

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ



NGUYỄN QUANG DŨNG

**NGHIÊN CỨU RUNG ĐỘNG VÀ BIỆN PHÁP  
GIẢM RUNG ĐỘNG TRONG NỀN DO KHAI THÁC  
HỆ THỐNG TÀU ĐIỆN NGẦM**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**HÀ NỘI - NĂM 2013**

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ



NGUYỄN QUANG DŨNG

**NGHIÊN CỨU RUNG ĐỘNG VÀ BIỆN PHÁP  
GIẢM RUNG ĐỘNG TRONG NỀN DO KHAI THÁC  
HỆ THỐNG TÀU ĐIỆN NGẦM**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình đặc biệt**

**Mã số: 62 58 02 06**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:**

**GS.TS. VŨ ĐÌNH LỢI**

**HÀ NỘI - NĂM 2013**

## LỜI CẢM ƠN

Tác giả luận án xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành đối với GS.TS Vũ Đình Lợi đã tận tình hướng dẫn, giúp đỡ và cho nhiều chỉ dẫn khoa học có giá trị giúp tác giả hoàn thành luận án nghiên cứu này. Tác giả luôn trân trọng sự động viên, khuyến khích và những kiến thức chuyên môn mà Giáo sư đã chia sẻ cho tác giả trong nhiều năm qua, giúp tác giả nâng cao năng lực khoa học và củng cố lòng yêu nghề.

Tác giả trân trọng cảm ơn Bộ môn Công trình quốc phòng, Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt, Phòng Sau đại học – Học viện Kỹ thuật Quân sự đã tạo điều kiện giúp đỡ và hợp tác trong quá trình nghiên cứu.

Tác giả xin trân trọng cảm ơn Trường Cao đẳng Giao thông Vận tải III đã tạo điều kiện, hỗ trợ về vật chất, tinh thần và thời gian trong suốt quá trình nghiên cứu của tác giả.

Cuối cùng tác giả muốn bày tỏ lòng biết ơn đối với những người thân trong gia đình đã cảm thông, động viên và chia sẻ những khó khăn với tác giả trong suốt thời gian làm luận án./.

Tác giả  
Nguyễn Quang Dũng

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi là Nguyễn Quang Dũng, tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào.

**Tác giả**

**Nguyễn Quang Dũng**

## MỤC LỤC

Lời cảm ơn .....	i
Lời cam đoan.....	ii
Mục lục.....	iii
Danh mục các ký hiệu, chữ viết tắt .....	vi
Danh mục các bảng biểu. ....	ix
Danh mục hình vẽ, đồ thị .....	x
<b>MỞ ĐẦU</b> .....	<b>1</b>
<b>CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU</b> .....	<b>6</b>
1.1. Khái niệm cường độ rung động .....	6
1.2. Cơ chế gây rung động và ảnh hưởng của rung động do khai thác hệ thống tàu điện ngầm.....	7
1.2.1. Cơ chế gây rung động do khai thác hệ thống tàu điện ngầm.....	7
1.2.2. Phản ứng của con người với rung động và giới hạn rung.....	9
1.2.3. Ảnh hưởng rung động đến công trình xây dựng.....	12
1.3. Tổng quan các phương pháp dự báo rung động và mô tả tải trọng động đoàn tàu. ....	13
1.4. Tổng quan các phương pháp giảm rung động . ....	19
1.5. Các kết quả đạt được của các công trình nghiên cứu đã công bố.....	22
1.6. Những vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu.....	24
1.7. Các kết luận rút ra từ tổng quan.....	24
<b>CHƯƠNG 2: PHÂN TÍCH, LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH THAM SỐ ĐỘNG CỦA NỀN ĐẤT</b> .....	<b>26</b>
2.1. Các tham số động nền đất và tổng quan các phương pháp xác định .....	26
2.2. Phương pháp xác định tham số động của nền đất theo công thức thực nghiệm.....	30
2.2.1. Xác định vận tốc sóng cắt từ thí nghiệm SPT [66] .....	30
2.2.2. Xác định vận tốc sóng cắt từ thí nghiệm CPT [66].....	31

2.2.3. Xác định tỷ số cản theo công thức thực nghiệm .....	34
2.3. Thử nghiệm số xác định các tham số động nền đất tuyến metro số 6 - TpHCM .....	35
2.4. Kết luận chương 2 .....	41
<b>CHƯƠNG 3: NGHIÊN CỨU RUNG ĐỘNG CỦA NỀN ĐẤT DO KHAI THÁC HỆ THỐNG TÀU ĐIỆN NGẦM .....</b>	<b>43</b>
3.1. Đặt bài toán và các giả thiết tính toán.....	43
3.2. Cơ sở phương pháp phân tử hữu hạn phân tích bài toán tương tác giữa kết cấu và nền biến dạng chịu tải trọng động .....	44
3.3. Nghiên cứu rung động bằng phần mềm xác định tải trọng động tàu điện ngầm (DLT) và gói phần mềm PLAXIS.....	47
3.3.1. Phân tích lựa chọn mô hình nền áp dụng cho nền đất TPHCM. ....	49
3.3.2. Nghiên cứu mô phỏng tải trọng động và xây dựng phần mềm xác định tải trọng động của đoàn tàu lưu thông trong hầm (DLT). ....	52
3.3.3. Xác định tần số dao động riêng của nền nhiều lớp bằng Plaxis .....	60
3.3.3.1. Xác định tần số dao động riêng của nền đất tuyến metro số 6 .....	63
3.3.3.2. Ảnh hưởng sự phân bố các lớp đất và sức cản của nền.....	65
3.4. Dự báo rung động của nền do khai thác tàu điện ngầm TpHCM.....	68
3.4.1. Xác định sơ đồ bố trí tải trọng động và kích thước mô hình.....	70
3.4.2. Cường độ rung động theo phương ngang hầm tại Km0+940 và Km 6+700 trên tuyến metro số 6 – TpHCM.....	73
3.5. Thử nghiệm số khảo sát ảnh hưởng của các yếu tố của hầm, nền đến rung động trong nền .....	75
3.5.1. Ảnh hưởng của khuyết tật mặt tiếp xúc bánh xe-ray đến rung động nền .....	75
3.5.2. Ảnh hưởng của tốc độ chạy tàu đến rung động nền .....	76
3.5.3. Ảnh hưởng loại hầm đến rung động nền .....	76
3.5.4. Ảnh hưởng độ dày vỏ hầm đến rung động nền.....	77

3.5.5. Ảnh hưởng của lớp đất yếu đến rung động nền .....	78
3.6. Kết luận chương 3 .....	80
3.6.1. Những kết quả chính đạt được .....	80
3.6.2. Những kiến nghị về mặt kỹ thuật.....	81
<b>CHƯƠNG 4: NGHIÊN CỨU BIỆN PHÁP GIẢM RUNG ĐỘNG</b>	
<b>TRONG NỀN DO KHAI THÁC HỆ THỐNG XE ĐIỆN NGẦM .....</b>	<b>83</b>
4.1. Đặt vấn đề .....	83
4.2. Vật liệu đàn hồi giảm rung động.....	85
4.3. Mô hình bài toán và trình tự tính toán hiệu quả giảm rung .....	87
4.4. Đánh giá hiệu quả giảm rung động bằng đệm đàn hồi Sylomer đặt vĩnh cửu trong đường hầm.....	94
4.4.1. Phương án bố trí 1 lớp đệm đàn hồi Sylomer .....	95
4.4.1.1. Bố trí tấm Sylomer tại đáy ray .....	95
4.4.1.2. Bố trí 1 lớp Sylomer trong sàn hầm.....	97
4.4.2. Phương án bố trí 2 lớp Sylomer trong sàn hầm .....	102
4.5. Khảo sát ảnh hưởng một số yếu tố đến hiệu quả giảm rung của đệm đàn hồi Sylomer .....	109
4.5.1. Ảnh hưởng của chiều dày lớp đệm đàn hồi Sylomer.....	109
4.5.2. Ảnh hưởng của chiều rộng lớp đệm đàn hồi Sylomer .....	110
4.5.3. Ảnh hưởng của mô đun đàn hồi lớp đệm Sylomer.....	111
4.5.4. Ảnh hưởng của lớp đất yếu .....	112
4.6. Kết luận chương 4.....	114
4.6.1. Những kết quả chính đạt được .....	114
4.6.2. Những kiến nghị về mặt kỹ thuật.....	114
<b>KẾT LUẬN CHUNG .....</b>	<b>116</b>
<b>DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ .....</b>	<b>120</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>121</b>

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

### 1. Danh mục các ký hiệu

#### 1.1. Các ký hiệu bằng chữ Latinh

A	Biên độ dao động,
ASF	Hệ số địa tầng
$[B]_n$	Ma trận quan hệ biến dạng - chuyển vị của phần tử,
$[C]_n, [C]$	Ma trận cản của phần tử, ma trận cản của hệ,
E	Mô đun đàn hồi của vật liệu,
e	Hệ số rỗng của đất,
$f_S$	Sức kháng ma sát trên thành lỗ xuyên,
$f_{SP}$	Tần suất lấy mẫu,
F(t)	Hàm tải trọng động của đoàn tàu theo thời gian,
g	Gia tốc trọng trường,
G	Mô đun kháng trượt của vật liệu,
$I_c$	Hệ số ứng xử của địa tầng,
$[K]_n, [K]$	Ma trận độ cứng phần tử, ma trận độ cứng của hệ,
L	Cường độ rung động lớn nhất,
$[M]_n, [M]$	Ma trận khối lượng phần tử, ma trận khối lượng của hệ,
$N_{60}^*$	Số búa SPT/30cm,
PI	Chỉ số dẻo của đất,
$q_c$	Sức kháng mũi trong thí nghiệm CPT,
$t_1, t_2$	Thời điểm bắt đầu và thời điểm kết thúc tính toán $V_{RMS}$ ,
U, $U_x, U_y$	Chuyển vị, chuyển vị theo phương x và y,
$U_n, U$	Véc tơ chuyển vị nút của phần tử, véc tơ chuyển vị nút của hệ,
$v_n$	Vận tốc dao động tại thời điểm n,
$v_{max}$	Vận tốc dao động lớn nhất,
$\Delta v_{max}$	Hiệu quả giảm giá trị vận tốc rung lớn nhất,
$v_p$	Vận tốc truyền sóng nén,



$v_S$	Vận tốc truyền sóng cắt,
$v, v_x, v_y$	Vận tốc dao động, vận tốc dao động theo phương x và y,
$v_{ref}$	Vận tốc dao động tham chiếu,
$v_{RMS}$	Vận tốc dao động căn quân phương,
$V$	Vận tốc khai thác chạy tàu,

## 1.2. Các ký hiệu bằng chữ Hy Lạp

$\alpha, \delta$	Các tham số trong tích phân Newmark,
$\alpha_R, \beta_R$	Các hằng số cản Rayleigh,
$\delta_S$	Độ dày đệm đàn hồi trong trường hợp bố trí 1 lớp,
$\delta_{S1}$	Độ dày đệm đàn hồi lớp trên trong trường hợp bố trí 2 lớp,
$\delta_{S2}$	Độ dày đệm đàn hồi lớp dưới trong trường hợp bố trí 2 lớp,
$\Delta t$	Bước thời gian tích phân,
$\Delta L$	Hiệu quả giảm rung,
$\Delta L$	Hiệu quả giảm rung trung bình,
$\Phi(z)$	Hàm số phân bố tải trọng $P=1$ tại tọa độ z,
$\gamma$	Biên độ biến dạng cắt,
$\sigma'_v$	Ứng suất có hiệu thẳng đứng,
$\nu$	Hệ số Poisson,
$\omega_i, \omega_j$	Các tần số dao động riêng,
$\xi_i, \xi_j$	Các tỷ số cản,
$\xi$	Tỷ số cản,

## 2. Danh mục các chữ viết tắt

BEM	Phương pháp phần tử biên
CPT	Thí nghiệm xuyên tĩnh,
DFN	Phương pháp mạng rời rạc đứt gãy
DLT2013	Phần mềm tính toán tải trọng động của đoàn tàu tác dụng xuống vỏ hầm,

FEM	Phương pháp phần tử hữu hạn,
FDM	Phương pháp sai phân hữu hạn,
GPMB	Giải phóng mặt bằng,
PPV	Vận tốc dao động đỉnh,
PTHH	Phần tử hữu hạn,
RMS	Căn quân phương,
SPT	Thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn,
Sylomer	Tên vật liệu đàn hồi tiêu chuẩn của hãng Getzner,
SR	Ký hiệu của loại Sylomer tiêu chuẩn của hãng Getzner,
SDOF	Hệ một bậc tự do,
TpHCM	Thành phố Hồ Chí Minh,
VdB	Đơn vị của cường độ rung hay decibel rung động,