колёса и покрытия

Определяя частотные характеристики возникающие воздействием транспорта на подземные инженерные сооружения, что возможно по формулам (10,14,15), можно определить, что максимальные нагрузки по вертикали при скорости до 50 км/час. С возрастанием скорости частоты колебаний резко увеличиваются и возникают боковые колебания с максимальной амплитудой. При скорости резко возрастают частоты колебаний, что может вызвать резонансные колебания с подземными сооружениями, что приведёт к серьёзным повреждениям последних.

Анализируя колебательные процессы от воздействия движущегося транспорта на подземные сооружения нетрудно рассчитать, что их воздействия равноценны сейсмическим и это можно выразить в 3-4 баллов реального землетрясения. Из этих расчётов следует, что если инженерное сооружение находящиеся под внешним воздействием движущегося транспорта не имеет соответствующий сейсмоизоляционной защиты, то может разрушиться при землетрясении в 4-5 баллов, т.к. суммарное воздействие проявится в 8-9 баллов.

Список литературы

1. Абдужабаров А.Х. Сейсмостойкость автомобильных и железных дорог [Текст] / А.Х. Абдужабаров. – Бишкек: КАСИ, 1996. - 226 с.
2. Коган А.Я. Комбания рельса при движении по нему переменной нагрузки [Текст] / А.Я. Коган // Вестник. ВНИИЖТ. 1968, №1, С. 7-11.
3. Хасанов Н.М. Расчет напряжённо-деформированного состояния дорожного



покрытия при сейсмических воздействиях [Текст] / Н.М.Хасанов, А.Х. Абдужабаров.
Тюмень: ТИУ, 2016. – 267 с.

4. Хасанов Н.М. Сейсмостойкость конструкций водопропускных сооружений и подземных переходов [Текст] / Н.М. Хасанов, А.Х. Абдужабаров, У.Р. Тешаев // Вестник гражданских инженеров. - Санкт-Петербург: 2017. - № 2 (55).

5. Хасанов Н.М. Обоснование выбора сейсмоустойчивых участков транспортных тоннелей в зависимости от горно-геологических условий [Текст] / Н.М.Хасанов, С.З. Халилов. – Тюмень: ТИУ, 2016. – 263 с.