

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
PIHII (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2020 Issue: 05 Volume: 85

Published: 16.05.2020 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



Sharafitdin Sayfitdinovich Yuldashev

Namangan Engineering-construction institute
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department
“Resistance of materials and mechanics”
Namangan, Republic of Uzbekistan
sharafitdin@yahoo.com

Munira Usmanovna Karabaeva

Namangan Engineering-construction institute
Lecturer of the department “Resistance of materials and mechanics”
Namangan, Republic of Uzbekistan
doni78@inbox.ru

SOIL SURFACE VIBRATIONS IN THE TRAINING OF METRO TRAINS IN PARALLEL TUNNELS

Abstract: The article considers the problem of the propagation of vibration caused by the passage of trains in parallel tunnels. The problem is reduced to solving the non-uniform, non-uniform dynamic problem of the theory of elasticity. In this problem, the finite element method is applied.

Key words: Differential equation, elastic waves, finite element method, vibration, train, soil, elasticity.

Language: Russian

Citation: Yuldashev, S. S., & Karabaeva, M. U. (2020). Soil surface vibrations in the training of metro trains in parallel tunnels. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 05 (85), 117-121.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-05-85-24> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2020.05.85.24>

Scopus ASCC: 2200.

КОЛЕБАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДОВ МЕТРО В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТОННЕЛЯХ

Аннотация: В статье рассматривается задача о распространении вибрации, возникающих при прохождении поездов метро в параллельных тоннелях. Задача приводится к решению неоднородной, плоской динамической задачи теории упругости. В этой задаче применен метод конечных элементов.

Ключевые слова: Дифференциальное уравнение, упругие волны, метод конечных элементов, вибрация, поезд, грунт, упругость.

Введение

Среди достаточно большого количества вредных и опасных факторов, воздействующих на человека, есть такие, с которыми человек сталкивается ежедневно. К таким факторам относятся вибрация [1].

Вибрации, распространяющиеся на поверхности грунта, от движения поездов метрополитена оказывают негативное влияние на здания-сооружения и людей, расположенных вблизи метрополитена. Эти вибрации, хотя не

оказывают разрушающего воздействия на конструкции зданий-сооружений, но подобное постоянное воздействия считается экологической проблемой. Вибрация проявляется двумя способами: низкочастотная вибрация в диапазоне 1-80 Гц воспринимается жителями линии, как вибрация цельного тела, тогда как вибрация более высокой частоты в диапазоне 16-250 Гц излучается как звук внутри зданий и известна как земной шум [2,3].

Impact Factor:

ISRA (India)	= 4.971	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 0.829	РИИЦ (Russia)	= 0.126	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.716	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 5.667	OAJI (USA)	= 0.350

В течение многих лет исследователи изучали как теоретически, так и экспериментально процесс распространения вибраций, создаваемых движущимся транспортными средствами. В последнее время при решении этой задачи, для создания математической модели изучаемой области и исследования распространения вибрации в различных средах используются ряд методов, в том числе, метод граничных элементов, метод конечных элементов или их гибридные разновидности.

Цель исследования.

Во многих странах, в частности, в городах Лондон, Копенгаген, Тайбэ, Бангкок, Вашингтон тоннели метрополитенов проектируются и вводятся в эксплуатацию в виде двух параллельных тоннелей. Во многих случаях параллельные тоннели располагаются рядом, но иногда, например, в случае линии Чуньго в Тайбэе, тоннели расположены один над другим [4].

Основной целью данного исследования является исследование распространения вибрации, вызванных движением поездов в параллельных тоннелях метро.

Разработка расчётной схемы.

В качестве объекта исследования приняты два параллельных тоннелей круглого сечения радиусом $R_1=R_2=3\text{м}$, расположенных на глубине $h_1=h_2=8\text{м}$. Расстояние между тоннелями составляет $s=6\text{м}$. Примем прямоугольную систему координат. Ось x направим по свободной границе полуплоскости вправо. Ось y направим вглубь упругой среды (рис.2), свойства которой характеризуются упругими постоянными, E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона, ρ – плотность [5]. Если ось y проводить по середине двух тоннелей, то задача становится симметричной относительно оси y .

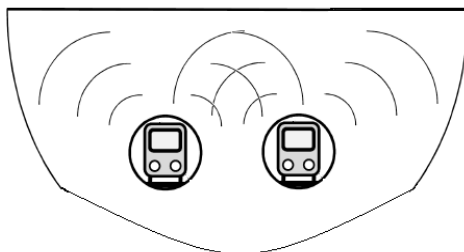


Рис.1. Область расчета

Для решения задачи применим метод конечных элементов (МКЭ). Прямо применить его к бесконечным системам нельзя, в связи с ограниченностью оперативной памяти ЭВМ. Пользуясь методикой, разработанной в [6-7] и

учитывая симметричность задачи, можно выделить прямоугольный участок около тоннеля (рис. 2).

На границе AB ставятся условия симметрии, т.е. перемещение по оси x равно нулю.

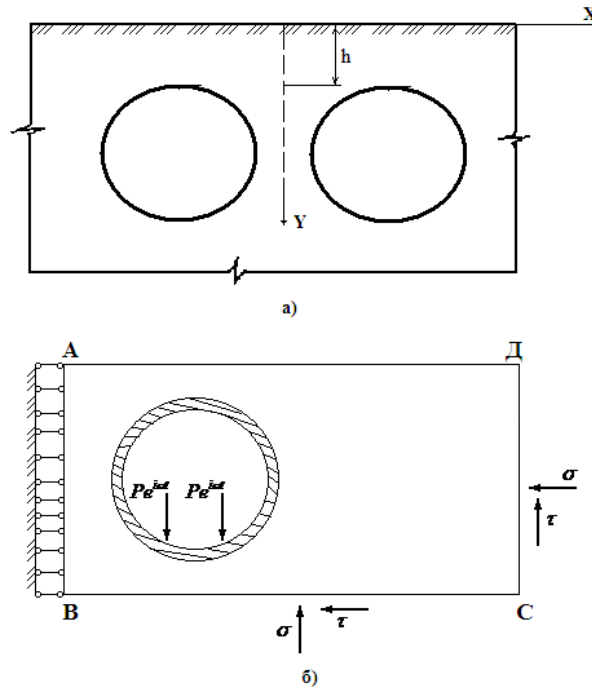


Рис.2. Расчетная схема.

На границах AD , DC , CB ставятся такие граничные условия, которые имитируют излучение упругих волн через фиктивные грани.

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \rho V_p \dot{U} \\ \tau &= \rho V_s \dot{W} \end{aligned} \right\} \text{ и } \left. \begin{aligned} \sigma &= \rho V_p \dot{W} \\ \tau &= \rho V_s \dot{U} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где σ и τ - нормальные и касательные напряжения; \dot{u} и \dot{v} - нормальные и касательные скорости частиц на границе; V_p и V_s - скорости p и s волн; a и b - безразмерные параметры; ρ - плотность материала.

Область $ABCD$ разбиваем на треугольные конечные элементы и записываем уравнение движения

$$[M] \left\{ \ddot{u}(t) \right\} + [C] \left\{ \dot{u}(t) \right\} + [K] \left\{ u(t) \right\} = \left\{ P(t) \right\} - [G] \left\{ \dot{u} \right\} \quad (2)$$

где $[M]$, $[C]$ и $[K]$ - соответственно матрицы масс, демпфирования и жесткости, $\left\{ u(t) \right\}$, $\left\{ P(t) \right\}$ - векторы перемещения узлов и внешней нагрузки, $[G]$ - матрица, учитывающая вязкость границ, имитирующего излучения упругих волн на границе т.е.

$$\left\{ \begin{aligned} G(i-1, i-1) \\ G(i, i) \end{aligned} \right\} = \left\{ \begin{aligned} V_p \\ V_s \end{aligned} \right\} b \Delta l_i \rho_i \quad (3)$$

Здесь b - толщина элемента; Δl_i - средний размер элемента около i -й граничной точки; ρ_i - плотность материала около i -й граничной точки.

Внешние силы изменяются во времени по гармоническому закону с круговой частотой ω и амплитудой $\left\{ \bar{P} \right\}$, т.е.

При гармонической нагрузке с круговой частотой ω

$$[P(t)] = \left\{ \bar{P} \right\} e^{i\omega t} \quad (4)$$

реакция системы равна

$$\left\{ u(t) \right\} = \left\{ \bar{u} \right\} e^{i\omega t}, \quad \left\{ \dot{u}(t) \right\} = i\omega \left\{ \bar{u} \right\} e^{i\omega t}, \quad \left\{ \ddot{u}(t) \right\} = -\omega^2 \left\{ \bar{u} \right\} e^{i\omega t} \quad (5)$$

т.е. система тоже колеблется с круговой частотой ω , где $\left\{ \bar{u} \right\}$ - вектор постоянных комплексных амплитуд перемещения системы.

После подстановки (4) и (5) в (2) уравнение движения системы становится независимым от времени и принимает форму системы комплексных алгебраических уравнений

$$[\bar{K}] \left\{ \bar{u} \right\} = \left\{ \bar{P} \right\}, \quad (6)$$

где, $[\bar{K}]$ - модифицированная комплексная матрица жесткости, определяемая по формуле

$$[\bar{K}] = [K] + i\omega[C] + [G] - \omega^2[M] \quad (7)$$

Известно, что $\omega = 2\pi f$ (f - частота колебаний).

При правильной нумерации узлов и элементов, матрица, формируемая с помощью известной процедуры О. Зенкевича, будет иметь ленточный вид, так как матрицы масс, жесткости и демпфирования системы симметричные, ленточные [8-9].

После решения уравнения (5) методом исключения Гаусса определяется комплексный вектор постоянных амплитуд системы

$$[\bar{u}] = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_N\} \quad (8)$$

Здесь N - число степеней свободы дискретизированной области ($ABCD$). Действительный вектор колебания определяется по формуле

$$\left\{ u(t) \right\} = \text{Re} \left\{ \bar{u} \right\} e^{i\omega t} \quad \text{или} \quad \left\{ u(t) \right\} = \text{Re} \left\{ \bar{u} \right\} \cos \omega t - \text{Im} \left\{ \bar{u} \right\} \sin \omega t$$

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Алгоритм и программа расчеты проверены путем решения известных задач и сравнением результатов с экспериментальными данными, приведенными в работе [10-11].

Для сравнения даны изменения модуля амплитуды на поверхности грунта, пунктирными

линиями показаны результаты, полученные в случае двух параллельных тоннелей, а непрерывными при одиночных тоннелях.

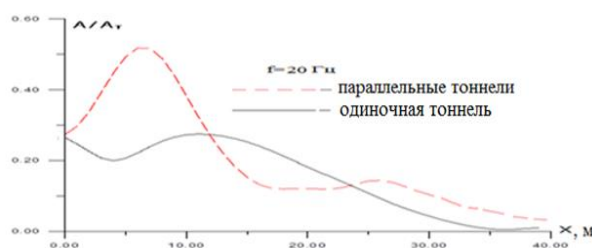


Рис. 3. Изменение огибающих амплитуд колебаний точек свободной границы полуплоскости при $f=20$ Гц.

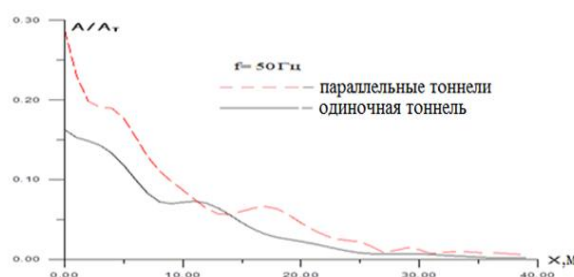


Рис. 4. Изменение огибающих амплитуд колебаний точек свободной границы полуплоскости при $f=50$ Гц.

Анализ результатов исследований показал, что амплитуда колебаний поверхности грунта на расстоянии 10 метров от параллельного тоннеля на 29% больше, чем от одиночного, а на расстоянии 20 метров наоборот, на 33% меньше. Сравнения показали, что амплитуда колебаний на расстоянии 30 метров от параллельного тоннеля в 2,83 раза превышает аналогичных показания от одиночного тоннеля.

При частоте нагрузки $f=40$ Гц, на расстоянии 10 метров от оси симметрии тоннеля этот показатель превышал в 2,4 раза, на расстоянии 20 метров наблюдается практическое равенство показателей, а на расстоянии 30 метров превышение показателя в 4,6 раза.

На рисунке 4 представлены результаты при частоте внешней нагрузки $f=50$ Гц. Из которого видно, что амплитуда колебаний поверхности грунта на расстоянии 10 м превышает на 37%, на расстоянии 20 м этот показатель в 2,46 раза

больше, а на расстоянии 30 метров разность амплитуд колебаний поверхности грунта не ощущается.

Выводы

В данной статье приведены результаты анализа распространения вибрации на поверхности грунта при движении поездов в параллельном тоннеле метрополитена одновременно. Разработана математическая модель задачи.

Когда поезд движется в одиночном тоннеле огибающая амплитуд колебаний поверхности грунта монотоннее, чем в случае движения поездов в параллельных тоннелях и на удалённых участках значения амплитуд меньше в зависимости от частоты. Например, при частоте 20 Гц на расстоянии 5 м в 2,45 раз, на расстоянии 35 м в 2,9 раз меньше. При частоте 50 Гц на расстоянии 5 м в 1,63 раз меньше.

Impact Factor:

ISRA (India)	= 4.971	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 0.829	PIHHI (Russia)	= 0.126	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.716	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 5.667	OAJI (USA)	= 0.350

References:

1. Borisov, Ye.K., et al. (2007). *Eksperimentalnaya dinamika sooruzheniy*. Monitoring transportnoy vibrasii: Monografiya. (p.128). Petropavlovsk-Kamchatskiy: KamchatGTU.
2. Thompson, D.J. (2008). *Railway noise and vibration: mechanisms, modelling and means of control*. Oxford: Elsevier.
3. Lombaert, G., Degrande, G., Francois, S., & Thompson, D.J. (2013). *Ground-borne vibration due to railway traffic: a review of excitation mechanisms, prediction methods and mitigation measures*. Proceedings of the 11th International Workshop on Railway Noise, Uddevalla, Sweden, 9-13 September.
4. Bretz, H. (1998). *Challenges in tunnel engineering in southeast asia*. Tunnel Construction.
5. Vyalov, S.S. (1978). *Reologicheskie osnovi mexaniki gruntov*. (p.447). Moscow: "Visshaya shkola".
6. Yuldashev, Sh.S., & Matkarimov, P.J. (2014). *Rasprostranenie vibrasii v gruntax ot transportnix sredstv i vibrozashitnie sistema*. (p.188). Tashkent: "Fan va texnologiyalar markazi".
7. Rashidov, T.R., Yuldashev, Sh. S., & Ishonxodjaev, A. (1984). "Rasprostranenie v grunte vibrasii, voznikayushix ot proxojdeniya poezdov metropolitena pri uchyote peremesheniya tonnelya otnositelno grunta". *Dokladi*, №5.
8. Lysmer, J., & Kyhlemeyer, L. (1969). "Finite Dynamik Model for Infinite Media" *Jour Engineering Mechanics Division, ASCE*, Vol 95, No EM 4, August, pp. 859-887.
9. Zenkevich, O. (1975). *Metod konechnix elementov v texnike*. (p.541). Moscow: "Mir", 541s.
10. Saidov, S.M., & Yuldashev, Sh.S. (2013). "Reshenie zadachi rasprostraneniya vibrasii ot proxojdeniya poezdov" Materiali mejdunarodnoy nauchno-texnicheskoy konferensii "Sovremennye problemi mexaniki gruntov i slojnix reologicheskix sistem". Samarkand. 19-20 aprel 2-kniga, p.340.
11. Yuldashev, Sh.S. (1999). "Rasprostranenie vibrasii v gruntax ot transportnix sredstv i vibrozashitnie sistemi" doktorskaya dissertatsiya. (p.333). Tashkent.