

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

TẠ VĂN HUY

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH BỐC XÚC VẬT LIỆU CỦA MÁY XÚC LẬY  
ĐỔ BÊN TRONG THI CÔNG ĐƯỜNG HÀM BẰNG PHƯƠNG PHÁP  
KHOAN NỔ

LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

TẠ VĂN HUY

**NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH BỐC XÚC VẬT LIỆU CỦA MÁY XÚC LẠT  
ĐỔ BÊN TRONG THI CÔNG ĐƯỜNG HÀM BẰNG PHƯƠNG PHÁP  
KHOAN NỔ**

Chuyên ngành: Kỹ thuật cơ khí động lực

Mã số : 9 52 01 16

LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. GS.TS CHU VĂN ĐẠT

## LỜI CAM ĐOAN

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

Tác giả

**Tạ Văn Huy**

## MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN.....	i
MỤC LỤC .....	ii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU .....	vii
DANH MỤC CÁC BẢNG .....	xi
DANH MỤC HÌNH VẼ, ẢNH, ĐỒ THỊ.....	xii
MỞ ĐẦU .....	1
1. Tính cấp thiết của đề tài .....	1
2. Mục đích, nhiệm vụ nghiên cứu.....	2
2.1. Mục đích nghiên cứu.....	2
2.2. Nội dung nghiên cứu .....	3
3. Đối tượng nghiên cứu.....	3
4. Phương pháp nghiên cứu.....	4
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn .....	4
5.1. Ý nghĩa khoa học .....	4
5.2. Ý nghĩa thực tiễn .....	5
6. Tính mới của luận án.....	5
7. Bố cục luận án .....	5
Chương 1: TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU .....	7
1.1. Tổng quan về đường hầm và ĐNM trong đường hầm.....	7
1.1.1. Đặc điểm chung của các đường hầm và đường hầm khâu nhỏ.....	7
1.1.2. Đặc điểm của ĐNM sau khoan nổ trong thi công đường hầm .....	9
1.2. Tổng quan về thiết bị bóc xúc và máy xúc lật đổ bên .....	13
1.2.1. Máy và thiết bị bóc xúc ĐNM trong đường hầm .....	13
1.2.2. Sử dụng MXLDB trong thi công đường hầm.....	15
1.3. Tổng quan các nghiên cứu trong và ngoài nước .....	19
1.3.1. Các công trình nghiên cứu ngoài nước .....	20

1.3.2. Các nghiên cứu trong nước .....	31
1.3.3. Đánh giá, phân tích các nghiên cứu ngoài nước, trong nước .....	33
Kết luận chương 1 .....	34
<b>Chương 2: NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH TƯƠNG TÁC VÀ QUỸ ĐẠO CHUYỂN ĐỘNG HỢP LÝ CỦA GÀU XÚC KHI XÚC, ĐỔ ĐÁ NỔ MÌN TRONG THI CÔNG ĐƯỜNG HẦM.....</b>	<b>35</b>
2.1. Tương tác của gàu xúc với đá nổ mìn trong quá trình xúc đá nổ mìn trong đường hầm.....	35
2.1.1. Phân tích đặc điểm kết cấu và quá trình làm việc của MXLDB.....	35
2.1.2. Mô hình khảo sát quá trình tương tác giữa TBCT của máy xúc lật với môi trường ĐNM sau khoan nổ .....	36
2.1.3. Xác định các thành phần lực cản TBCT máy xúc lật trong quá trình tích ĐNM.....	39
2.2. Xác định quỹ đạo làm việc hợp lý của gàu xúc khi xúc, đổ ĐNM trong thi công đường hầm bằng phương pháp khoan nổ .....	53
2.2.1. Xác định tọa độ các điểm trên gàu xúc.....	54
2.2.2. Xác định quỹ đạo chuyển động hợp lý của gàu xúc khi tích ĐNM bằng phương pháp xúc phối hợp .....	60
2.2.3. Quỹ đạo chuyển động của gàu xúc trong quá trình đổ ĐNM. ....	63
2.3. Xác định quy luật điều khiển khâu dẫn đáp ứng quỹ đạo chuyển động hợp lý của gàu xúc khi xúc ĐNM .....	68
2.3.1. Phương pháp luận xác định quy luật điều khiển khâu dẫn .....	68
2.3.2. Thuật toán giải bài toán động học ngược.....	69
2.3.3. Quy luật thay đổi của các khâu dẫn để tạo ra quỹ đạo chuyển động hợp lý của gàu xúc khi xúc ĐNM. ....	70
Kết luận chương 2 .....	73
<b>Chương 3: NGHIÊN CỨU TẢI TRỌNG ĐỘNG CỦA THIẾT BỊ CÔNG TÁC MÁY XÚC LẬT ĐỔ BÊN TRONG QUÁ TRÌNH XÚC VÀ ĐỔ ĐÁ NỔ MÌN.....</b>	<b>75</b>
3.1. Xây dựng mô hình khảo sát động lực học .....	75
3.1.1. Mục đích xây dựng mô hình khảo sát động lực học .....	75

3.1.2. Cơ sở xây dựng mô hình khảo sát động lực học .....	75
3.1.3. Các giả thiết .....	76
3.1.4. Mô hình khảo sát động lực học .....	76
3.2. Thành lập hệ phương trình vi phân mô tả quá trình ĐLH của cơ hệ .....	79
3.2.1. Động năng của hệ .....	79
3.2.2. Thế năng của hệ.....	86
3.2.3. Hàm hao tán của hệ.....	87
3.2.4. Lực suy rộng của hệ .....	87
3.3. Thành lập hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của hệ. ....	96
3.4. Nghiên cứu xác định lực tại các khớp trong quá trình xúc, đồ ĐNM.....	97
3.4.1. Xác định lực tại khớp quay cần $O_2$ .....	97
3.4.2. Xác định lực tại khớp quay gầu xúc $O_3$ .....	98
3.4.3. Xác định lực tại khớp quay lật gầu $O_5$ .....	99
3.5. Kết quả khảo sát tính toán.....	99
3.5.1. Các thông số đầu vào phục vụ tính toán .....	99
3.5.2. Điều kiện ban đầu. ....	100
3.5.3. Kết quả khảo sát chuyển vị, vận tốc, gia tốc của các khâu khi xúc, đồ ĐNM. ....	102
3.5.4. Kết quả lực tác dụng lên các khớp làm việc theo thời gian.....	106
Kết luận chương 3 .....	108
Chương 4: NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM .....	110
4.1. Cơ sở, mục đích, đối tượng và các thông số nghiên cứu thực nghiệm..	110
4.1.1. Cơ sở, mục đích nghiên cứu thực nghiệm.....	110
4.1.2. Đối tượng và điều kiện thực nghiệm .....	110
4.1.3. Các thông số thực nghiệm cần đo.....	111
4.2. Trang thiết bị thí nghiệm.....	111
4.2.1. Đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13 .....	111
4.2.2. Đầu đo lưu lượng R4S-7HD. ....	112

4.2.3. Đầu đo áp suất OCM-511.....	113
4.2.4. Cảm biến đo khoảng cách H7.....	114
4.2.5. Cảm biến đo vận tốc GSS25.....	115
4.2.6. Tenzo đo biến dạng.....	115
4.2.7. Thiết bị ghi và xử lý tín hiệu.....	116
4.2.8. Máy tính và phần mềm xử lý số liệu.....	117
4.3. Công tác chuẩn bị thực nghiệm.....	118
4.3.1. Lắp ráp thiết bị đo kiểm vào các hệ thống và TBCT của máy.....	119
4.3.2. Kết nối thiết bị ghi, xử lý tín hiệu và hiệu chuẩn thiết bị.....	122
4.3.3. Chọn số lần và phương pháp đánh giá sai số thực nghiệm.....	124
4.4. Tổ chức thực nghiệm.....	125
4.4.1. Đo áp suất, lưu lượng dầu thủy lực đi vào xi lanh nâng cần và mô tơ di chuyển.....	125
4.4.2. Đo áp suất, lưu lượng dầu thủy lực đi vào xi lanh quay gầu và mô tơ di chuyển.....	126
4.4.3. Đo áp suất xi lanh nâng cần, xi lanh quay gầu và mô tơ di chuyển.....	126
4.4.4. Đo áp suất mô tơ di chuyển trong các trường hợp.....	126
4.4.5. Xác định lực tác dụng lên khâu khớp TBCT, khi xúc ĐNM.....	127
4.5. Kết quả thực nghiệm.....	127
4.5.2. Đo áp suất, lưu lượng dầu thủy lực đi vào xi lanh quay gầu và mô tơ di chuyển.....	129
4.5.3. Đo áp suất của hai mô tơ di chuyển trong các trường hợp.....	130
4.6. Kết quả so sánh giữa nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm.....	131
4.6.1. Kết quả so sánh lực tại khớp quay nâng cần.....	132
4.6.2. Kết quả so sánh tại khớp của khâu 3.....	132
4.6.1. Nhận xét kết quả so sánh lực tại các khớp.....	132
Kết luận chương 4.....	133
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	135
1. Kết luận.....	135
2. Kiến nghị.....	136

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ.....	137
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	138
1. Tiếng Việt.....	138
2. Tiếng Anh.....	139
3. Tiếng Nga.....	140
PHỤ LỤC.....	143
Phụ lục 1. Thông số kỹ thuật cơ bản của máy xúc lật VMC E500-1.....	143
Phụ lục 2.1. Ma trận chuyển thuận nhất cho các khâu .....	144
Phụ lục 2.2. Ma trận vị trí các khâu so với tọa độ cố định .....	145
Phụ lục 2.3. Tọa độ tuyệt đối của điểm H và điểm L.....	146
Phụ lục 2.4 Các vị trí đặc biệt của thiết bị công tác MXL VMC E500-1 .....	148
Phụ lục 3.1. Giá trị, thông số, vị trí trọng tâm của các chi tiết. ....	150
Phụ lục 3.2 : Tính toán động năng .....	152
Phụ lục 3.3 : Tính toán các đạo hàm riêng.....	155
Phụ lục 4.1 Giá trị lực tại khớp O <sub>2</sub> theo chương trình tính toán lực ADAM.....	161
Phụ lục 4.2 Chương trình tính nh trên phần mềm Matlap.....	163



## DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

### 1. Chữ viết tắt:

ĐLH	Động lực học
HPTVP	Hệ phương trình vi phân
MXLĐB	Máy xúc lật đổ bên
TBCT	Thiết bị công tác
VMC	Công ty Cổ phần chế tạo máy Vinacumin
ĐNM	Đá nổ mìn

### 2. Ký hiệu:

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
B	m	Chiều dày phía trước của răng gầu xúc
$b_r$	m	Chiều rộng của cạnh tù răng gầu xúc
$b_x$	m	Chiều rộng của xích
$B_{gx}$	m	Chiều rộng gầu xúc
C	Pa	Hệ số liên kết ĐNM
$D_{tb}$	m	Kích thước trung bình của các hạt sau nổ
$D_{cp}$	m	Kích thước cục đá cho phép lớn nhất
$d_1$	m	Lượng dịch chuyển tịnh tiến của máy xúc
$F_{rgx}$	N	Lực cản chính diện trên răng máy xúc
$F_{cb}$	N	Lực cản dịch chuyển ĐNM theo các bề mặt bên
$F_{cn}$	N	Lực cản ngang khi ấn gầu xúc vào đồng ĐNM
$F_{ct}$	N	Lực cản dịch chuyển ĐNM theo bề mặt chính diện
$F_{ctx}$	N	Lực cản phía trước gầu xúc theo phương ngang
$F_{cty}$	N	Lực cản phía trước gầu xúc theo phương đứng
$\vec{F}_{E_y}$	N	Lực pháp tuyến tại răng gầu

$\vec{F}_{E_x}$	N	Lực tiếp tuyến tại răng gầu
$F_{msr}$	N	Lực ma sát trên răng gầu
$F_{ms1}$	N	Lực ma sát trượt của khối lắng trụ với đáy gầu xúc
$F_{ms2}$	N	Lực ma sát trượt ĐNM với ĐNM
$F_{rg}$	N/m	Lực ngang riêng trên 1 m chiều rộng gầu xúc
$F_{an}$	N	Lực ấn ngang
$F_{lk}$	N	Lực liên kết của ĐNM với ĐNM
$\vec{F}_{x_{11}}$	N	Lực tác dụng của xi lanh quay giá TBCT
$\vec{F}_{x_{12}}$	N	Lực tác dụng của xi lanh nâng cần
$\vec{F}_{x_{13}}$	N	Lực tác dụng của xi lanh quay gầu
$\vec{F}_{x_{14}}$	N	Lực tác dụng của xi lanh đổ nghiêng gầu
$G$	$m/s^2$	Gia tốc trọng trường
$G_m$	N	Trọng lượng máy xúc
$G_{LT}$	N	Trọng lượng lắng trụ ĐNM
$G_G$	N	Trọng lượng gầu xúc
$G_{lk}$	N	Trọng lượng của khối lắng kính ĐNM
$G_{VL}$	N	Trọng lượng vật liệu trong gầu xúc
$H_{min}$	m	Chiều cao tối thiểu đóng ĐNM
$j$	m	Khoảng trượt của dải xích
$K_H$		Hệ số điền đầy gầu xúc
$K_\sigma$	MPa	Lực cản đào riêng của đất
$K_p$		Hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào mật độ
$K_t$		Hệ số toi xóp đất khi điền đầy gầu xúc

$\kappa_C$	N/m	Hệ số lực cản riêng cản trở quá trình ấn sâu gầu xúc vào trong đồng ĐNM
$\kappa_M$	N/m	Hệ số phụ thuộc vào độ lớn của cục đá
$L_{AG}$	m	Chiều sâu ấn gầu xúc vào đồng ĐNM
$l_x$	m	chiều dài dải xích
$L_G$	m	Chiều sâu của gầu xúc vào đồng đá nổ mìn.
$M_E$	Nm	Mô men tại đỉnh răng gầu E.
$N$	N	Áp lực trên bề mặt răng cắt
$N_1$	N	Phản lực của đáy gầu lên khối ĐNM
$N_2$	N	Phản lực của ĐNM phía trước
$\vec{P}_{G_1}; \vec{P}_{G_2}$ $\vec{P}_{G_3}; \vec{P}_{G_4}$	N	Các trọng lực gây ra bởi các khối lượng các khâu $m_1, m_2, m_3, m_4$
$P_{1max}$	N	Lực lớn nhất sinh ra bởi gầu xúc từ điều kiện bám
$P_k$	N	Lực kéo của máy cơ sở
$p_x$	kPa	Áp suất tiếp xúc
$Q$	kG	Tải trọng nâng của máy xúc
$Q_N$	kG	Tải trọng nâng danh nghĩa
$Q_{\theta_i}$		Các lực suy rộng
$q_{rg}$	N/m	Lực ấn riêng trên 1m chiều rộng gầu xúc
$q_{1max},$ $q_{2max}$		Các giá trị cường độ lớn nhất của giản đồ tam giác
$R_1$	m	Bán kính đỉnh răng gầu khi gầu chuyển động quay.
$R_2$	m	Bán kính đỉnh răng gầu khi cần chuyển động quay
$R_3$	m	Bán kính đỉnh răng gầu khi cần và gầu chuyển động quay quanh điểm $O_2, O_3$ , đồng thời máy tịnh tiến về phía đồng ĐNM

$S_{cb}$	$m^2$	Diện tích mặt cản bên của khối dịch chuyển
$S_{cd}$	$m^2$	Diện tích mặt cản chính diện của khối dịch chuyển
$T_i$		Động năng của các khâu thứ $i$
$V_{vl}$	$m^3$	Thể tích khối vật liệu trong gàu
$V_G$	$m^3$	Dung tích của gàu xúc
$V_1, V_2, V_3,$ $V_4$	$m/s$	Vận tốc của các xi lanh 1,2,3,4
$V_{lt}$	$m/s$	Vận tốc di chuyển lý thuyết của máy
$V_j$	$m/s$	Vận tốc di chuyển trượt của máy
$V_m$	$m/s$	Vận tốc di chuyển thực của máy
$\vec{V}_{pk}; \vec{V}_{Ey}; \vec{V}_{Ex}$	$m/s$	Các véc tơ vận tốc tuyệt đối của vị trí đỉnh răng gàu
$x_1, x_2, x_3, x_4$	$m$	Hành trình chuyển động đi ra của xi lanh thủy lực 1,2,3,4
$\alpha_0$	độ	Góc đáy gàu xúc so với bề mặt tựa
$\alpha_{VL}$	độ	Góc xoắn tự nhiên của ĐNM
$\beta$	độ	Góc hợp bởi cần nâng và phương thẳng đứng
$\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$	độ	Các góc hợp bởi trục $O_i G_i$ và $O_i X_i$ ( $i = 1, 2, 3, 4.$ )
$\theta_1$	độ	Góc quay giá thiết bị công tác
$\theta_2$	độ	Góc quay nâng cần
$\theta_3$	độ	Góc quay gàu khi xúc
$\theta_4$	độ	Góc lật gàu
$\mu_{vg}$		Hệ số ma sát trượt giữa ĐNM và gàu xúc
$\mu_{lk}$		Hệ số ma sát liên kết của ĐNM
$\mu_1$		Hệ số ma sát trượt của ĐNM với thép
$\mu_2$		Hệ số ma sát giữa ĐNM với ĐNM
$\rho_{vl}$	$kg/m^3$	Khối lượng riêng của ĐNM

$\sigma_{rc}$	Mpa	Ứng suất trên mặt nghiêng của răng gầu
$\sigma_{pt}$	Mpa	Ứng suất pháp tuyến trên bề mặt răng gầu
$\sigma_z$	Mpa	Ứng suất thẳng đứng trong đất
$\sigma_{zd}$	Mpa	Ứng suất pháp tuyến trung bình trên đầu thanh đòn
$\varphi$	độ	Góc ma sát trong
$\varphi_H$	độ	Góc được tạo bởi thành trước của gầu xúc với nền
$\psi_1$	độ	Góc của mặt phẳng trượt gầu xúc với nền
$\psi_2$	độ	Góc trượt của ĐNM với ĐNM khi ấn gầu xúc
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$	rad/s	Vận tốc góc của các khâu
$\Delta_1, \Delta_2,$ $\Delta_3, \Delta_4$	mm	Hành trình chuyển động của xi lanh thủy lực 1,2,3,4
$\Phi$		Hàm hao tán có năng lượng
$\Pi$		Thế năng của hệ

## DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2.1. Phân loại ĐNM theo tính chất cơ lý. ....	40
Bảng 2.2. Các giá trị của $\Psi_2$ đối với các loại ĐNM khác nhau [53]. ....	46
Bảng 2.3. Các giá trị của k và $k_1$ đối với các loại vật liệu khác nhau. ....	49
Bảng 2.4. Các thông số của các loại vật liệu rời dạng đồng chính.....	62
Bảng 2.5. Các thông số cấu trúc động học.....	64
Bảng 3.1. Các thông số động học phục vụ tính toán.....	99
Bảng 4.1. Thông số kỹ thuật của đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13. ....	112
Bảng 4. 2. Các thông số cơ bản của đầu đo lưu lượng R4S-7HD-25, R4S-7HD-50.....	113
Bảng 4. 3. Thông số kỹ thuật Đầu đo cảm biến áp suất OCM-511 .....	113
Bảng 4.4. Các thông số kỹ thuật của cảm biến H7. ....	114
Bảng 4.5. Các thông số kỹ thuật cảm biến đo tốc độ GSS25. ....	115
Bảng 4.6 Thông số kỹ thuật của Tenzo FCA -5-11 .....	116

## DANH MỤC HÌNH VẼ, ẢNH, ĐỒ THỊ

Hình 1.1. Các kích thước cơ bản của đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ .....	7
Hình 1.2. Mô hình đường hầm quân sự và thiết bị bốc xúc trong đường hầm. 9	9
Hình 1.3. Hình ảnh bốc xúc ĐNM và đường hầm trước, sau khoan nổ .....	9
Hình 1.5. Sự phân bố cỡ hạt theo Gôđen – Andrep và GS Nhữ Văn Bách.....	10
Hình 1.6. Máy bốc xúc kiểu gầu lật sau. ....	14
Hình 1.7. Máy xúc lật đổ phía trước .....	14
Hình 1.8. Sơ đồ cấu tạo máy bốc ĐNM kiểu cang cua .....	14
Hình 1.9. MXLDB di chuyển bằng lốp và xích .....	15
Hình 1.10. Sơ đồ cấu tạo MXLDB VMC E500-1 .....	16
Hình 1.11. Gầu xúc phổ biến lắp trên MXLDB .....	17
Hình 1.12. Sơ đồ chuyển động của máy xúc lật đổ trước [34].....	18
Hình 1.13. Sơ đồ chuyển động của MXLDB trong thi công đường hầm.....	18
Hình 1.14. Sơ đồ tính toán xác định các lực cản ấn gầu theo V.N. Stogov.....	22
Hình 1.15. Sơ đồ tính toán để xác định lực cản theo V.A Bauman [53].....	24
Hình 1.16. Các lực tác dụng lên gầu xúc [17].....	24
Hình 1.17. Mô hình động lực học máy xúc lật của D.M. Agiyenko .....	27
Hình 1.18. Sơ đồ động học của máy xúc lật bánh lốp Y. Li and W. Liu [25]	28
Hình 1.19. Mô hình động học bộ công tác MXL đổ trước của A.Hemani [17].....	29
Hình 1.20. Sơ đồ xác định lực kéo theo điều kiện bám của xích và bánh xe... 30	30
Hình 1.21. Các lực tác dụng lên các phần tử của dải xích khi chuyển động. [38].	30
Hình 1.22. Mô hình khảo sát ĐLH của TBCT máy bốc xúc [14] .....	32
Hình 1. 23. Chế tạo MXLDB VMC E500-1 tại Công ty Vinacomin. ....	33
Hình 1. 24. MXLDB VMC E500-1 làm việc tại mỏ Than Hà Lầm. ....	33
Hình 2.1. MXLDB phục vụ bốc xúc trong thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ. ....	35
Hình 2.2. Các giai đoạn của quá trình tích ĐNM vào gầu.....	36
Hình 2.3 Sơ đồ mô tả vị trí các cục đá khi ấn gầu xúc vào trong đồng ĐNM.....	37
Hình 2.4 Sơ đồ mô tả vị trí các cục đá khi quay gầu xúc trong đồng ĐNM. ....	38

Hình 2.5. Sơ đồ chuyển động khi quay gầu xúc trong đồng ĐNM. ....	38
Hình 2.6 Quỹ đạo chuyển động của gầu xúc khi tích ĐNM.....	39
Hình 2.7 a) Sơ đồ miệng gầu xúc; b) Sơ đồ tính lực cản tác dụng lên răng gầu....	40
Hình 2.8 Sơ đồ các lực tương tác khi tích ĐNM vào gầu. ....	43
Hình 2.9 Sơ đồ lực phân bố lên gầu xúc .....	43
Hình 2.10. Sơ đồ lực chính tác dụng lên gầu xúc .....	44
Hình 2.11 Sơ đồ tính toán khảo sát các lực tác dụng lên gầu xúc.....	47
Hình 2.12 Sự phụ thuộc của lực cản trước $F_{cx}$ và $F_{cy}$ , khi ấn gầu xúc trong đồng vật liệu vào chiều sâu ấn gầu xúc và loại vật liệu khác nhau. ....	50
Hình 2.13. Sự phụ thuộc của các lực cản bên $F_{cb}$ , khi ấn gầu xúc trong đồng vật liệu .....	50
Hình 2.14. Sự phụ thuộc của thể tích và khối lượng ĐNM.....	51
Hình 2.15 Sự phụ thuộc của các lực cản và các thông số của khối lắng trụ ĐNM.....	52
Hình 2.16. Sơ đồ tính toán xác tọa độ các điểm trên gầu của MXLDB .....	54
Hình 2.17. Quỹ đạo chuyển động của gầu xúc trong các trường hợp làm việc. ....	59
Hình 2.18. Sơ đồ xác định quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu khi xúc ĐNM bằng phương pháp phối hợp.....	60
Hình 2.19 Sơ đồ tính toán để xác định chiều cao nhỏ nhất của đồng ĐNM ..	61
Hình 2.20. Mô hình xác định không gian làm việc của máy xúc đổ bên .....	63
Hình 2.21. Sự thay đổi chiều cao của gầu theo giá trị góc nâng cần .....	66
Hình 2.22 a) Quỹ đạo chuyển động của gầu; b) sự thay đổi góc nghiêng miệng gầu trong quá trình nâng cần; R-đỉnh răng gầu, M - miệng gầu .....	67
Hình 2.23. Quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc khi xúc ĐNM .....	68
Hình 2.24. Sơ đồ khối thuật toán giải bài toán động học ngược .....	70
Hình 2.25. Quy luật dịch chuyển của các khâu dẫn.....	71
Hình 2.26. Quy luật vận tốc chuyển động của các khâu.....	72
Hình 2.27. Quy luật gia tốc chuyển động của các khâu.....	72
Hình 2.28 Sai số vị trí của đỉnh răng gầu theo thời gian khảo sát .....	72

Hình 3.1 Sơ đồ kết cấu chung MXLĐB VMC E500-1 ở các tư thế làm việc.....	75
Hình 3.2. Mô hình động lực học của MXLĐB VMC E500-1 .....	77
Hình 3.3. Mô hình xác định lực xi lanh nâng cần, khi tích ĐNM vào gầu.....	87
Hình 3.4. Mô hình xác định lực xi lanh quay gầu, khi tích ĐNM vào gầu ....	89
Hình 3.5. Mô hình xác định lực xi lanh lật gầu, khi đổ ĐNM.....	90
Hình 3.6. Hoạt động của xích và bánh xe. ....	91
Hình 3.7. Phân bố áp suất trên giải xích .....	92
Hình 3.8. Đặc tính kéo của máy xúc lật VMC E500-1 .....	93
Hình 3.9. Mối quan hệ giữa lực cản và lực kéo của máy xúc lật đổ bên VMC E500-1 .....	94
Hình 3.10. Sơ đồ tính toán lực tác dụng lên khớp quay cần $O_2$ .....	97
Hình 3.11. Sơ đồ tính toán lực tác dụng lên khớp quay lật gầu $O_5$ .....	98
Hình 3.12. Sơ đồ tính toán lực tác dụng lên khớp quay gầu $O_3$ .....	98
Hình 3.13. Sơ đồ tính toán lực tác dụng lên khớp quay lật gầu $O_5$ .....	99
Hình 3.14. Quy luật chuyển vị của thân máy khi xúc ĐNM .....	102
Hình 3.15. Quy luật thay đổi vận tốc của thân máy khi xúc ĐNM .....	102
Hình 3.16. Quy luật thay đổi gia tốc của thân máy khi xúc ĐNM .....	103
Hình 3.17. Quy luật biến đổi của góc $\theta_2$ theo thời gian .....	103
Hình 3.18. Quy luật biến đổi của vận tốc góc $\dot{\theta}_2$ theo thời gian.....	103
Hình 3.19. Quy luật biến đổi của gia tốc góc $\ddot{\theta}_2$ theo thời gian .....	104
Hình 3.20. Quy luật biến đổi của góc $\theta_3$ theo thời gian.....	104
Hình 3.21. Quy luật biến đổi của vận tốc góc $\dot{\theta}_3$ theo thời gian.....	104
Hình 3.22. Quy luật biến đổi của gia tốc góc $\ddot{\theta}_3$ theo thời gian.....	104
Hình 3.23. Quy luật biến đổi của góc $\theta_4$ theo thời gian .....	105
Hình 3.24. Quy luật biến đổi của vận tốc góc $\dot{\theta}_4$ theo thời gian.....	105
Hình 3.25. Quy luật biến đổi của gia tốc góc $\ddot{\theta}_4$ theo thời gian .....	105
Hình 3.26. Đồ thị lực tại khớp $O_2$ theo thời gian.....	106



Hình 3.27. Đồ thị lực tại khớp $O_3$ theo thời gian.....	106
Hình 3.28. Đồ thị lực tại khớp $O_5$ theo thời gian.....	107
Hình 4.1. Điều kiện thử nghiệm và môi trường làm việc thực tế của máy...	111
Hình 4.2. Đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13.....	112
Hình 4. 3. Các đầu đo lưu lượng: R4S7HD25, R4S7HD50, RS7HD100.....	112
Hình 4. 4. Đầu đo cảm biến áp suất OCM-511.....	113
Hình 4.5. Cảm biến đo khoảng cách H7. ....	114
Hình 4. 6. Lắp Thiết bị định GPS lên máy.....	115
Hình 4.7 Cảm biến đo tốc độ GSS25 .....	115
Hình 4. 8 Tenzo đo biến dạng.....	115
Hình 4. 9. Thiết bị chuyển đổi tín hiệu NI 6003, 6009 .....	116
Hình 4. 10. Máy tính Dell có cài phần mềm DaSyLab 11.....	117
Hình 4.11. Các khối mô đun của phần mềm DasyLab 11.....	117
Hình 4. 12. Sơ đồ cấu trúc hệ thống đo trên DaSyLab 11.....	118
Hình 4.13. Các nhà khoa học và chuyên gia tại vị trí thực nghiệm. ....	119
Hình 4.14. Sơ đồ bố trí chung hệ thống thiết bị đo.....	119
Hình 4.15. Sơ đồ bố trí các Tenzo xác định lực tác dụng lên khâu khớp khi xúc ĐNM.....	121
Hình 4.16. Lắp đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13 .....	121
Hình 4.17. Lắp đầu đo lưu lượng R4S-7HD, đầu đo cảm biến áp suất OCM-511 .	122
Hình 4.18. Gắn thiết bị định vị GPS trên máy xúc .....	122
Hình 4.19. Kết nối thiết bị đo với bộ xử lý và máy tính.....	123
Hình 4.20. Sơ đồ cấu trúc hệ thống đo trên DaSyLab 11 .....	123
Hình 4.21. Đồ thị lực tại khớp quay nâng cần $O_2$ khi xúc ĐNM bằng phương pháp phối hợp theo lý thuyết và thực nghiệm.....	132
Hình 4.22. Đồ thị lực tại khớp $O_3$ của khâu 3 theo lý thuyết và thực nghiệm.....	132

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài

Trên thế giới công trình ngầm nói chung và đường hầm nói riêng được dùng vào các mục đích khác nhau để đáp ứng nhu cầu của nền kinh tế quốc dân như: Giao thông, thủy lợi, thủy điện, khai thác than, khoáng sản;

Trong những năm gần đây, nước ta đã triển khai nhiều dự án khai khoáng, xây dựng các công trình ngầm tương đối lớn như hầm lò khai thác than, đường dẫn nước các nhà máy thủy điện, hầm đường bộ. Mặt khác trong chiến tranh công nghệ cao có thể xảy ra, vũ khí hủy diệt thông minh đánh phá chính xác vào các mục tiêu: căn cứ quân sự, các khu vực phòng thủ, khu công nghiệp, các mục tiêu then chốt nằm lộ thiên trên mặt đất; do đó việc xây dựng các công trình ngầm, các hầm ngầm bảo vệ người, tài sản và việc che dấu trang bị kỹ thuật là hết sức quan trọng và cần thiết;

Trong quân đội, các đơn vị công binh, đã và đang thực hiện nhiệm vụ xây dựng các công trình ngầm, các hầm trong núi bảo đảm sở chỉ huy, vị trí cất chứa khí tài quân sự cho các quân binh chủng, các công trình phòng thủ chiến lược của các quân khu...

Để thi công đường hầm cần nhiều công đoạn, trong đó công tác bóc xúc đá nổ mìn tại gương đào là một nội dung công việc thực hiện khá phức tạp, chi phối không nhỏ tới năng suất và tiến độ thi công chung. Để việc bóc xúc đá nổ mìn (ĐNM) đạt hiệu quả cao, cần phải có thiết bị để cơ giới hoá quá trình bóc xúc phục vụ trong thi công đường hầm, thiết bị bóc xúc sẽ góp phần giảm thời gian, giảm chi phí và nhân lực trong thi công;

Trong thực tiễn, với những đường hầm có khẩu độ lớn, việc bóc xúc vật liệu sau khoan nổ (VLSKN) bằng các máy xúc lật bánh lốp đồ trước công suất lớn của Nhật Bản như Komatsu WA100 WA150...WA350 dung tích gầu từ  $1\text{m}^3$  –  $3,5\text{m}^3$ ; Liugong CLG836 (dung tích gầu  $1,7\text{m}^3$ ), máy ZL50CN (dung tích gầu  $3\text{m}^3$ ) của Trung quốc được sử dụng khá phổ biến [1], các loại máy này cho năng suất cao và giảm thời gian thi công, tuy nhiên chúng không phù hợp với điều

kiện thi công đường hầm có khẩu độ vừa và nhỏ do không không gian thi công hạn chế, không phát huy được năng suất, tính năng kỹ thuật của máy nên không được sử dụng hoặc sử dụng rất ít. Các đơn vị Công binh thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ hiện nay cũng đã áp dụng cơ giới hóa quá trình bốc xúc, vận chuyển bằng máy cào vơ, máy xúc đào gầu ngược hoặc máy xúc lật bánh lốp đổ trước, loại nhỏ kết hợp xe vận chuyển, tuy nhiên hiệu quả kinh tế chưa được cao, chưa phát huy hết năng suất, tính năng của thiết bị không khai thác hết cũng chủ yếu bởi không gian chật hẹp của đường hầm...Bởi vậy việc bốc xúc vận chuyển vật liệu sau khoan nổ ở một số nơi vẫn còn sử dụng biện pháp thủ công, bằng tay hoặc bằng các loại phương tiện thô sơ...Điều này ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng, năng suất thi công và quân số các đơn vị, chưa phù hợp với yêu cầu chung của quân đội là hiện đại hóa trang bị, giảm biên chế quân số;

Qua khảo sát thực tế ở một số đơn vị thi công đường hầm lò dẫn trong khai thác than, khoáng sản cho thấy máy xúc lật đổ bên có những ưu điểm nổi trội so với các loại máy bốc xúc khác, đặc biệt máy có thể xúc và đổ vật liệu lên phương tiện vận chuyển khác trong không gian đường hầm chật hẹp;

Để phục vụ công việc bốc xúc vật liệu trong hầm lò, Công ty Cổ phần chế tạo máy Vinacumin - Tập đoàn Than khoáng sản Việt Nam đã thiết kế chế tạo máy xúc lật đổ bên VCM E500-1. Quá trình thiết kế chế tạo theo mẫu có sẵn và thử nghiệm máy sau chế tạo để hoàn thiện đáp ứng các yêu cầu thực tế đặt ra mà chưa có nghiên cứu, tính toán phục vụ cho thiết kế chế tạo;

Từ những vấn đề đặt ra nêu trên, nội dung ***“Nghiên cứu quá trình bốc xúc vật liệu của máy xúc lật đổ bên trong thi công đường hầm bằng phương pháp khoan nổ”*** là hết sức cần thiết.

## **2. Mục đích, nhiệm vụ nghiên cứu**

### **2.1. Mục đích nghiên cứu**

Nghiên cứu quá trình tương tác, động học và động lực học máy xúc lật đổ bên khi xúc, đổ ĐNM trong không gian chật hẹp làm cơ sở cho việc đánh giá, lựa chọn khả năng, điều kiện làm việc; đồng thời là cơ sở khoa học phục vụ quá trình

cải tiến, hoàn thiện kết cấu máy xúc lật đổ bên VMC E500-1 khi thi công đường hầm có khẩu độ vừa và nhỏ trong điều kiện địa chất Việt Nam.

## **2.2. Nội dung nghiên cứu**

Để đạt được mục đích đề ra, luận án cần tiến hành nghiên cứu một số nội dung sau:

- Nghiên cứu tổng quan các vấn đề liên quan đến vật liệu hạt rời, vật liệu sau khoan nổ, qua đó xác định được đặc tính cơ lý, đặc điểm, hình dạng, kích thước cũng như sự phân bố của ĐNM trong đường hầm;

- Nghiên cứu đặc trưng về kích thước, hình dạng cũng như không gian của đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ trong thi công đường hầm ở Việt Nam, để lựa chọn loại máy xúc lật đổ bên hợp lý;

- Nghiên cứu quá trình tương tác của máy xúc lật đổ bên (MXLĐB) với môi trường ĐNM trong đường hầm qua đó xác định phương pháp xúc, quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc khi xúc, đổ ĐNM trong đường hầm có không gian chật hẹp; đồng thời xác định quy luật dịch chuyển các khâu dẫn của máy để tạo ra quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc;

- Xây dựng, khảo sát mô hình động lực học để xác định tải trọng động của thiết bị công tác máy xúc lật đổ bên khi xúc, đổ ĐNM trong điều kiện không gian làm việc chật hẹp;

- Nghiên cứu thực nghiệm lấy số liệu đầu vào phục vụ quá trình tính toán lý thuyết đồng thời so sánh kết quả thực nghiệm với tính toán lý thuyết làm cơ sở khẳng định tính đúng đắn cũng như độ tin cậy của phương pháp và mô hình tính toán.

## **3. Đối tượng nghiên cứu**

- Đá nổ mìn trong đường hầm khẩu độ nhỏ;
- Máy xúc lật đổ bên VMC E500-1.

#### **4. Phương pháp nghiên cứu**

Phương pháp nghiên cứu sử dụng trong luận án là kết hợp nghiên cứu lý thuyết với nghiên cứu thực nghiệm kiểm chứng trên thực tế;

Trong nghiên cứu lý thuyết luận án đã nghiên cứu quá trình điền đầy ĐNM vào gầu, xác định lực cản trong quá trình xúc ĐNM, ứng dụng thuật toán thuận nghịch xác định được quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc và quy luật thay đổi các khâu dẫn để tạo ra quỹ đạo hợp lý của gầu xúc, khi xúc ĐNM trong đường hầm khâu độ vừa và nhỏ; xây dựng khảo sát mô hình động lực học để xác định tải trọng động của thiết bị công tác máy xúc lật đổ bên...

Nghiên cứu thực nghiệm, được tiến hành để xác định một số thông số và hệ số phục vụ cho tính toán lý thuyết, đồng thời sử dụng một số kết quả thực nghiệm để so sánh đánh giá độ tin cậy của mô hình nghiên cứu lý thuyết.

#### **5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn**

##### **5.1. Ý nghĩa khoa học**

Xây dựng và khảo sát mô hình động học MXLĐB VMC E500-1 qua đó xác định được không gian làm việc cần thiết của máy khi nâng, đổ ĐNM trong đường hầm, xác định quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc, trong quá trình xúc ĐNM bằng phương pháp phối hợp; từ quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc, sử dụng phương pháp động học ngược, xác định mối quan hệ chuyển động giữa các khâu dẫn: nâng cần, quay gầu và tịnh tiến của máy, nhằm đảm bảo việc tích vật liệu vào gầu hiệu quả nhất;

Xây dựng, khảo sát mô hình động lực học để xác định tải trọng động tác động vào khâu, khớp thiết bị công tác làm cơ sở phục vụ cho tính toán lý thuyết;

Nghiên cứu thực nghiệm xác định một số thông số để kiểm chứng, đánh giá tính chính xác của phương pháp tính toán lý thuyết, mô hình động lực học và làm cơ sở để phục vụ bài toán thiết kế cũng như kiểm bền, cải tiến, hoàn thiện kết cấu của MXLĐB VMC E500-1.

## 5.2. Ý nghĩa thực tiễn

Kết quả nghiên cứu của luận án đã khẳng định khả năng làm việc của máy MXLDB VMC E500-1 (quỹ đạo chuyển động, không gian làm việc..) khi sử dụng thiết bị này thi công đường hầm quân sự khẩu độ vừa và nhỏ bằng phương pháp khoan nổ trong điều kiện đặc thù địa chất ở Việt Nam;

Những kết quả nghiên cứu của luận án là cơ sở khoa học phục vụ quá trình tính toán, thiết kế, chế tạo, cải tiến đối với MXLDB VMC E500-1, khai thác sử dụng MXLDB hợp lý phục vụ thi công hầm lò, khai thác khoáng sản và đường hầm quân sự khẩu độ vừa và nhỏ tại Việt Nam.

## 6. Tính mới của luận án

- Xác định được phương pháp xúc và quỹ đạo xúc ĐNM hợp lý của máy xúc lật đổ bên trong trong điều kiện không gian đường hầm làm việc chật hẹp; đồng thời tìm ra quy luật thay đổi của các khâu dẫn để tạo ra quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc khi xúc ĐNM bằng phương pháp phối hợp;

- Xây dựng, khảo sát mô hình động lực học (ĐLH), xác định tải trọng động của thiết bị công tác máy xúc lật đổ bên VMC E500-1 khi xúc, đổ ĐNM trong đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ, thi công đường hầm bằng phương pháp khoan nổ.

## 7. Bố cục luận án

Luận án được bố cục như sau:

### Mở đầu

Tính cấp thiết, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án;

Mục đích, nội dung, đối tượng, phương pháp nghiên cứu và bố cục của luận án.

### Chương 1: Tổng quan về vấn đề nghiên cứu

Nội dung của chương này sẽ đề cập đến tổng quan về đường hầm có không gian chật hẹp và đường hầm quân sự khẩu độ vừa và nhỏ; môi trường vật liệu rời, đá sau khoan nổ mìn; máy và thiết bị bốc xúc được sử dụng trong thi công đường hầm; các nghiên cứu về tương tác giữa gầu máy xúc lật với

môi trường hạt rời; các công trình nghiên cứu về động học, động lực học quá trình làm việc của máy và thiết bị công tác máy xúc lật. Từ nghiên cứu tổng quan, phân tích các vấn đề còn tồn tại cần nghiên cứu và hoàn thiện, từ đó xác định mục đích nghiên cứu và nhiệm vụ của luận án.

## **Chương 2: Nghiên cứu quá trình tương tác và quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc khi xúc, đổ ĐNM trong thi công đường hầm**

Nghiên cứu quá trình tương tác giữa thiết bị công tác của MXLDB với môi trường ĐNM, xác định lực cản trong quá trình xúc ĐNM trong đường hầm, xác định phương pháp xúc, quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc khi xúc, đổ ĐNM trong đường hầm có không gian chật hẹp; đồng thời xác định quy luật dịch chuyển các khâu dẫn của máy để tạo ra quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc.

## **Chương 3: Nghiên cứu tải trọng động của thiết bị công tác máy xúc lật đổ bên trong quá trình xúc và đổ ĐNM**

Nội dung chương này tập trung nghiên cứu, xây dựng, khảo sát mô hình động lực học, xác định tải trọng động của thiết bị công tác máy xúc lật đổ bên VMC E500-1, khi xúc, đổ ĐNM trong điều kiện không gian làm việc chật hẹp bằng lý thuyết cơ học hệ nhiều vật, đồng thời khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến các thông số ĐLH của máy.

## **Chương 4: Nghiên cứu thực nghiệm**

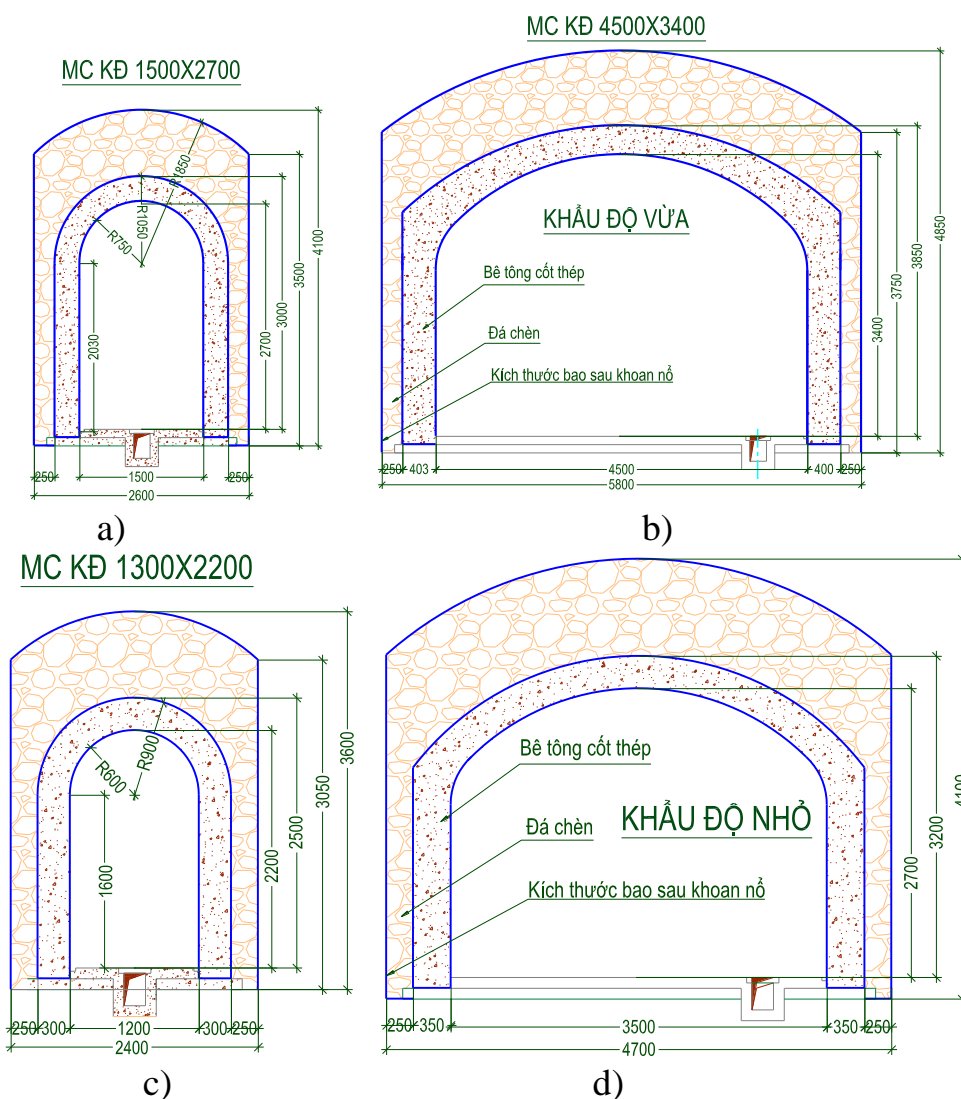
Nghiên cứu thực nghiệm được tiến hành bao gồm: Xây dựng mô hình, phương án thực nghiệm, lựa chọn các thông số đo và thiết bị đo; tiến hành thực nghiệm để lấy dữ liệu đầu vào phục vụ tính toán lý thuyết đồng thời sử dụng kết quả thực nghiệm để kiểm chứng khẳng định tính đúng đắn độ tin cậy của các mô hình và các công thức tính toán.

## Chương 1: TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

### 1.1. Tổng quan về đường hầm và ĐNM trong đường hầm.

#### 1.1.1. Đặc điểm chung của các đường hầm và đường hầm khẩu nhỏ

Đường hầm được bao bọc bởi môi trường đá tự nhiên, việc xây dựng trước tiên phải tạo không gian để thi công, các đường hầm thường có chiều dài lớn mặt cắt nhỏ xuyên núi hoặc sâu dưới lòng đất nên bắt buộc phải thi công theo phương pháp kín. Khi đá có hệ số kiên cố  $f_{kp} \geq 8$ , công nghệ thi công sử dụng chủ yếu là phương pháp khoan nổ. Đường hầm có không gian làm việc chật hẹp (khẩu độ vừa và nhỏ) thông dụng hiện nay, có hình dạng mặt cắt, kích thước phổ biến như Hình 1.1.



Hình 1.1. Các kích thước cơ bản của đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ phổ biến hiện nay: a,c) Mặt cắt vị trí nhỏ nhất, b,d) Mặt cắt vị trí lớn nhất.



Đặc điểm chung khi thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ:

- Không sử dụng được các thiết bị kỹ thuật thi công thông dụng mà phải sử dụng các loại thiết bị đặc chủng có kích thước phù hợp với không gian làm việc và điều kiện thi công đường hầm;

- Điều kiện thi công rất nặng nhọc do ảnh hưởng của bụi, độ ẩm, nhiệt độ, tiếng ồn và khả năng thiếu khí sẽ ảnh hưởng rất lớn đến sức khoẻ của con người và tuổi thọ của trang bị kỹ thuật;

- Không gian thi công rất chật hẹp; có chiều rộng hẹp ( $b \leq 6m$ ), chiều cao thấp ( $h \leq 3m$ ), nhưng chiều dài lớn, thông thường khoảng từ 100 đến 300m và có thể dài hàng nghìn mét; diện tích mặt gương khoan nổ không lớn, nên phương án thi công đòi hỏi lựa chọn máy bóc xúc phải nhỏ, gọn, nhưng vẫn bảo đảm được yêu cầu bóc xúc đạt hiệu quả cao nhất;

- Khả năng cơ động, triển khai tác nghiệp, thu hồi trang thiết bị phục vụ thi công gặp rất nhiều khó khăn do không gian chật hẹp, vướng hệ thống khung chống nóc công trình, hệ thống khí nén, thông gió, điện và hệ thống cấp thoát nước nên ảnh hưởng rất lớn đến tiến độ và năng suất thi công;

- Khả năng bóc xúc và vận chuyển vật liệu sau khi thi công bằng phương pháp khoan nổ gặp rất nhiều khó khăn, thường sử dụng phương pháp thủ công nên tốn nhiều thời gian và năng suất rất thấp;

- Trong thực tế có ba loại đường hầm phổ biến hiện nay là: Đường hầm đường bộ có tim đường hầm khá thẳng độ dốc nhỏ, tiết diện mặt cắt không thay đổi trong suốt chiều dài của hầm; Đường hầm dẫn nước cho các nhà máy thủy điện, đường hầm lò dẫn khai thác than, cơ bản giống hầm đường bộ nhưng độ dốc dọc thân hầm khá lớn; Đường hầm quân sự có đặc điểm khác biệt với hai loại đường hầm trên như: tim đường hầm không thẳng theo một hướng mà thay đổi liên tục dọc theo chiều dài hầm; hình dạng, diện tích mặt cắt ở các vị trí của hầm rất khác nhau, chỗ thu hẹp, chỗ mở rộng, chỗ thay đổi hướng tim đường hầm; cửa hầm thường nhỏ hơn phần thân hầm và có độ dốc lên;



a) Mô hình đường hầm quân sự      a) MXLĐB làm việc trong đường hầm  
 Hình 1.2. Mô hình đường hầm quân sự và thiết bị bốc xúc trong đường hầm

Từ những đặc điểm nêu trên cho thấy, các loại phương tiện xe máy, trang thiết bị làm việc trong điều kiện thi công đường hầm vừa và nhỏ, chỉ chuyển động tiến và lùi theo phương dọc trục hầm, khả năng quay vòng hoặc quay thiết bị công tác (TBCT) của các phương tiện rất khó thực hiện hoặc rất chậm; sự dịch chuyển và không gian làm việc của một phương tiện đã chiếm gần hết không gian làm việc tại gương hầm, đặc biệt là phần thu nhỏ của đường hầm khẩu độ nhỏ, nên tính năng kỹ thuật, hiệu quả kinh tế và năng suất bị ảnh hưởng đáng kể. Vì vậy việc bốc xúc ĐNM trong đường hầm bằng phương tiện thô sơ hiện nay vẫn còn ở một vài đơn vị thi công thực hiện, Hình 1.3.



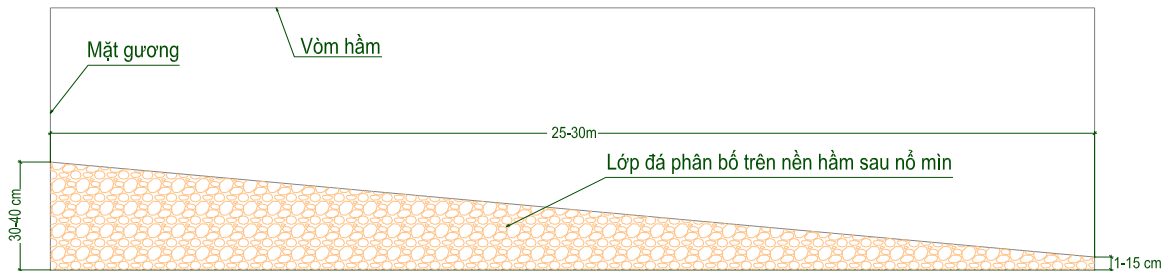
a) Đường hầm sau khoan nổ      b) Bốc xúc ĐNM trong đường hầm      c) Đường hầm sau khi bốc xúc

Hình 1.3. Hình ảnh bốc xúc ĐNM và đường hầm trước, sau khoan nổ

### 1.1.2. Đặc điểm của ĐNM sau khoan nổ trong thi công đường hầm

*Sự phân bố, tính chất cơ lý và độ hạt của ĐNM trong đường hầm*

Đá tự nhiên sau khoan, nổ mìn có tỷ lệ kích thước hạt rất khác nhau, hình dạng đa giác, sắc cạnh, bề mặt không phẳng, phân bố xen kẽ ngẫu nhiên, giữa có khe rỗng tạo nên môi trường hạt rời; mặt khác chúng bị văng từ gương đào ra xa và phân bố ngẫu nhiên tạo nên một lớp phủ trên bề mặt của đáy hầm. Hình dạng và tỷ lệ kích cỡ hạt được tạo ra sau nổ phụ thuộc rất nhiều vào tính chất của đá tự nhiên cũng như hộ chiếu nổ mìn, Hình 1.4.



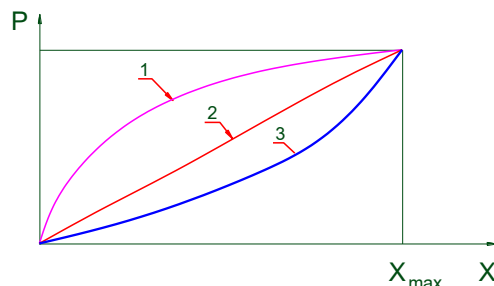
d) Sơ đồ phân bố ĐNM trong đường hầm

Hình 1.4. Sơ đồ phân bố ĐNM trong đường hầm.

Quy luật phân bố thành phần cỡ hạt của ĐNM đã được nhiều tác giả trên thế giới nghiên cứu như Rôzin-Rămle, L.I.Barôn, V.M.Kuznhetxôp, I.P.Ôxanhit,...trong đó kết quả nghiên cứu quy luật phân bố thành phần cỡ hạt của nhóm Gôđen-Andrep và GS Nhữ Văn Bách Hình 1.5 đã phản ánh sát với thực tế, tỷ lệ cỡ hạt được xác định là:

$$P_{(x)} = \left( \frac{X}{X_{\max}} \right)^m \quad (1.1)$$

Trong đó:  $X$  - Kích thước cục đá khảo sát;  $X_{\max}$  - Kích thước cục lớn nhất được tạo ra sau khoan nổ;  $m$  - Hệ số thực nghiệm.



Hình 1.5. Sự phân bố cỡ hạt theo Gôđen – Andrep và GS Nhữ Văn Bách.  
1- ứng với đá dễ nổ; 2- ứng với đá có độ khó nổ trung bình; 3- ứng với đá khó nổ.

Để nâng cao hiệu quả của máy bốc xúc, ngoài việc xem xét các thông số đầu vào là kích thước đường hầm, đặc điểm kết cấu, năng suất của máy và

phương tiện vận chuyển, cần phải chú ý đến thông số chung của ĐNM, cụ thể: kích thước cỡ cục đá lớn nhất, tỷ lệ đá có kích thước quá cỡ, kích thước cỡ hạt trung bình của ĐNM;

- Do không gian làm việc trong gương hàm khẩu độ nhỏ khá chật hẹp nên kích thước của các phương tiện vận chuyển và máy bốc xúc được xác định sơ bộ trước; khi đó, kích thước cỡ cục đá lớn nhất phải được xác định phù hợp với dung tích và các thông số hình học của gầu xúc (bảo đảm nhỏ hơn kích thước cạnh nhỏ nhất của gầu xúc) và được gọi là kích thước hạt cho phép, đây là điều kiện biên cho công tác khoan nổ mìn và việc lựa chọn kích thước hình học của gầu máy bốc xúc được xác định như công thức sau:

$$D_{cp} = (0,7 \div 0,8) \sqrt[3]{V_g} \quad (\text{m}) \quad (1.2)$$

Trong đó:  $D_{cp}$  - kích thước cục đá cho phép lớn nhất (m);  $V_g$  - dung tích gầu xúc ( $\text{m}^3$ ).

- Trên cơ sở nghiên cứu qui luật phân bố cỡ hạt đá sau nổ mìn, Giáo sư B.N. Kutudôp đã thiết lập tỷ lệ đá quá cỡ sau nổ mìn qua công thức

$$V_{qc} = V_0 \left[ 1 - \sqrt[3]{\frac{D_{cp}}{4D_{tb}}} \right] \% \quad (1.3)$$

Trong đó:  $V_{qc}$  - tỷ lệ đá quá cỡ sau nổ mìn;  $V_0$  - tỷ lệ các cục đá quá cỡ có kích thước lớn hơn  $D_{cp}$  trong nguyên khối trước khi nổ (%);  $D_{tb}$  - kích thước trung bình của các hạt sau nổ;  $D_{cp}$  - cỡ hạt cho phép lớn nhất.

Như vậy, môi trường ĐNM là môi trường hạt rời, được đặc trưng bằng qui luật phân bố thành phần cỡ hạt và tỷ lệ đá quá cỡ sau nổ mìn. Do sự không đồng đều về kích thước cỡ hạt nên thường coi kích thước trung bình  $D_{tb}$  là một đại lượng đặc trưng cho mức độ đập vỡ ĐNM bằng phương pháp khoan nổ. Hiện nay phương pháp xác định  $D_{tb}$  thông dụng nhất là phương pháp năng lượng; với đá có độ đập vỡ bình thường xác định như sau:

$$D_{tb} = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\varphi_1} W \quad (1.4)$$

Trong đó:  $\alpha$  - hệ số phụ thuộc vào chi phí năng lượng nổ;  $\varphi_1$  - hằng số đập vỡ;  $W$  - là năng lượng riêng phá vỡ một đơn vị thể tích ĐNM đá,  $\text{J}/\text{m}^3$ .

Qua nghiên cứu cho thấy, môi trường ĐNM là môi trường hạt rời với các hạt có kích cỡ và tỷ lệ cỡ hạt khác nhau, môi trường này được đặc trưng bằng các đặc điểm như sau:

- Các cục đá có hình dạng đa giác, sắc cạnh, có kích cỡ khác nhau và được tách biệt nhau hoặc tiếp xúc với nhau theo các bề mặt;

- Lực liên kết giữa các hạt rất nhỏ, nên khả năng liên kết giữa chúng là không bền vững. Tính liên kết này dễ bị phá vỡ và dễ bóc tách thành các phần riêng biệt khi có lực tác dụng vào khối ĐNM;

- Tính đồng nhất và tính đẳng hướng không lớn, nên khi chịu tác dụng của một ngoại lực, các hạt chuyển dịch không theo một hướng thống nhất;

- Các cục đá ít có khả năng hút nước và ngậm nước, nên đã tạo ra ma sát khô trên bề mặt tiếp xúc giữa các hạt và các hạt với bề mặt của thiết bị công tác máy bóc xúc;

- Bề mặt trượt giữa các lớp hạt không được rõ ràng và thay đổi rất nhanh tùy theo hướng dịch chuyển của các hạt. Do các cục đá sắc cạnh nên dễ tạo ra các nêm hoặc các gờ chặn, gây cản trở sự di chuyển của cục đá này so với cục đá khác;

- Độ rỗng lớn, nhất là khi kích cỡ các hạt tăng, nên tạo ra sự giảm thể tích ban đầu khá lớn sau khi chịu lực;

Các đặc trưng trên đây cho thấy, môi trường ĐNM, có sự khác biệt so với môi trường hạt rời khác, điều này đã ảnh hưởng rất lớn đến năng suất bóc xúc ĐNM và sự hình thành các thành phần lực cản TBCT của máy bóc xúc khi thâm nhập trong môi trường này. Đây cũng là một môi trường rất phức tạp, để đánh giá bản chất của môi trường và xem xét đến mối liên hệ giữa môi trường và TBCT của máy, một số nhà khoa học đã nêu như sau:

- Theo [31], giáo sư, viện sĩ A.I Balópnép coi môi trường đá sau khoan nổ là môi trường hạt rời, liên kết nhỏ, có hệ số độ cứng  $f_{kp}=1.5$ , các loại máy bóc xúc thông dụng có thể trực tiếp thi công mà không cần phải sử dụng các phương tiện hỗ trợ khác;

- Theo [9], coi sản phẩm sau nổ mìn là môi trường đá dạng rời, có hệ số ma sát trong và ngoài lớn nhất ( $f_2=0.9$ ;  $f_1=0.84$ ), khi tính toán lực cân bằng công thức của N.G Dombrovski, hệ số lực cản khi xúc ĐNM, với TBCT của máy xúc lật là  $k$  ( $K_3=200\div 250 \text{ N/cm}^2$ );

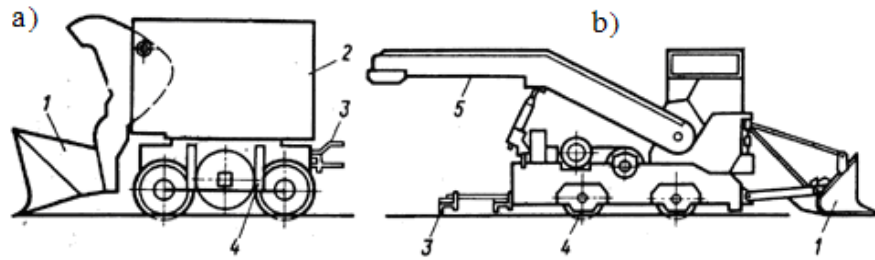
Như vậy, ĐNM là một môi trường không đồng nhất, được tạo bởi các viên đá có kích thước khác nhau, sắp xếp ngẫu nhiên trong khối ĐNM và phân bố trải trên mặt nền hầm trong phạm vi nổ mìn; kích thước các viên đá phụ thuộc rất lớn vào hệ chiều nổ và độ cứng của đá. Sự khác biệt của đá nổ mìn trong đường hầm khâu độ nhỏ với môi trường hạt rời làm cho sự tương tác của TBCT máy xúc lật với đá nổ mìn diễn ra phức tạp hơn. Tỷ lệ kích cỡ viên đá, hình dạng, độ sắc cạnh và sự phân bố ngẫu nhiên, rời rạc sau nổ trong không gian đường hầm chật hẹp là một trong các yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình xúc, đổ ĐNM, nên khi áp dụng lý thuyết tương tác môi trường hạt rời dạng đồng, không gian rộng hiện có, cần phải xem xét đến sự ảnh hưởng này.

## **1.2. Tổng quan về thiết bị bốc xúc và máy xúc lật đổ bên**

### **1.2.1. Máy và thiết bị bốc xúc ĐNM trong đường hầm**

Để cơ giới hoá công tác bốc xúc ĐNM trong thi công đường hầm, người ta cần phải sử dụng các loại máy bốc xúc chuyên dụng. Máy bốc xúc ĐNM trong đường hầm rất đa dạng về hình thức, kiểu dáng, chế độ làm việc và cơ cấu di chuyển bao gồm các loại chính: kiểu gầu xúc, kiểu cào cua, kiểu vuốt đứng, kiểu gầu đào; loại bốc xúc liên tục, ngắt quãng; loại thùng lật đổ sau, đổ trước, đổ bên; loại bánh lốp, loại bánh xích, loại chạy trên ray...[13].

- *Máy bốc xúc kiểu gầu lật đổ sau*: Loại máy này thường dùng cơ cấu di chuyển trên ray. Máy dùng gầu xúc ĐNM ở phía trước nhưng đổ ĐNM ra phía sau vào trong xe vận tải hoặc đổ vào băng tải, Hình 1.6. Loại máy này chỉ thích hợp với loại đường hầm mặt cắt nhỏ hoặc quy mô không lớn.

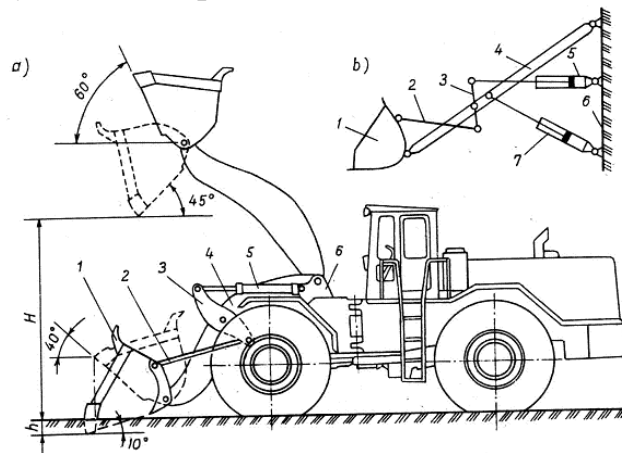


Hình 1.6. Máy bốc xúc kiểu gầu lật sau.

a) Loại đổ lên thùng; b) Loại đổ lên băng tải

1 - gầu; 2 - vỏ máy; 3- móc ghép vào máy vận chuyển; 4- cơ cấu di chuyển; 5- băng tải

- Máy xúc lật đổ phía trước:



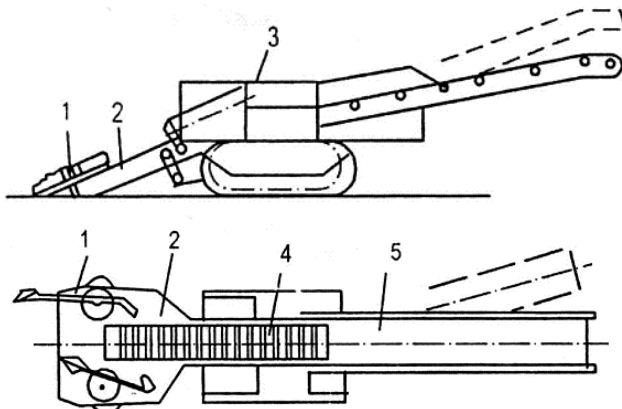
Hình 1.7. Máy xúc lật đổ phía trước

a) sơ đồ kết cấu;

b) sơ đồ động học

Loại máy này chỉ cho phép xúc và đổ ĐNM ở phía trước máy, nên thường dùng bốc xúc ĐNM sau khoan nổ mìn trong các tuyến đường hầm có diện tích mặt cắt gương hầm 35–70 m<sup>2</sup>, tức là mặt bằng thi công khá lớn.

- Máy máy cào vơ.



Hình 1.8. Sơ đồ cấu tạo máy bốc ĐNM kiểu cào cua

1-càng gạt; 2- mâm nhận ĐNM; 3-thân máy; 4- xích gạt; 5-băng tải

Di chuyển bằng bánh xích, điều khiển bằng điện và bốc xúc liên tục; máy chỉ bốc xúc được loại đá có kích thước nhỏ, rời; máy có năng suất kỹ thuật trong khoảng 60 – 80 m<sup>3</sup>/h

- *Máy xúc lật đổ bên*: So với các loại máy trên, MXLDB, là loại máy có kết cấu nhỏ gọn, di chuyển bằng bánh lốp hoặc xích; máy dỡ tải được cả hai bên, nên có thể hoạt động tốt trong điều kiện không gian hạn chế. Với đường hầm có khẩu độ vừa có chiều rộng đủ cho máy và xe chở ĐNM đỗ song song. Đường hầm khẩu độ nhỏ chỉ đủ cho máy cơ động, xe chở ĐNM đỗ ở vị trí mở rộng, máy tiến vào xúc ĐNM, lùi lại dỡ tải bằng hình thức đổ bên và không cần phải quay đầu để dỡ tải.



Hình 1.9. MXLDB di chuyển bằng lốp và xích

### 1.2.2. Sử dụng MXLDB trong thi công đường hầm

Sử dụng MXLDB trong thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ là một giải pháp nâng cao hiệu quả quá trình bốc xúc ĐNM. Để đánh giá hiệu quả sử dụng MXLDB với các loại máy bốc xúc khác trong quá trình xúc, đổ đá nổ mìn khi thi công đường hầm khẩu độ nhỏ, cần thấy được những so sánh như sau:

#### 1.2.2.1. Ưu, nhược điểm của một số loại máy bốc xúc ĐNM trong đường hầm.

- Máy xúc gầu ngược thường dùng để xúc vật liệu, có kết cấu cần dài và phải quay vòng khi xúc, đổ nên cần phải có không gian rộng, chiều cao cần thiết.

- Sử dụng máy cào vơ để bốc xúc đá nổ mìn tại gương hầm là giải pháp khá phổ biến tương đối hiệu quả trong thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ hiện nay, tuy nhiên, cũng gặp khó khăn nếu đá nổ mìn có kích thước lớn do không thể cào gạt và vận chuyển trên băng tải được.

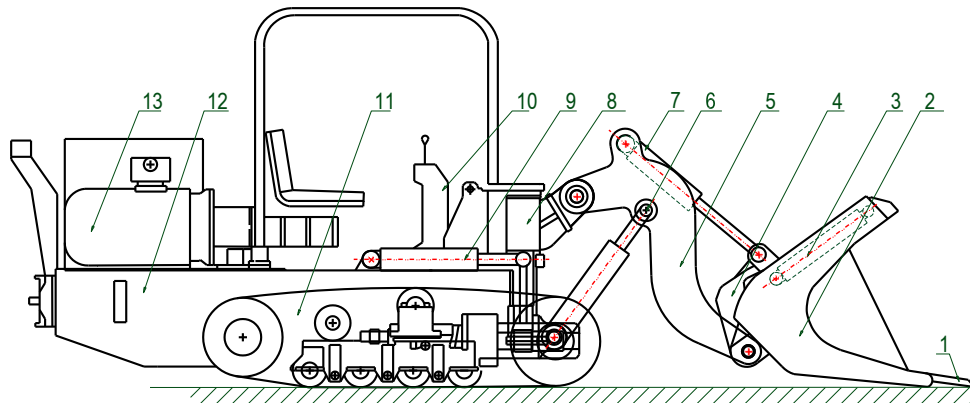
- Máy xúc lật bánh lốp đổ trước chỉ có thể dỡ tải đổ vật liệu lên xe ở vị trí đối diện phía sau hoặc vuông góc với thùng xe tải. Do đó, sử dụng máy xúc lật bánh lốp đổ trước cần phải có không gian thi công rộng đủ để cho xe chở vật liệu và có đủ bán kính quay vòng của máy xúc lật.



- Một số máy sử dụng động cơ đốt trong, nhiên liệu diesel, khi hoạt động tạo ra tiếng ồn, phát khí thải độc hại...

Như vậy các loại máy đào gầu ngược, máy cào vơ, máy xúc lật bánh lốp đồ trước, không phù hợp hoặc không thể sử dụng trong thi công đường hầm kích thước vừa và nhỏ. Vì vậy cần lựa chọn thiết bị phù hợp để thi công đường hầm kích thước vừa và nhỏ trong điều kiện địa chất Việt Nam.

### 1.2.2.2. Đặc điểm kết cấu của máy xúc VMC E500-1



Hình 1.10. Sơ đồ cấu tạo MXLĐB VMC E500-1

1- răng gầu xúc; 2 - gầu xúc; 3- xi lanh lật gầu; 4 - giá gầu; 5 - cần nâng; 6 - xi lanh nâng cần; 7 - xi lanh quay gầu; 8 - giá quay thiết bị công tác; 9 - xi lanh quay thiết bị công tác; 10 - bộ phận điều khiển; 11 - cơ cấu di chuyển; 12- khung giá máy; 13 - nguồn động lực.

Qua những phân tích ở trên kết hợp với khảo sát thực tế ở một số đơn vị thi công đường hầm hiện nay cho thấy MXLĐB VMC E500-1 có những ưu điểm nổi trội về kết cấu máy như sau:

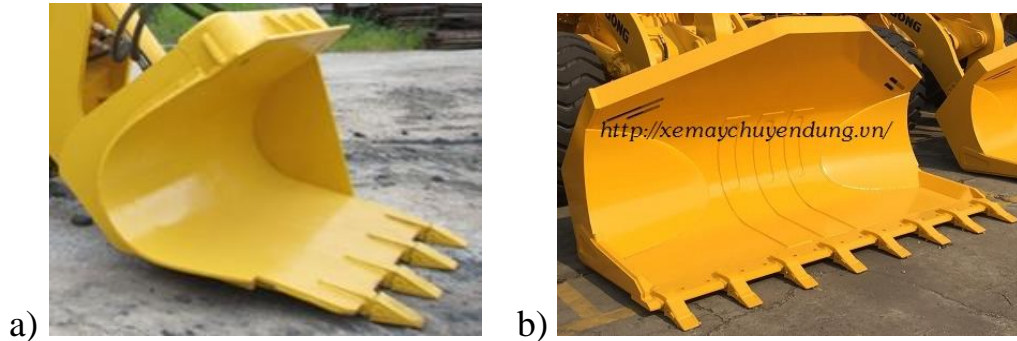
- Hệ thống di chuyển của máy bằng xích nên có khả năng bám tốt, giúp máy làm việc ổn định, không bị trượt trong quá trình tích vật liệu vào trong gầu nhất là trong điều kiện thi công có độ dốc lớn, mặt nền kém ổn định;

- Kết cấu của máy nhỏ gọn, đồ được cả hai bên, nên có thể hoạt động tốt trong điều kiện không gian hạn chế;

- Nguồn động lực của máy là động cơ điện nên không gây ra tiếng ồn, không phát khí thải độc hại môi trường công tác, rất phù hợp với những đường hầm dài, chật hẹp, khả năng thông gió kém;

Với những ưu điểm nổi trội trên, máy xúc đồ bên VMC E500-1, Hình 1.10 đã được tập đoàn than khoáng sản sử dụng rất hiệu quả có thể áp dụng trang bị này vào phục vụ thi công đường hầm quân sự khẩu độ nhỏ.

### 1.2.2.3. Thiết bị công tác lắp trên máy xúc lật



Hình 1.11. Gầu xúc phổ biến lắp trên MXLDB

a) Gầu xúc có răng với một thành bên; b) Gầu xúc có răng không có thành bên

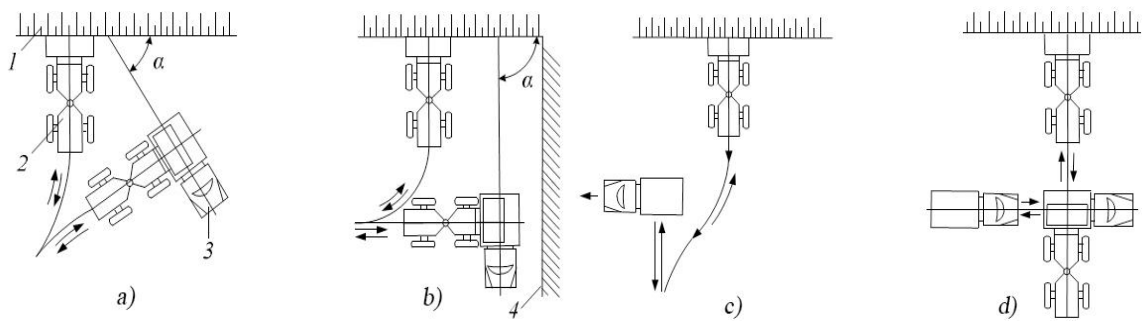
Hiện nay có rất nhiều các thiết bị đi kèm có thể tích hợp được trên máy xúc lật, tùy theo chức năng nhiệm vụ trong đó điển hình là máy xúc lật loại nhỏ của Hãng BOXCAT có thể tích hợp được gần 50 thiết bị công tác phục vụ trong các lĩnh vực giao thông, xây dựng công trình, hầm lò, nông nghiệp... Trong thi công đường hầm để xúc ĐNM thì thiết bị xúc lật chủ yếu được sử dụng với MXLDB là hai loại gầu xúc có răng, với một hoặc hai thành bên, Hình 1.11.

### 1.2.2.4. Chu trình làm việc của máy xúc lật

Chu trình làm việc của máy xúc lật bao gồm: tích vật liệu vào gầu, nâng gầu, vận chuyển vật liệu trong gầu, lật gầu xả tải và hạ gầu di chuyển. Thời gian tích vật liệu vào gầu, được xác định từ thời điểm chạm răng gầu xúc vào vật liệu đến khi đưa gầu xúc khỏi vết xúc; Thời gian nâng cần nâng tính từ thời điểm kết thúc tích vật liệu, bắt đầu nâng gầu xúc lên đến vị trí cao nhất để xả tải; Thời gian vận chuyển xác định từ thời điểm kết thúc quá trình nâng cần nâng, di chuyển máy đến vị trí đổ vật liệu lên phương tiện vận chuyển; Thời gian đổ vật liệu, tính từ thời điểm dừng hoàn toàn các thao tác khác, bắt đầu điều khiển lật gầu đổ vật liệu vào phương tiện vận chuyển đến thời điểm đổ hết vật liệu, gầu xúc rỗng hoàn toàn; Thời gian hạ gầu và di chuyển, tính từ khi kết thúc quá trình đổ vật liệu, điều khiển máy xúc lật quay trở lại vết xúc, bắt đầu tích vật liệu.

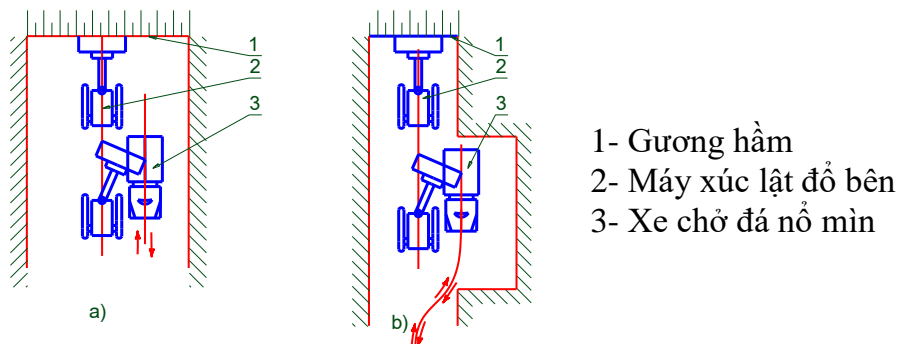
Đối với các sơ đồ công tác, có dùng đến sự cơ động của thiết bị vận chuyển vật liệu, trong các sơ đồ làm việc con thoi, thời gian cơ động của xe vận chuyển cũng được tính vào thời gian của chu trình công tác, I.V Boyarkina [34].

Trong trường hợp của Hình 1.12 a, b, c sơ đồ làm việc của MXL đổ trước được thực hiện khi xe vận chuyển đứng ở vị trí tiếp nhận vật liệu, [34] khi đó diễn ra chuyển động cong của máy xúc từ khi rời đồng vật liệu bằng hành trình lùi, và quá trình này được thực hiện đến thời điểm định hướng được đường tâm đối xứng của máy xúc vuông góc với đường tâm của xe chở vật liệu. Sau đó diễn ra quá trình thay đổi hướng chuyển động của máy xúc, chuyển động tiến về phía xe tiếp nhận vật liệu.



Hình 1.12. Sơ đồ chuyển động của máy xúc lật đổ trước [34].

Trên Hình 1.12, d thể hiện sơ đồ làm việc con thoi có sự cơ động của cả xe tiếp nhận vật liệu và máy xúc lật. Cụ lý vận chuyển vật liệu trung bình của các máy xúc lật xây dựng ở mức tiêu chuẩn 30 – 40 m. Sơ đồ làm việc con thoi giúp tạo được năng suất lớn nhất.



Hình 1.13. Sơ đồ chuyển động của MXLDB trong thi công đường hầm  
a) đường hầm rộng; b) đường hầm hẹp có phần mở rộng.

Như vậy, phụ thuộc chính vào loại máy xúc, kích thước và không gian đường hầm mà chu trình làm việc hay quỹ đạo chuyển động của MXL có thể áp dụng các phương án khác nhau như thể hiện trên Hình 1.12 hoặc Hình 1.13, với thi công đường hầm kích thước vừa và nhỏ, phương án chuyển động chủ yếu theo sơ đồ Hình 1.13

### 1.2.2.5. Năng suất kỹ thuật và thời gian của chu trình công tác của máy xúc lật

Năng suất kỹ thuật của máy xúc lật  $\Pi_T$ :

Phương pháp xác định năng suất kỹ thuật của máy xúc lật đã được các tác giả V.F. Korelin, L.G. Focht, Chebanov L.S nghiên cứu, trình bày trong các tài liệu [54],[61],[62],[63] và đưa ra công thức tính toán.

$$\Pi_T = 3600 \frac{V_\Gamma \rho_M K_H}{T_{II} K_p} \text{ (tấn/h)} \quad (1.5)$$

Trong đó:  $V_\Gamma$  - thể tích vật liệu được xúc vào gầu xúc, được lấy ước lệ bằng thể tích gầu xúc,  $m^3$ ;  $\rho_M$  - khối lượng theo thể tích vật liệu trong đồng vật liệu,  $t/m^3$ ;  $K_H$  - hệ số điền đầy gầu xúc;  $T_{II}$  - thời gian của chu trình, h;  $K_p$  - hệ số toi xốp đất khi điền đầy gầu xúc, đối với với loại vật liệu hạt rời  $K_p = 1,1$ ; khi xúc vật liệu rời bằng gầu xúc tiêu chuẩn cho  $\rho_M = 1,6 \text{ tấn}/m^3$ .

Thời gian của chu trình công tác máy xúc lật đồ trước theo công thức:

$$T_{II} = t_K + t_T + t_c + t_p + t_x, \text{ (s)} \quad (1.6)$$

Trong đó:  $t_K$  - Thời gian tích vật liệu vào gầu;  $t_T$  - Thời gian vận chuyển vật liệu trong gầu xúc;  $t_c$  - Thời gian quá trình nâng cần nâng;  $t_p$  - Thời gian quá đổ vật liệu trong gầu xúc vào phương tiện vận chuyển;  $t_x$  - Thời gian hành trình không tải.

### 1.3. Tổng quan các nghiên cứu trong và ngoài nước

Nghiên cứu về máy móc phục vụ trong thi công xây dựng nói chung và máy xúc lật nói riêng là lĩnh vực đã được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm. Ở lĩnh vực này các nhà khoa học đi theo các hướng nghiên cứu chính như: độ bền kết cấu, động lực học quá trình làm việc, nâng cao năng suất, nghiên cứu hệ thống điều khiển thủy lực... Những công trình

ngiên cứu của các tác giả đã đặt cơ sở cho việc thiết kế, lựa chọn thông số và cơ sở hoạt động có hiệu quả của máy.

### 1.3.1. Các công trình nghiên cứu ngoài nước

Trên thế giới, máy xúc lật đã được các nhà khoa học nghiên cứu trên nhiều khía cạnh khác nhau như: quá trình tương tác giữa gầu xúc với môi trường hạt rời; động lực học máy trong quá trình thi công; động lực học của thiết bị công tác máy xúc lật trong yếu tố của chu trình công nghệ; nghiên cứu về động lực học thiết bị dẫn động thủy lực và phục hồi năng lượng dẫn động thiết bị công tác máy xúc lật; tính toán kết cấu, cải tiến kỹ thuật nâng cao năng suất máy...

#### 1.3.1.1. Các nghiên cứu về quá trình tương tác của máy xúc lật với môi trường

*Các nghiên cứu về lực cản của môi trường làm việc tác dụng lên gầu xúc*

Lực cản của môi trường làm việc tác dụng lên gầu xúc là đặc tính để xác định các thông số cơ bản của máy, vì vậy đã có nhiều công trình nghiên cứu về quá trình tương tác giữa gầu xúc lật và môi trường làm việc để xác định lực cản của môi trường làm việc tác dụng lên gầu xúc trong quá trình làm việc. Phương pháp phân tích để tính toán lực của gầu xúc với môi trường làm việc được xem xét đầu tiên bởi V.N. Tarasov [55]. Ngoài ra, trong một công trình nghiên cứu khác của mình V.N. Tarasov đã đề xuất một phương pháp tính toán cho quá trình xúc vật liệu hạt rời của máy xúc lật, dựa trên lý thuyết về ứng suất giới hạn cắt. Bên cạnh đó, đã có nhiều tác giả đưa ra các công thức thực nghiệm và các mô hình tính toán lực cản tác dụng lên gầu xúc trong quá trình thi công, tiêu biểu có thể kể đến:

Công thức xác định lực cản của môi trường hạt rời tác dụng vào gầu xúc được đưa ra bởi S.G Kalmykov [42]:

$$W_c = W + W_1 = k \cdot l \cdot h + f \cdot g \quad (1.7)$$

Trong đó  $W$  – lực cản sự xâm nhập của gầu vào trong đồng vật liệu;  $W_1$  – lực ma sát của vật liệu khi nâng gầu lên có chứa vật liệu trong gầu;  $k$  - hệ số

của lực cản đào riêng;  $l$  - Chiều rộng gầu;  $h$  - Chiều cao vật liệu trong gầu;  $g$  - trọng lượng vật liệu trong gầu;  $f$  - hệ số ma sát của vật liệu. Các lực cản khác được bỏ qua khi tính toán.

Khi sử dụng công thức (1.7), có một số hạn chế cần lưu ý:

- Công thức không tính đến tất cả các loại lực cản ấn gầu xúc vào vật liệu; giả thiết được đưa ra bởi tác giả về ảnh hưởng không đáng kể của các lực ma sát của vật liệu trong gầu xúc và gầu xúc với vật liệu là chưa phù hợp;
- Ảnh hưởng của chiều sâu ấn, hình dạng gầu, hình dạng và kích thước đồng vật liệu lên giá trị lực cản không được thể hiện;

O.P. Ivanov [41] đã nghiên cứu ảnh hưởng của tính chất vật lý và cơ học của hạt rời, kích thước, chiều cao lớp, chiều sâu của sự thâm nhập và vị trí của các cạnh phía trước của gầu so với vị trí đồng vật liệu. Trên cơ sở xử lý các dữ liệu thực nghiệm, tác giả đã đề xuất một phương trình xác định lực cản ấn gầu xúc:

$$P = B \cdot P_0 (1 + \Delta P_i + \Delta P_h + \Delta P_k) \quad (1.8)$$

Trong đó  $B$  - chiều rộng cạnh làm việc của gầu;  $P_0$  - lực thâm nhập khi làm việc trong điều kiện ban đầu;  $\Delta P_i$ ,  $\Delta P_h$ ,  $\Delta P_k$  - giá trị tăng của lực thâm nhập trong sự phụ thuộc vào độ sâu của sự thâm nhập ( $i$ ), chiều cao của lớp ( $h$ ) và tính chất cơ lý của vật liệu ( $k$ ).

Bằng số lượng lớn các kết quả thực nghiệm V.N. Stogov [52] đã đề xuất công thức xác định tổng các thành phần lực cản nằm ngang đối với phương pháp xúc phân đoạn:

$$W_c = W_1 + W_2 + W_3 \quad (1.9)$$

Trong đó:  $W_1$  - lực cản trên các cạnh cắt phía trước của gầu;  $W_2$  - lực cản ma sát trên bề mặt đáy phía trên và mặt bên phía trong của gầu;  $W_3$  - lực cản ma sát của bề mặt đáy gầu mà mặt trên đồng vật liệu.

$$W_1 = k \cdot k_1 \cdot B \cdot x \quad (1.10)$$

Trong đó:  $k$  - hệ số phụ thuộc vào loại vật liệu;  $k_1$  - hệ số tính đến lực cản của các thành thẳng đứng;  $B$  - chiều rộng của gầu;  $x$  - độ sâu thâm nhập ngang.

$$W_2 = k_2 \cdot p^I \cdot \mu \quad (1.11)$$

Trong đó:  $k_2$  - hệ số tính đến ma sát trên các thành bên;  $p^I$  - áp lực trên đáy nằm ngang của gầu;  $\mu$  - hệ số ma sát giữa các mặt phía trong của gầu và vật liệu.

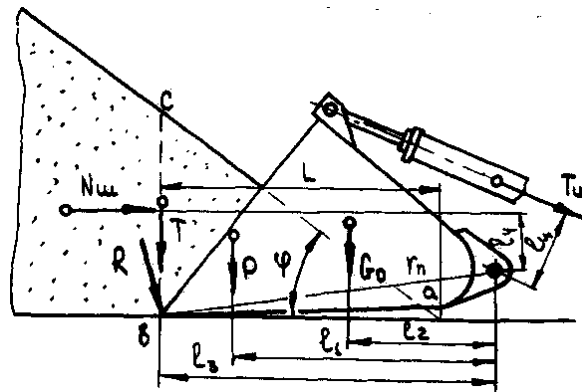
$$p^I = P(1 + \sin^2 \varphi) / S \quad (1.12)$$

Trong đó:  $P = 0,5 \cdot B \cdot x^2 \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi$  - Trọng lượng của vật liệu trong thể tích của lăng kính vật liệu;  $(1 + \sin^2 \varphi)$  - yếu tố có tính ảnh hưởng của đồng vật liệu;  $S$  - diện tích của đáy gầu.

$$W_3 = N \cdot k_3 \cdot \mu \quad (1.13)$$

Trong đó  $N$  - áp lực của gầu trên đồng vật liệu;  $k_3$  - hệ số đặc trưng cho phân khối lượng gầu xúc tác dụng lên đồng vật liệu, phụ thuộc vào hệ thống cần, xi lanh cần;  $\mu$  - hệ số ma sát giữa đáy của gầu và vật liệu.

Theo sơ đồ tính toán Hình 1.14, khi ấn gầu xúc vào đồng vật liệu hình thành khối lăng trụ trượt, được giới hạn bởi đáy gầu xúc, mặt nghiêng của đồng vật liệu, mặt phẳng trượt và hai mặt phẳng bên theo chiều rộng của gầu xúc. Trong các tính toán chấp nhận rằng, các mặt phẳng bên và mặt phẳng trượt vuông góc với bề mặt đáy của đồng vật liệu. Các lực cản tổng cộng thành phần  $W_i$  được xác định bằng cách xem xét trạng thái cân bằng của khối lăng trụ trượt.



Hình 1.14. Sơ đồ tính toán xác định các lực cản ấn gầu theo V.N. Stogov

Khi đưa ra phương trình (1.9), V.N. Stogov giả thiết rằng, đáy gầu khi ấn vào đồng vật liệu nằm song song với bề mặt đáy đồng vật liệu, mặc dù trong quá trình xúc thực tế, nó được đặt ở góc  $7 \pm 2^\circ$  [55]. Ngoài ra, trong quá trình xúc thực tế theo phương pháp phân đoạn, để điền đầy tối đa gầu xúc, người điều khiển sẽ ấn gầu vào đồng vật liệu cho đến khi lực cản ấn gầu xúc làm

trượt hoàn toàn bộ phận dẫn tiến của máy xúc. Tại thời điểm này, vật liệu tương tác với thành sau của gầu xúc tạo ra lực cản ấn, mà các công thức của V.N. Stogov không mô tả được. Khi quay gầu xúc, các lực cản ấn của gầu tạo ra lực cân bằng R, đặt vào cạnh cắt của đáy gầu. Tuy nhiên, sơ đồ tính toán được thiết lập cho thời điểm, khi đồng vật liệu không tương tác với thành phía sau của gầu, điều này đặc trưng cho phương pháp xúc kết hợp. Do đó, công thức của V.N. Stogov không thể sử dụng cho phương pháp xúc kết hợp.

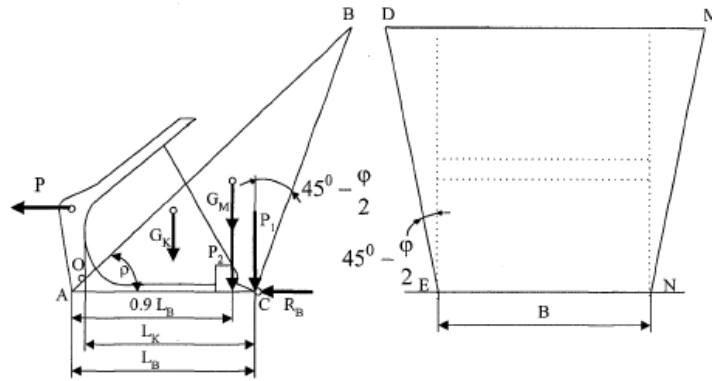
A.D. Kostylev, đã chi tiết nghiên cứu ảnh hưởng đến thành phần ngang của lực cản, các yếu tố như hình dạng cạnh trước của gầu và các phương pháp tăng cứng của răng, hình dạng của thành bên của gầu, chiều rộng, góc nghiêng của đáy gầu và vị trí của gầu so với đồng vật liệu, độ sâu thâm nhập, các tính chất vật lý và cơ học của vật liệu. Kết quả là, tác giả đưa ra mối quan hệ thực nghiệm để xác định lực thâm nhập theo công thức [44]:

$$P = a \cdot L_{BH}^n \cdot B \cdot C \cdot k_h \cdot k_\alpha \cdot k_\phi \quad (1.14)$$

Trong đó: a - hệ số tính đến dạng của vật liệu rời;  $L_{BH}$  - chiều sâu của sự thâm nhập; B - chiều rộng của gầu; C - hệ số tính đến các thành phần kích thước hạt của đá và mức độ nén chặt của nó;  $k_h$  - hệ số tính đến ảnh hưởng của chiều cao của đồng vật liệu;  $k_\alpha$  - hệ số tính đến độ dốc của đáy gầu với nền của đồng vật liệu;  $k_\phi$  - hệ số tính đến ảnh hưởng của hình dạng gầu. Đây là công thức thể hiện đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng đến lực cản xúc của gầu, tuy nhiên để ứng dụng công thức này cần tiến hành một khối lượng thực nghiệm rất lớn với đá sau khoan nổ của Việt Nam.

Sử dụng các kết quả nghiên cứu trước đây [46], [50], [51], V.A Bauman [53] đề xuất phương pháp xác định lực cản sinh ra trong quá trình tương tác giữa gầu máy xúc lật với môi trường hạt rời để phục vụ tính toán thiết kế. Theo sơ đồ tính toán của phương pháp này Hình 1.15, các bề mặt trượt của lăng kính vật liệu nghiêng một góc không đổi  $(\pi/4 + \phi/2)$  so với bề mặt đáy của đồng vật liệu,  $\phi$  là góc ma sát trong của vật liệu dạng hạt rời.





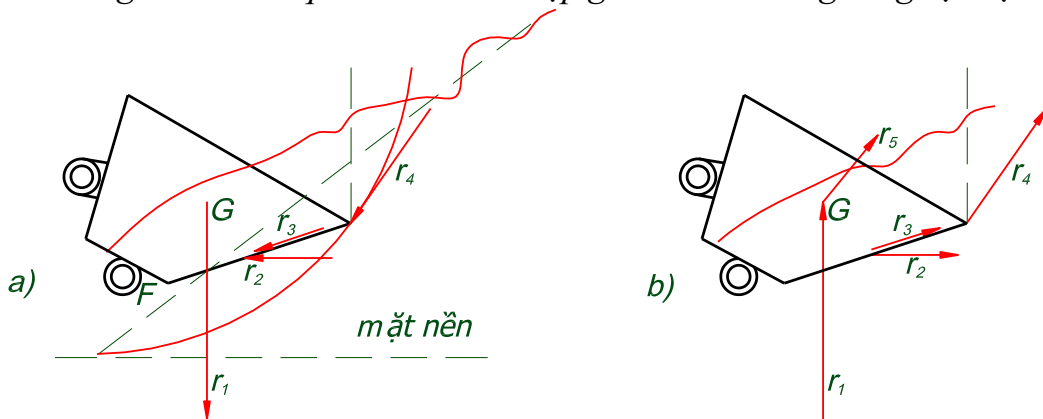
Hình 1.15. Sơ đồ tính toán để xác định lực cản theo V.A Bauman [53].

Lực cản thâm nhập được xác định bởi điều kiện cân bằng của lăng kính vật liệu ABC với các hệ số tính toán được xác định bằng thực nghiệm. Lực P đặt vào vị trí đầu xi lanh quay gầu và được xác định theo công thức:

$$P = \frac{(P_1 + P_2 + G_m)l_1 + G_k l_2}{l} \tag{1.15}$$

Trong đó  $P_1$  - lực tiếp tuyến với quỹ đạo quay của gầu và được đặt vào cuối cạnh cắt;  $P_2$  - tổng lực đặt vào thành bên của gầu (phần bố trí răng cắt);  $G_m$  - trọng lượng của lăng kính vật liệu;  $G_k$  - trọng lượng của gầu;  $l, l_1, l_2$  - cánh tay đòn của các lực.

*Các nghiên cứu về quá trình thâm nhập gầu xúc vào trong đống vật liệu.*



Hình 1.16. Các lực tác dụng lên gầu xúc [17]

a – các lực cản; b – các lực nâng

Nghiên cứu quá trình tích vật liệu vào gầu, A.Hemani [17] đã chỉ ra, các lực liên tục thay đổi từ thời điểm bắt đầu xúc, cho đến khi kết thúc, trong mỗi thời điểm của quá trình xúc vật liệu, tổng lực cản sẽ là hợp lực của các thành phần lực

$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5$ ; như thể hiện ở trên, Hình 1.16. Trong đó:  $r_1$  là khối lượng của lượng vật liệu đã xúc nằm trong gầu xúc; lực này tác dụng lên trọng tâm tức thời của gầu xúc và thay đổi trong quá trình xúc, do đó cả độ lớn và điểm đặt của lực này sẽ thay đổi liên tục;  $r_2$  là lực cản tác dụng mặt dưới gầu xúc trong quá trình xúc;  $r_3$  là lực ma sát giữa thành gầu xúc với vật liệu;  $r_4$  là lực cản của vật liệu tác dụng lên các cạnh cắt vật liệu trên gầu xúc;  $r_5$  lực cần thiết để chuyển vật liệu vào phía trong gầu xúc. Sự thay đổi độ lớn, điểm đặt và chiều của các lực trên được nghiên cứu để đưa các lực này vào trong quá trình điều khiển chuyển động xúc của gầu xúc. Trong các lực nêu ở trên, các lực  $r_1, r_4, r_5$  là quan trọng hơn, bởi vì lực  $r_2$  có thể bằng 0,  $r_3$  giá trị không lớn xác định bằng thực nghiệm [17].

### **1.3.1.2. Các nghiên cứu về động lực học quá trình làm việc của máy xúc lật**

*Các kết quả nghiên cứu chung về DLH quá trình làm việc của máy xúc lật*

Đã có nhiều công trình nghiên cứu ngoài nước về lý thuyết cũng như thực nghiệm động lực học quá trình làm việc của máy xúc lật trong đó tiêu biểu như:

- Nghiên cứu, đánh giá và lựa chọn các thông số của TBCT; xác định chiều cao nâng lớn nhất của máy xúc lật khi xả vật liệu lên thùng chứa của các xe vận chuyển, mối liên hệ giữa các vận tốc nâng của cần nâng với vận tốc quay của gầu xúc, cơ cấu cân bằng; xác định các giá trị lớn nhất của lực cản tác dụng lên gầu xúc trong quá trình tích vật liệu vào gầu và chuyển động trong đống vật liệu dạng hạt rời; xác định các giá trị áp suất định mức trong hệ thống thủy lực của thiết bị công tác và hệ thống lái bởi các tác giả A.F. Bazanov, I.V.Boyarkina, V.F. Korelin [30], [34], [54].

Đánh giá các phương pháp giảm lượng năng lượng tiêu tốn trong quá trình tích vật liệu của gầu xúc loại có răng và không răng. Đồng thời nghiên cứu các yếu tố để giảm lượng năng lượng tiêu tốn trong quá trình tích vật liệu nhờ việc tối ưu hóa mối liên hệ giữa vận tốc chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay, nâng cần của máy xúc lật, A.N. Zelenin, [25][40].

Nghiên cứu về quá trình tương tác giữa gầu xúc lật với vật liệu, nằm trong đồng vật liệu dạng hạt rời được nghiên cứu bởi công trình của G.V. Rôdiônôva [51], P.A. Mihirev [47], A.M. Lukin [45]. Trong các công trình nghiên cứu này một loạt các phương án khác nhau của quá trình ấn gầu xúc thâm nhập vào trong đồng vật liệu được đề cập đến, cũng như một số kết luận trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết đã được đưa ra.

Trong các công trình của V.N. Taraxôp [55], [57], N.I. Fisenkô [60], M.V. Kôzlôva [43] nghiên cứu các phương pháp tính toán động học cho thiết bị công tác của máy xúc lật, giúp đưa ra phương pháp luận của quá trình thiết kế sơ đồ động học hợp lý của cơ cấu nâng cần nâng.

Trong nghiên cứu của mình S.V. Abramov [27] đã đề xuất thay đổi thiết kế thiết bị công tác của máy xúc lật bằng cách chuyển đổi cấu trúc cần nâng hạ, quay gầu xúc thông qua cơ cấu thanh đòn thành nguyên khối giống như máy xúc gầu ngược. Nó được giả định rằng với xây dựng kết cấu như vậy, thiết bị công tác của máy xúc lật khi thi công sẽ hiệu quả hơn.

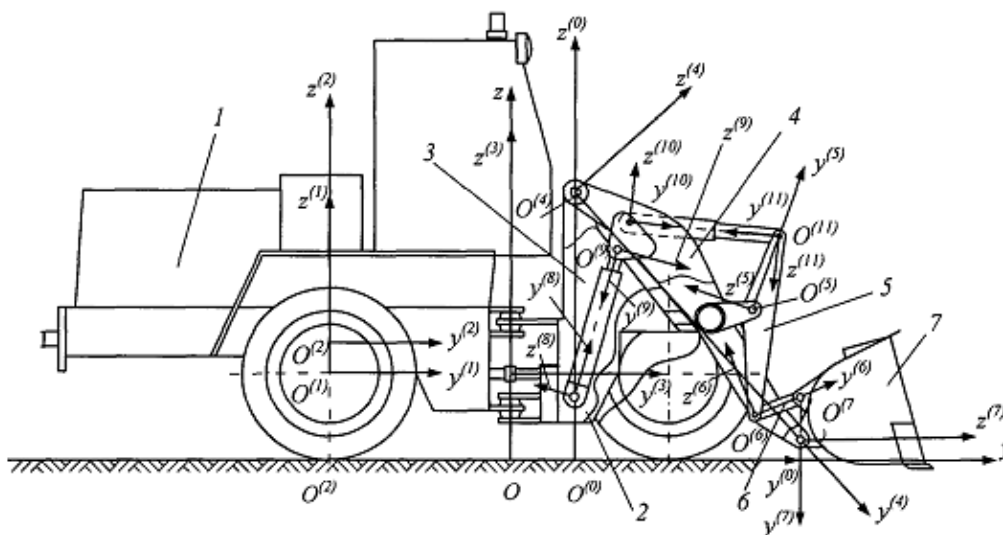
#### *Phân tích động lực học các quá trình làm việc của máy xúc lật.*

Khi nghiên cứu về nền đất, theo các đại lượng cho trước của N.I. Fisenkô [60], quá trình xúc vật liệu bằng cơ cấu nâng của cần nâng được thực hiện không hợp lý. Chế độ phối hợp giữa chuyển động tịnh tiến của máy xúc với chuyển động quay của gầu xúc được coi là sơ đồ làm việc hợp lý.

Theo các thông số cho trước của L.G. Fokhta [62], CHFNAT [37], B.M. Pozin ChTZ [49] thời gian làm việc của máy xúc lật ở chế độ di chuyển có tải chiếm khoảng 50% thời gian tổng của chu trình, mà trong đó cơ cấu thủy lực tiếp nhận các tải trọng động lớn. Theo các thông số nghiên cứu cho thấy, sự phối hợp nâng thiết bị công tác cùng với chế độ vận chuyển của máy xúc sẽ tăng công suất tổng cộng lên 20-22%. Cần chú ý rằng, các hiện tượng tương tự diễn ra khi hạ thiết bị công tác trong chế độ vận chuyển.

*Các mô hình nghiên cứu về động lực học máy xúc lật.*

Trong tài liệu nghiên cứu [29], D.M. Agiyenko đã đưa ra phương pháp xây dựng mô hình, mô phỏng chuyển động của máy xúc lật, Hình 1.17.



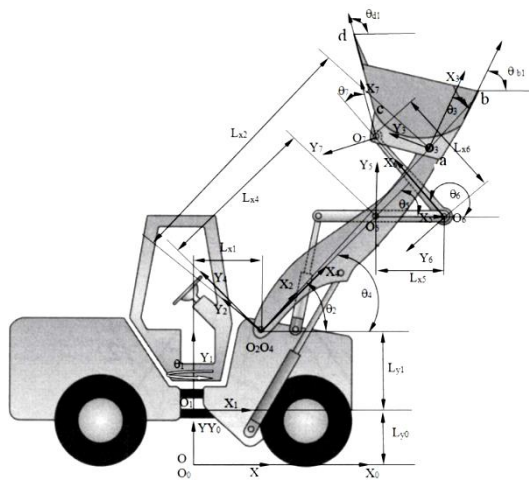
Hình 1.17. Mô hình động lực học máy xúc lật của D.M. Agiyenko

1 – nửa khung phía sau, cầu sau cùng với đối trọng cân bằng phía sau; 2 – nửa khung phía trước với cầu trước; 3 – giá lắp thiết bị công tác; 4 - cơ cấu cần nâng; 5 – cơ cấu cần điều khiển gầu xúc; 6 – thanh kéo; 7 – gầu xúc.

Theo tác giả, máy xúc lật được coi là một hệ cơ học, được thể hiện một cách quy ước trên hình Hình 1.17 ở dạng hệ nhiều vật; đồng thời tác giả đưa ra phương pháp biến đổi tọa độ kết hợp với phương pháp tam giác động học là phương pháp tính toán động học và lực học cho các cơ cấu của thiết bị công tác trên máy xúc lật; Nhờ tam giác động học xác định được tọa độ góc của vật thể chuyển động sau cùng trong chuỗi cơ học; Trên cơ sở phương pháp biến đổi tọa độ và phương pháp tam giác động học, xây dựng được các mô hình toán học của các thuật toán chuyển động quay của các vật thể, các chuyển động song phẳng và thuật toán của cơ cấu cân bằng trên máy xúc lật, cơ cấu cân bằng này được xếp vào loại các cơ cấu tùy động.

Trong nghiên cứu gần đây hai tác giả Ying Li1 và Wenyuan Liu [25], đã đưa ra một sơ đồ động học giản lược của máy xúc lật bánh lốp, Hình 1.18. Từ sơ đồ động học giản lược; máy xúc lật bánh lốp này được coi như là một tay

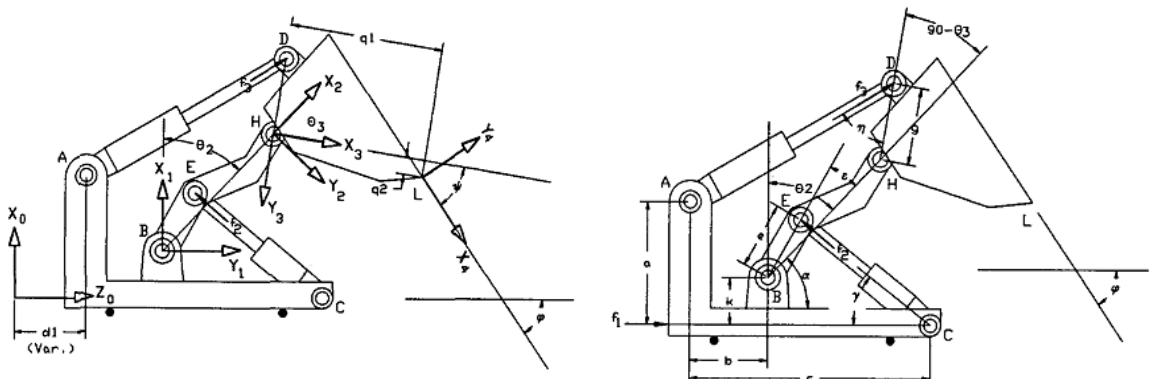
robot với 7 khâu, trong đó mặt đất được coi là khung (L), thân xe phía sau ( $L_0$ ), cụm thiết bị công tác phía trước ( $L_1$ ), cần nâng ( $L_2$ ), càng quay ( $L_5$ ), thanh kéo gầu xúc ( $L_6$ ), và gầu xúc ( $L_7$ ). Các khâu robot được liên kết với nhau bằng các khớp quay  $O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6$ , và  $O_7$ . Các điểm b và d tương ứng gắn liền với các đỉnh của gầu xúc; tay máy này có bốn bậc tự do, được xác định bởi chuyển động tiến tới của máy, chuyển động lái của cụm thiết bị công tác phía trước, chuyển động nâng của cần nâng và chuyển động quay của gầu xúc.



Hình 1.18. Sơ đồ động học của máy xúc lật bánh lốp Y. Li and W. Liu [25]  
 Phương pháp động học thuận được tác giả sử dụng để xây dựng các phương trình động học bằng cách gắn hệ tọa độ Đề các với sơ đồ máy xúc lật bánh lốp giản lược. Trên cơ sở mô hình động học, một mô hình 3D ảo của máy xúc lật bánh lốp được xây dựng trong môi trường ADAMS để mô phỏng các chuyển động 3D của máy xúc lật bánh lốp với các bước thời gian đã chọn. Phép mô phỏng động học, thể hiện trong nội dung nghiên cứu của tác giả, là cơ sở xây dựng một mô hình động lực học không gian hoàn thiện của một máy xúc lật bánh lốp và để xác định lực dẫn động khớp quay, áp dụng hệ thống điều khiển và mô phỏng đặc tính động lực học của máy xúc lật bánh lốp.

Mô hình động học của A.Hemani [17], Hình 1.19, cho thấy sơ đồ mô hình động học của một máy xúc lật đổ trước. Mô hình được giả định có một bộ đỡ mà hai thiết bị truyền động tuyến tính được gắn lên. Bộ đỡ được tự do di chuyển về

phía trước và phía sau đối với mặt đất, điều này được biểu tượng bằng các con lăn nhỏ được gắn vào khung. Quan sát hoạt động mô hình của máy này cho thấy chuyển động của hệ thống khi tích và xả vật liệu là chuyển động phẳng, có nghĩa là ba lực liên quan: lực đẩy của xe và lực của hai xi lanh thủy lực tạo nên các chuyển động phẳng của gầu xúc. Lực, mô men được cung cấp bởi nguồn động lực của máy khí tích ĐNM vào gầu tập trung tại điểm L của gầu xúc, và tách thành hai thành phần lực theo hai phương dọc theo  $X_4$ , và  $Y_4$  và mô men xoắn  $Z_4$ , của hệ tọa độ  $OX_4Y_4Z_4$  gắn vào gầu tại điểm này.



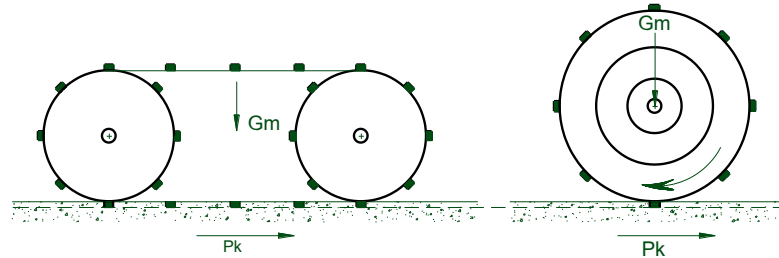
Hình 1.19. Mô hình động học bộ công tác MXL đổ trước của A.Hemani [17]

Từ mô hình trên cho thấy, thiết bị công tác của máy xúc lật đổ trước, được mô phỏng như một cánh tay robot với ba bậc tự do được liên kết với nhau bằng một khớp trượt và hai khớp quay. Trong phần nghiên cứu tác giả cũng đã đưa ra phương pháp xác định lực, mô men cản tác động lên gầu xúc và trình bày, một cách tiếp cận chung để xác định quỹ đạo chuyển động liên quan với tiêu thụ năng lượng tối thiểu, dựa trên việc chọn đường chuyển động mà các lực cản là thấp nhất.

### 1.3.1.3. Các nghiên cứu về lực tương tác và lực kéo của máy bánh xích

Lực đẩy của máy xúc lật di chuyển bằng bánh xích là giá trị nhỏ trong hai giá trị: lực tính theo khả năng mà động cơ có thể tạo ra được và lực bám lớn nhất mà đất có thể tiếp nhận. Khi tích ĐNM và di chuyển, do máy xúc di chuyển bằng mô tơ thủy lực nên lực do mô tơ thủy lực di chuyển sinh ra trên

bánh sao chủ động thường lớn hơn lực bám lớn nhất mà đất có thể tiếp nhận, vì vậy lực đẩy (kéo) của máy sẽ được tính theo điều kiện bám. Bản chất của lực kéo của máy xúc là phản lực từ nền tác dụng lên xích theo phương dọc xe, liên quan đến các ứng suất tiếp phát sinh trong quá trình tương tác giữa xích và đất khi mô men xoắn truyền từ động cơ tới bánh sao chủ động, Hình 1.20.

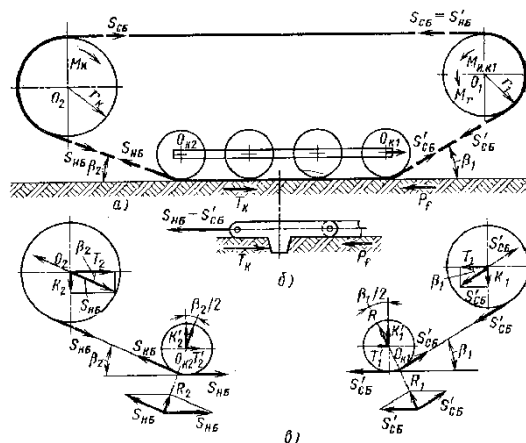


Hình 1.20. Sơ đồ xác định lực kéo theo điều kiện bám của xích và bánh xe trên các máy thi công làm việc trên nền cứng.

Lực kéo theo điều kiện bám được xác định theo trọng lượng của máy, vận tốc của dải xích, chiều rộng, chiều dài phần xích tiếp đất, các thông số cơ lý của nền đường và các thông số thực nghiệm. Theo Ahmad Hemami [24] và Wong J.Y [23]:

$$P_K = G_m \operatorname{tg} \varphi_t \left[ 1 - 2 \left( \frac{k_m}{i \cdot l_x} \right)^2 \left( 1 - e^{-\frac{i \cdot l_x}{k_m}} - \frac{i \cdot l_x}{k_m} e^{-\frac{i \cdot l_x}{k_m}} \right) \right] \quad (1.16)$$

Trong đó:  $G_m$  - trọng lượng máy xúc, kg ;  $\varphi_t$  - góc ma sát trong, độ;  $k_m$  - mô đun biến dạng cắt,  $c_m$ ;  $i$  - hệ số trượt của dải xích;  $l_x$  - chiều dài dải.



Hình 1.21. Các lực tác dụng lên các phần tử của dải xích khi chuyển động. [38]

Trong công trình nghiên cứu của Dombrowski [38] đưa ra phương pháp xác định các lực tác dụng lên phần dẫn tiến xích khi chuyển động phương trình chuyển động Hình 1.21:

$$S_{H\bar{O}} = S_{H\bar{A}H} + P_k = S_{c\bar{O}} + P_k \quad (1.17)$$

Trong đó:  $S_{H\bar{O}}$  - lực căng của nhánh xích chạy lên bánh chủ động;  $S_{H\bar{A}H}$  - độ căng ban đầu dải xích;  $S_{c\bar{O}}$  - lực căng của nhánh xích chạy ra khỏi bánh chủ động;  $P_k$  - lực đẩy.

$$P_k = \frac{M_k}{r_k} = S_{H\bar{O}} - S_{c\bar{O}} \quad (1.18)$$

Trong đó  $M_k$  - mô men chuyển động của động cơ, được đưa đến bánh chủ động của bộ phận dẫn tiến xích ;  $r_k$  – bán kính bánh chủ động.

### 1.3.2. Các nghiên cứu trong nước

Các công trình nghiên cứu trong nước về lĩnh vực liên quan đến đề tài luận án của NCS là rất ít, chỉ có thể kể ra một vài nội dung liên quan như

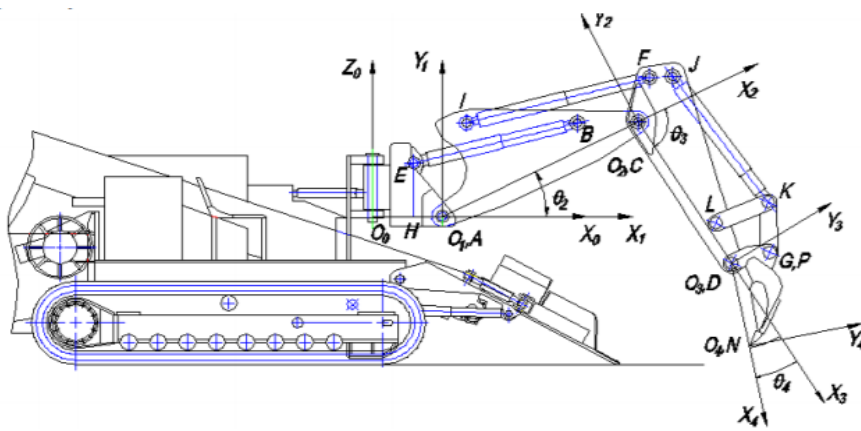
Tác giả Vũ Thế Lộc, Vũ Thanh Bình, Lưu Bá Thuận [12],[15] đã có những nghiên cứu cơ bản về máy làm đất bằng phương pháp quy dẫn, đã xác định được các thông số kết cấu, thông số độ cứng để tính toán khảo sát các tham số của máy ủi trong chuyển động tịnh tiến có va đập khi đào và chuyển vật liệu. Các phương trình vi phân chuyển động cấp hai dạng không thuần nhất với hệ số hằng mô tả các biên độ dao động của máy theo hàm thời gian.

- Theo [9], khi nghiên cứu về máy làm đất, các tác giả Phạm Hữu Đồng, Hoa Văn Ngũ, Lưu Bá Thuận đã có những nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số cơ bản đến lực cản khi cắt đất. Khi máy ủi đào và chuyển đất gặp chướng ngại, vận tốc ban đầu của máy, độ cứng của TBCT và của chướng ngại ảnh hưởng đáng kể đến lực động.

- Dựa trên mô hình động lực học máy xúc của Kôivô, theo [7],[6] GS. TS Chu Văn Đạt, GS. TS Phan Nguyên Di, đã ứng dụng phương pháp động lực học hệ nhiều vật để nghiên cứu, đánh giá các tham số động lực học máy xúc một gầu dẫn động thủy lực, đề cập đến các lực và mô men trên các khâu của TBCT đối với máy xúc Caterpillar, lực cản trong quá trình tương tác của gầu với môi trường đất nhằm tìm ra các yếu tố ảnh hưởng đến tham số động lực học và động lực học, làm cơ sở để lựa chọn qui luật đào hợp lý của máy xúc.



- Trong đề tài nghiên cứu về thiết bị bốc xúc trong đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ của GS.TS Chu Văn Đạt, PGS.TS Nguyễn Việt Tân [7],[14] đã thiết lập mô hình nguyên lý kết cấu máy bốc xúc kiểu gầu ngược, dạng cần trong đường hầm khẩu độ nhỏ, mô hình tính toán các thành phần lực cản trong quá trình cào gạt ĐNM vào băng tải, mô hình khảo sát các tham số động học và động lực học của TBCT máy bốc xúc dạng cần-tay gầu-gầu, xác định được các thông số hình học tối ưu của gầu máy bốc xúc theo hàm mục tiêu chi phí năng lượng riêng;



Hình 1.22. Mô hình khảo sát ĐLH của TBCT máy bốc xúc [14]

- Nghiên cứu về động lực học máy đào một gầu dẫn động thủy lực [5], TS Lê Văn Cường, đã nghiên cứu tương tác và phát triển công thức xác định lực cản đào đất của máy đào một gầu dẫn động thủy lực trên cơ sở lý thuyết cắt đất của A.N. Zêlenhin, xây dựng sơ đồ xác định lực cản đào đất và các thông số động lực học của máy đào bằng thực nghiệm trong điều kiện Việt Nam.

- Nhằm tạo ra được một loại máy, phục vụ công tác bốc xúc vật liệu trong hầm lò, từ những năm 2000, Công ty Cổ phần chế tạo máy Vinacumin (VMC) thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than Khoáng sản Việt Nam đã bắt tay vào nghiên cứu thiết kế chế tạo và thử nghiệm máy xúc lật hông trong hầm lò, dung tích 0,5 m<sup>3</sup> và đến năm 2008 đã chế tạo hoàn chỉnh một máy xúc lật hông, dung tích gầu xúc 0,5 m<sup>3</sup> mang nhãn hiệu “VMC E500”; sau nhiều lần cải tiến, thay đổi thiết kế MXLĐB VMC E500-1 ra đời đã khắc phục những nhược điểm của thế hệ máy trước và đã được Bộ Công Thương thẩm định đánh giá chất lượng tốt [2].



Hình 1. 23. Chế tạo MXLĐB VMC E500-1 tại Công ty Vinacomin.

Hình 1. 24. MXLĐB VMC E500-1 làm việc tại mỏ Than Hà Lâm.

Qua nghiên cứu cho thấy hiện chưa có công trình nghiên cứu, tính toán chuyên sâu về máy xúc lật nói chung và máy MXLĐB nói riêng được công bố mà đang áp dụng phương pháp thực nghiệm, chế tạo theo mẫu có sẵn của nước ngoài.

### 1.3.3. Đánh giá, phân tích các nghiên cứu ngoài nước, trong nước

- Vật liệu dạng hạt rời nói chung và ĐNM nói riêng gồm rất nhiều loại có tính chất cơ lý rất phức tạp, kém đồng nhất, được tạo nên bởi các hạt, các cục, có các kích cỡ, hình dạng hạt khác nhau, do vậy TBCT của máy xúc và phương pháp xúc đối với mỗi loại cũng rất khác nhau; điều này dẫn đến việc xuất hiện những cách tiếp cận khác nhau trong xác định lực cản và phương pháp tích vật liệu cũng như ĐNM;

- Trên cơ sở lý thuyết trạng thái tới hạn của môi trường hạt rời, các thành phần lực cản sinh ra trong quá trình tương tác của gầu xúc với các loại vật liệu là khác nhau; Các giá trị lực cản, sinh ra trong quá trình xúc vật liệu phụ thuộc vào chiều sâu ấn gầu xúc vào trong đống ĐNM và các tính chất cơ lý của vật liệu;

- Kết quả của các công trình nghiên cứu về phương pháp tính toán, khảo sát xác định lực tương tác giữa gầu máy xúc với môi trường làm việc mang tính thực nghiệm là chính và trong nhiều trường hợp chưa tạo đủ tính tổng quát khoa học;

- MXLĐB VMC E500-1 là loại máy rất phù hợp với công việc bốc xúc ĐNM trong thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ bằng phương pháp khoan nổ vì vậy loại máy này là đối tượng trọng tâm của chuyên đề nghiên cứu.

### Kết luận chương 1

1. Môi trường tương tác của MXLDB trong thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ mang tính đặc trưng bởi các yếu tố: không gian làm việc chật hẹp và không đồng nhất trong tuyến đường hầm (thu hẹp, mở rộng, thay đổi hướng); vật liệu sau khoan nổ là ĐNM có những đặc điểm chung của hạt rời, đồng thời có đặc điểm riêng như: sự phân bố không tập trung thành đồng mà trải dài trên nền hầm khoảng 20-25m với mật độ tăng dần từ ngoài vào trong gương hầm; kích thước các cục đá chênh lệch khá lớn  $0 < d_{vi} < 35\text{cm}$ ;

2. Nghiên cứu tổng quan về cấu tạo, nguyên lý xúc, đổ VLSKN của các loại máy xúc truyền thống đã và đang sử dụng trong thi công đường hầm cho thấy, với công suất và kích thước tương đương thì MXLDB VMC E 500-1 là thiết bị phù hợp nhất trong việc xúc, đổ ĐNM ở đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ;

3. Các kết quả nghiên cứu đã công bố chủ yếu về động học và quá trình tương tác của máy xúc lật bánh lốp, đổ trước với môi trường tương tác là hạt rời dạng đồng mà chưa thấy có công trình nghiên cứu đối với MXLDB bánh xích, xúc và đổ ĐNM trong đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ;

4. Máy xúc lật đổ bên VMC E500-1, là máy sản xuất trong nước nhưng chưa thấy công bố công trình khoa học nghiên cứu chuyên sâu về quá trình làm việc loại máy này trong thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ, thi công bằng phương pháp khoan nổ;

5. Từ những vấn đề nêu trên cho thấy, việc nghiên cứu về quá trình tương tác, động học, đưa ra phương pháp xúc, quỹ đạo xúc và không gian làm việc hợp lý, đồng thời xác định tải trọng động của thiết bị công tác máy xúc lật đổ bên VMC E500-1 với môi trường đá nổ mìn trong đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ mang nhiều ý nghĩa khoa học và thực tiễn, cần được tiến hành nghiên cứu một cách đầy đủ bằng phương pháp lý thuyết kết hợp với thực nghiệm.

## Chương 2: NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH TƯƠNG TÁC VÀ QUỸ ĐẠO CHUYỂN ĐỘNG HỢP LÝ CỦA GÀU XÚC KHI XÚC, ĐỔ ĐÁ NỔ MÌN TRONG THI CÔNG ĐƯỜNG HÀM

### 2.1. Tương tác của gầu xúc với đá nổ mìn trong quá trình xúc đá nổ mìn trong đường hầm

Quá trình xúc ĐNM của máy xúc lật được thực hiện khi sử dụng tất cả các cơ cấu chính của máy: cơ cấu chuyển động khi máy thực hiện chuyển động tịnh tiến về phía trước để ấn sâu gầu xúc vào trong đồng ĐNM; các cơ cấu nâng cần nâng và quay gầu xúc trong đồng ĐNM, làm đầy thêm ĐNM vào gầu xúc. Để xác định tổng lực cản tác dụng lên gầu xúc trong quá trình xúc ĐNM; ta phân tích, tính toán cho từng trường hợp cụ thể như sau.

#### 2.1.1. Phân tích đặc điểm kết cấu và quá trình làm việc của MXLDB

MXLDB là loại máy chuyên dụng để xúc ĐNM trong thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ, do có thiết kế riêng biệt nên loại máy này có thể hoạt động tốt trong không gian làm việc của đường hầm chật hẹp mà các loại máy khác có công suất, năng suất, kích thước tương đương không thực hiện được, Hình 2.1.



Hình 2.1. MXLDB phục vụ bốc xúc trong thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ.

Cấu tạo máy gồm hai phần chính là máy cơ sở và thiết bị công tác;

Máy cơ sở là loại máy di chuyển bằng bánh xích, sử dụng nguồn động lực là động cơ điện, dẫn động, điều khiển, bằng truyền động thủy lực;

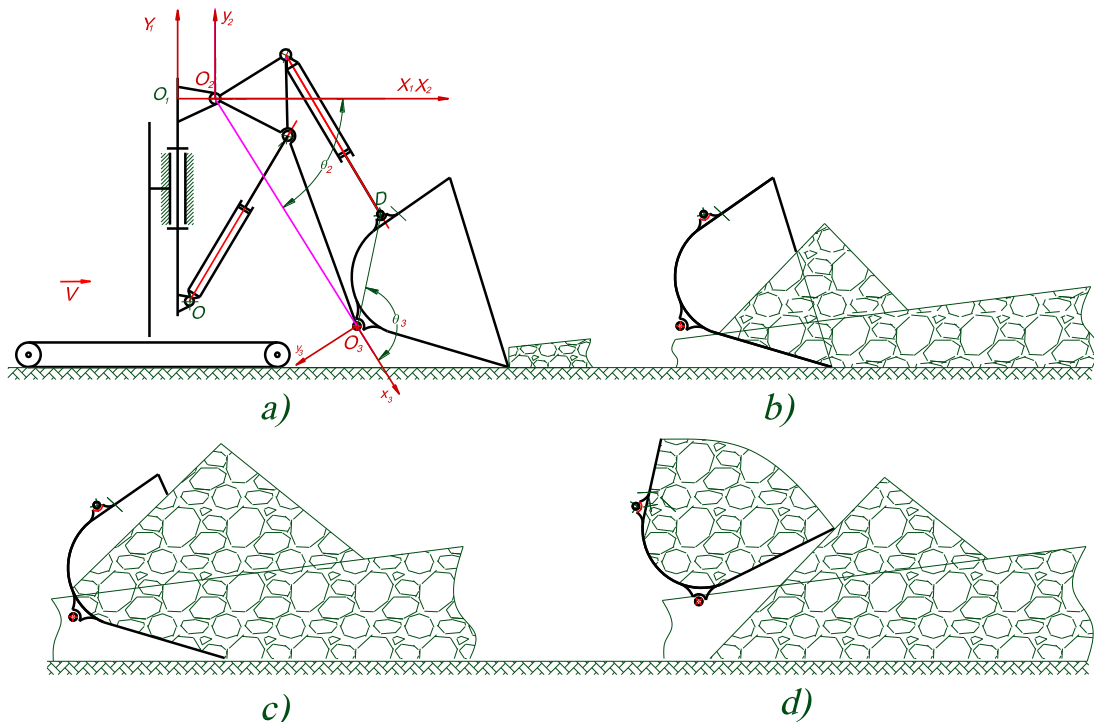
Thiết bị công tác của máy gồm có giá quay, cần, giá gầu và gầu, các bộ phận được liên kết với nhau bằng các khớp quay và hoạt động thông qua lực dẫn động của các xilanh thủy lực;

Do đặc điểm thiết kế để chuyên môn hóa công việc xúc, đổ ĐNM trong điều kiện thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ nên MXLDB hoạt

động với nguyên lý có những nét riêng, khác với máy xúc lật đổ trước thông thường. Mặt khác do ĐNM phân bố ngẫu nhiên trải dọc theo mặt đáy hầm, từ gương khoan nổ ra phía cửa hầm, muốn tích ĐNM, máy phải di chuyển một đoạn khá dài để tích ĐNM vào gàu, khi gần đầy gàu kết hợp với quay gàu, nâng cần làm đầy gàu; khi đã đầy gàu, nâng gàu kết hợp lùi máy đến vị trí phương tiện vận chuyển, khi đạt được độ cao cần thiết xoay thiết bị công tác và nghiêng gàu, đổ ĐNM lên phương tiện vận chuyển, sau đó tiếp tục lặp lại chu trình tiếp theo. Điều khác biệt của MXLDB ở đây là khi tích ĐNM máy và thiết bị công tác của máy hoạt động gần giống với máy ủi khi tích vật liệu trong quá trình san, ủi; quá trình đổ ĐNM lên phương tiện vận chuyển, máy đứng yên, xoay thiết bị công tác và đổ ĐNM, không phải xoay cả máy như máy xúc lật đổ trước như đã trình bày ở mục 1.2.2.4 phân trước.

### 2.1.2. Mô hình khảo sát quá trình tương tác giữa TBCT của máy xúc lật với môi trường ĐNM sau khoan nổ.

Như đã phân tích ở chương 1, môi trường ĐNM và thiết bị bóc xúc trong thi công đường hầm có những đặc khác biệt, Theo Hình 2.2. quá trình tích ĐNM vào gàu của TBCT máy xúc lật gồm các giai đoạn sau:



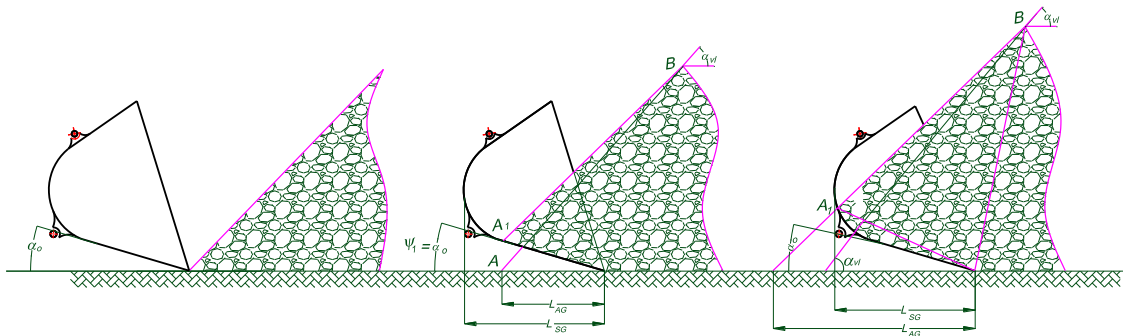
Hình 2.2. Các giai đoạn của quá trình tích ĐNM vào gàu.

\* **Giai đoạn xúc không tải** (ứng với Hình 2.2 a): đặc trưng cho giai đoạn làm việc không tải của TBCT. Trong quá trình tích ĐNM vào gàu, trước tiên gàu được hạ xuống tiếp cận đồng ĐNM, răng gàu chưa tiếp xúc với ĐNM nên chỉ có thành phần lực cản ma sát tại các khớp quay, chưa xuất hiện các thành phần lực cản lên TBCT.

Động học của TBCT được thể hiện bằng sự thay đổi góc  $\theta_3$  quay gàu quanh điểm  $O_3$  và gàu quay cùng với cần quanh điểm  $O_2$  theo góc  $\theta_2$ , đồng thời tịnh tiến máy về phía đồng ĐNM theo phương OX.

\* **Giai đoạn xúc, tích ĐNM và ấn sâu gàu xúc vào trong đồng ĐNM**

(ứng với Hình 2.2 b,c): Đặc trưng bằng việc gàu xúc được ấn sâu dần vào trong đồng ĐNM bằng đoạn dịch chuyển tịnh tiến của máy, để khảo sát sự tương tác của TBCT với ĐNM ta xét sơ đồ Hình 2.3. Trong giai đoạn này răng gàu xúc dịch chuyển trên mặt nền của lớp ĐNM; khi đó, trên cạnh trước và răng của gàu xúc sẽ tác dụng lực cản ấn sâu gàu xúc vào trong đồng ĐNM.

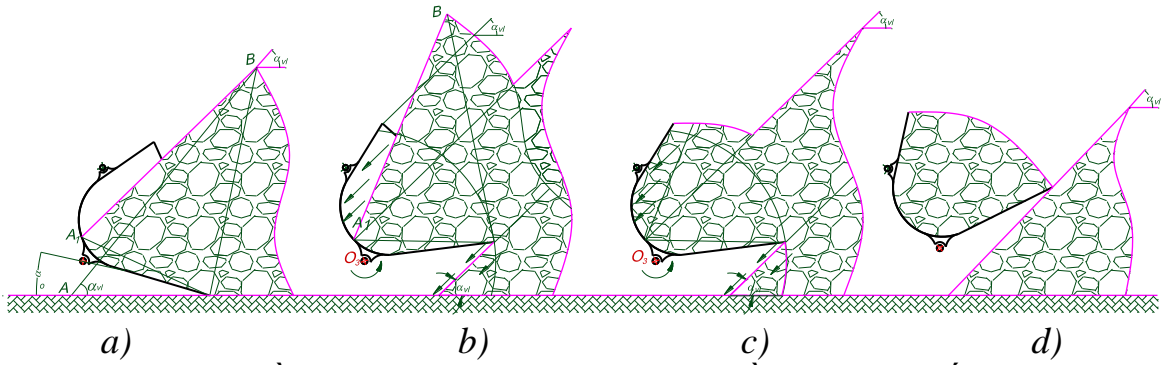


Hình 2.3 Sơ đồ mô tả vị trí các cục đá khi ấn gàu xúc vào trong đồng ĐNM.

Do răng gàu di chuyển sát mặt nền của lớp ĐNM nên các cục đá đều được răng gàu đẩy lên phía trên và đi vào trong gàu, bởi vậy giả thiết rằng mặt nền không có các mấp mô lớn, quá trình di chuyển của gàu không bị cản cục bộ dừng lại hoặc đi lên trên, răng gàu luôn tì sát mặt nền.

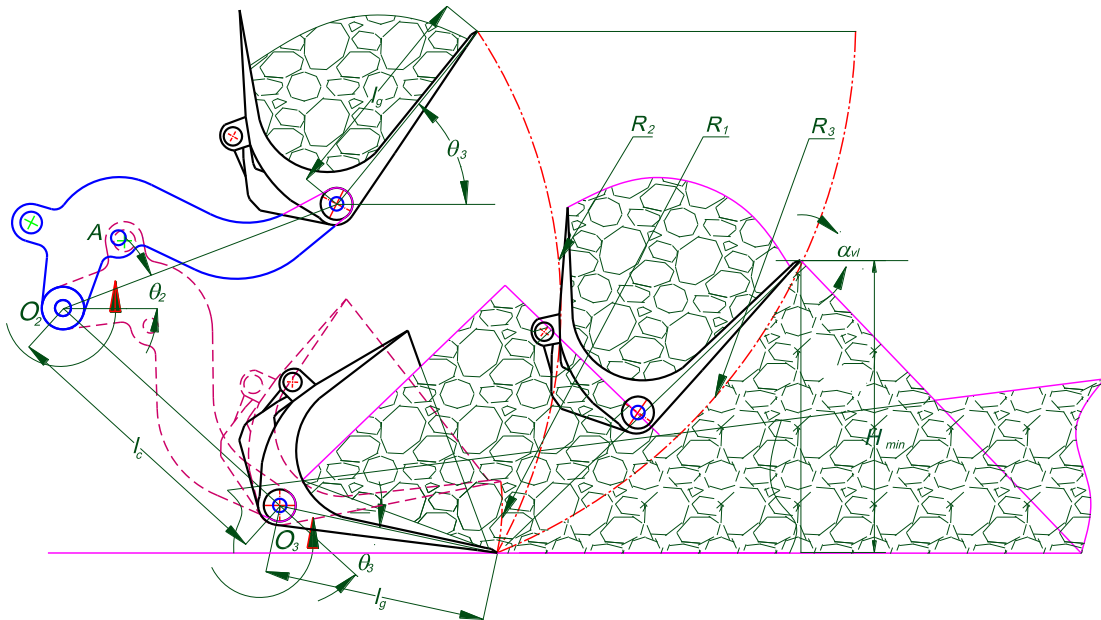
\* **Giai đoạn làm đầy gàu bằng phương pháp quay gàu xúc**

Sau khi ấn sâu gàu vào trong đồng ĐNM và để làm đầy gàu bằng cách quay gàu quanh khớp quay  $O_3$  Hình 2.4 và quay gàu cùng cần quanh khớp quay  $O_2$  để điền đầy ĐNM vào trong gàu, Hình 2.5



Hình 2.4 Sơ đồ mô tả vị trí các cục đá khi quay gầu xúc trong đồng ĐNM.

Khi quay gầu trong đồng ĐNM răng gầu xúc sẽ chuyển động theo một cung tròn, phần ĐNM phía trong răng gầu sẽ nằm yên và chuyển động cùng gầu. Phần phía trước răng gầu sẽ trượt qua răng gầu xuống nền; phần lửng kính ĐNM trong gầu do gầu quay, góc xoắn tự nhiên thay đổi, ĐNM sẽ trượt xuống điền đầy vào khoảng trống trong gầu theo góc xoắn tự nhiên, Hình 2.4.b,c; gầu xúc tiếp tục quay, khi răng gầu tách khỏi mặt phẳng nghiêng của đồng ĐNM; phần ĐNM phía trên răng gầu sẽ chảy xuống phía dưới theo góc xoắn tự nhiên, Hình 2.4d.



Hình 2.5. Sơ đồ chuyển động khi quay gầu xúc trong đồng ĐNM.

Khi quay gầu xúc quanh điểm  $O_3$ , cần không chuyển động, đỉnh răng gầu quay với bán kính  $R_1$ .

$$R_1 = l_g \tag{2.1}$$

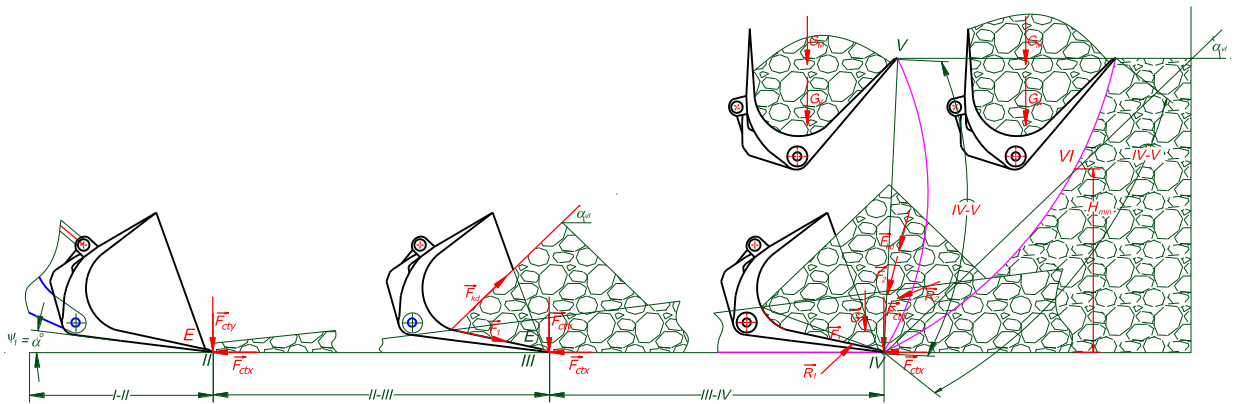
Khi quay gầu xúc quanh điểm  $O_3$ , cần chuyển động quay quanh điểm  $O_2$ , đỉnh răng gầu quay với bán kính  $R_2$ .

$$\vec{R}_2 = \overline{O_2O_3} + \vec{R}_1 \quad (2.2)$$

$$\vec{R}_3 = \vec{V}_c + \vec{V}_g + \vec{V}_x \quad (2.3)$$

### 2.1.3. Xác định các thành phần lực cản TBCT máy xúc lật trong quá trình tích ĐNM

Như đã trình bày ở phần trên do môi trường tương tác là ĐNM và nguyên lý hoạt động của TBCT, MXLDB có những đặc điểm riêng, nên sự tương tác giữa TBCT với ĐNM diễn ra khá phức tạp. Để xác định được các thành phần lực cản TBCT cần phải khảo sát quỹ đạo chuyển động của TBCT trong một chu kỳ làm việc và sự tương tác giữa gầu xúc với ĐNM ở từng thời điểm, giai đoạn đặc trưng khác nhau. Quỹ đạo chuyển động của một điểm ở đỉnh răng gầu trong 1 chu kỳ tích ĐNM vào gầu là một đường gồm các đoạn: I-II-III-IV-V, VI Hình 2.6 được chia thành 4 giai đoạn như đã phân tích ở mục 2.1.1.



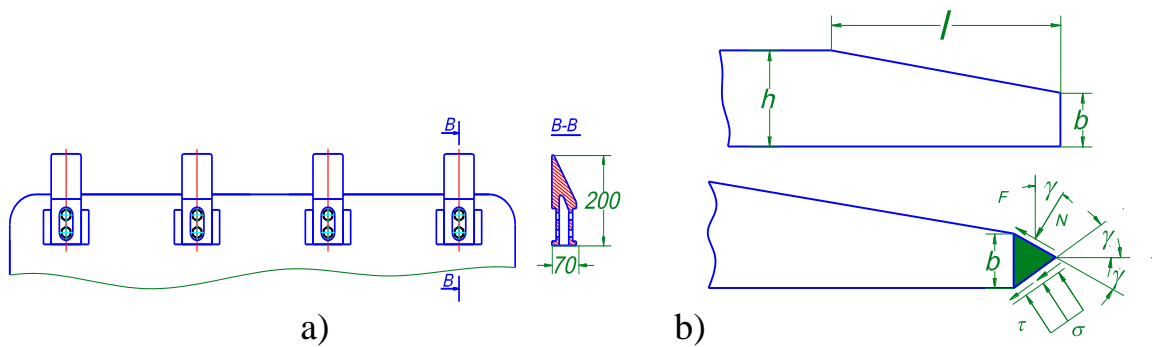
Hình 2.6 Quỹ đạo chuyển động của gầu xúc khi tích ĐNM.

Quá trình tích ĐNM là một phần chính trong chu trình làm việc của MXLDB, trong đó mức độ điền đầy ĐNM vào gầu xúc, giá trị các lực cản sinh ra trong quá trình tương tác của bộ phận công tác với môi trường làm việc và chi phí thời gian thực hiện quá trình công tác [26] phụ thuộc rất nhiều vào đặc điểm của quá trình này. Để xác định tổng lực cản tác dụng lên gầu xúc trong quá trình tương tác khi tích ĐNM vào gầu; ta xem xét, tính toán cho từng trường hợp cụ thể như sau:



### 2.1.3.1. Xác định lực cản trên đỉnh của răng gầu

Giai đoạn bắt đầu tích ĐNM bằng phương pháp ấn gầu xúc vào đồng ĐNM, ứng với đoạn I-II, Hình 2.6; trong giai đoạn này là các xi lanh nâng cần, quay gầu không chuyển động, việc ấn gầu xúc vào trong đồng ĐNM được thực hiện bằng lực đẩy của cơ cấu di chuyển. Lực cản TBCT tập trung lên các thành trước của gầu xúc. Phần thành trước, phía dưới của gầu xúc có gắn răng gầu. Hình 2.7



Hình 2.7 a) Sơ đồ miệng gầu xúc; b) Sơ đồ tính lực cản tác dụng lên răng gầu

Khi làm việc trong môi trường ĐNM, gầu của máy xúc lật đều phải có các răng với hình dạng và độ cứng vững, bảo đảm thâm nhập dễ dàng vào trong đồng ĐNM mà không bị phá hủy. Đối với các máy xúc loại nhỏ hoặc trung bình, có chiều cao của đỉnh răng  $b = 0,5 \div 1$  cm.

Khi ấn gầu xúc vào trong đồng ĐNM, các lực tập trung trên đỉnh của răng gầu, thực hiện phá vỡ liên kết khối ĐNM, những cục đá di chuyển qua các hướng về phía sau của đỉnh răng gầu giải phóng không gian phía trước để ấn sâu gầu xúc vào trong đồng ĐNM. Lượng tiêu hao năng lượng của phương pháp phá hủy cơ học đối với ĐNM phụ thuộc vào độ liên kết của ĐNM và kích thước gầu xúc. Tính chất của ĐNM thay đổi trong các giới hạn rộng, vì thế chia chúng thành các nhóm và các loại. Phân chia các loại ĐNM (bảng 2.1) đã được khá nhiều tác giả sử dụng trong các công trình nghiên cứu: N.G. Dombrowski [39], D.P Volkov [35][36], R.Yu.Podemi [48].  
Bảng 2.1. Phân loại ĐNM theo tính chất cơ lý.

Nhóm	Các loại vật liệu đặc trưng nằm trong khối.	Lực cản đào riêng của ĐNM $K_{\sigma}$ , Mpa.	Khối lượng riêng $\rho_M$ , tấn/m <sup>3</sup>
I	Than đá dạng hạt rời	0,10 ÷ 0,15	1,15 ÷ 1,25 ( $\rho_M=1,2$ )
II	Đất lẫn đá dăm	0,15 ÷ 0,25	1,65 ÷ 1,75 ( $\rho_M=1,7$ )
III	Đá sau khoan nổ	0,25 ÷ 0,35	1,55 ÷ 1,65 ( $\rho_M=1,6$ )

Ứng suất  $\sigma_{rc}$  trên răng gầu được xác định theo phương pháp đồng dạng với máy xúc lật theo phương pháp [48]:

$$\sigma_{rc} = (1,54K_{\sigma} + 0,17)\mu_e \quad (2.4)$$

Trong đó  $K_{\sigma}$  - đại lượng được xác định theo bảng 2.1;  $\mu_e$  - hệ số thay đổi trong giới hạn  $\mu_e = 1,1 \div 0,7$ .

Lực cản chính diện trên răng gầu được xác định từ phương trình tổng các hình chiếu của các lực trên trục nằm ngang:

$$F_{rgx} = 2(N \sin \varphi + F_{msr} \cos \varphi) \quad (2.5)$$

Trong đó: N- áp lực trên bề mặt răng gầu và được xác định theo công thức:

$$N = \frac{bb_{rg}}{2 \sin \varphi} \sigma_{rc} \quad (2.6)$$

Lực ma sát  $F_{msr}$  được tính theo công thức:

$$F_{msr} = \mu_2 N \quad (2.7)$$

Thế phương trình (2.5) và (2.6) vào phương trình (2.7) nhận được:

$$F_{rgx} = (\sin \varphi + \mu_2 \cos \varphi) \frac{bb_{rg}}{\sin \varphi} \sigma_{rc} \quad (2.8)$$

Trong đó:  $\sigma_{rc}$  - ứng suất trên mặt nghiêng của răng cắt;  $\mu_2 = \operatorname{tg} \varphi$  - hệ số ma sát giữa ĐNM với ĐNM;  $b_{gx}$  - chiều rộng răng gầu xúc;  $\varphi$ - góc ma sát trong ĐNM, , lấy  $\varphi = 44^{\circ}$ .

Kết quả tính, với gầu xúc của máy xúc MVC 500E-1, có chiều cao của đỉnh răng  $b=0,005\text{m}$  đồng thời coi phần trước lưỡi gầu xúc tương ứng với răng gầu ta có chiều rộng phía trước răng gầu xúc  $b_{gx}=1,53\text{m}$  [2]; với ĐNM theo [53] góc ma sát trong  $\varphi = 44^{\circ}$ ,  $\mu_2 = \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} 44^{\circ} = 0,966$   $K_{\sigma} = 0,25$ ;  $\mu_e = 0,7$

Sử dụng các giá trị trên thay vào (2.4) và (2.8) ta nhận được

$$\sigma_{rc} = (1,54K_{\sigma} + 0,17)\mu_e = (1,54 \cdot 0,25 + 0,17)0,7 = 0,389\text{Mpa}$$

$$F_{rgx} = (\sin \varphi + \mu_2 \cos \varphi) \frac{bb_{rg}}{\sin \varphi} \sigma_{gx} = (\sin 44^\circ + 0,966 \cos 44^\circ) \frac{0,005 \cdot 1,53}{\sin 44^\circ} 0,389 = 5951 \text{N}$$

Khi lực cản tổng cộng phía trước theo điều kiện bám, tạo bởi máy xúc MCV 500E-1, đạt giá trị định mức,  $P_{dm} = 35 \text{kN}$ , lực cản chính diện  $F_{rgx}$  đạt 17% của lực  $P_{dm}$ .

### 2.1.3.2. Lực cản khi ấn gầu vào trong đồng ĐNM.

Giai đoạn tích ĐNM vào trong gầu xúc bằng phương pháp ấn sâu gầu xúc vào đồng ĐNM: ứng với đoạn II-IV, Hình 2.6, đặc trưng của giai đoạn này là các xi lanh nâng cần, quay gầu không chuyển động, để ấn sâu gầu xúc vào trong đồng ĐNM được thực hiện bằng việc di chuyển máy; ĐNM trượt tự do trên mặt phẳng đáy gầu đi vào gầu, quá trình này được xem xét như sau:

- Gầu dịch chuyển tịnh tiến về phía trước, răng và thành trước của gầu xúc sẽ đồng thời nâng, xoay các cục đá nằm phía trên răng gầu đi vào gầu làm xuất hiện lực cản ĐNM vào gầu.

- Ấn các cục đá nằm phía dưới răng gầu xuống nền làm xuất hiện lực cản theo phương pháp tuyến (thẳng đứng).

- Xoay và dịch các cục đá nằm ở giữa vết răng gầu theo hướng chuyển động của gầu làm xuất hiện lực cản theo phương tiếp tuyến (nằm ngang).

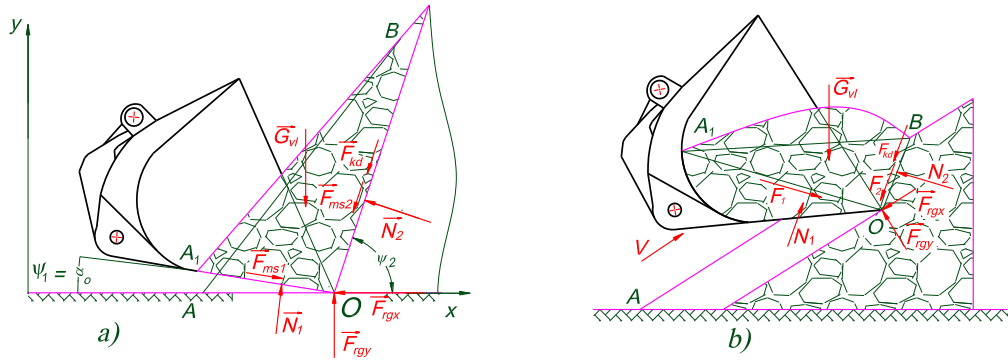
Quá trình ấn gầu xúc vào trong đồng ĐNM được xem xét trên cơ sở lý thuyết bám và cân bằng giới hạn của S. Coulon [56], Hình 2.8. Khi ấn gầu bằng lực dịch chuyển bên ngoài, sinh ra khối lăng trụ dịch chuyển phía trước vào trong gầu theo mặt phẳng đáy gầu một góc  $\psi_2$ , trong mặt phẳng này tác dụng các ứng suất tiếp tuyến  $\tau$ , ứng suất pháp tuyến  $\sigma$  và độ liên kết  $C$ , giữa chúng thiết lập mối liên hệ theo định luật S. Coulon:

$$\tau = \sigma \cdot \text{tg} \varphi + C \quad (2.9)$$

Trong đó:  $\varphi$  – góc ma sát trong,  $\varphi = 44^\circ$ ;  $C$  - độ liên kết ĐNM,  $C = 5000 \text{ Pa}$  [53].

Ở thời kỳ đầu của quá trình ấn gầu xúc, khối lăng trụ ĐNM, có tiết diện  $OA_1B$  và trọng lượng  $G_{vl}$ , trượt tự do theo thành phẳng của gầu xúc Hình 2.8,

tuy nhiên khi tiếp tục ấn, lăng trụ này tì lên đáy cong trong gầu xúc và tạo thành thể tích lăng trụ ĐNM cố định trong gầu xúc, tiết diện của thể tích này là  $OA_1B$ , Hình 2.8b.

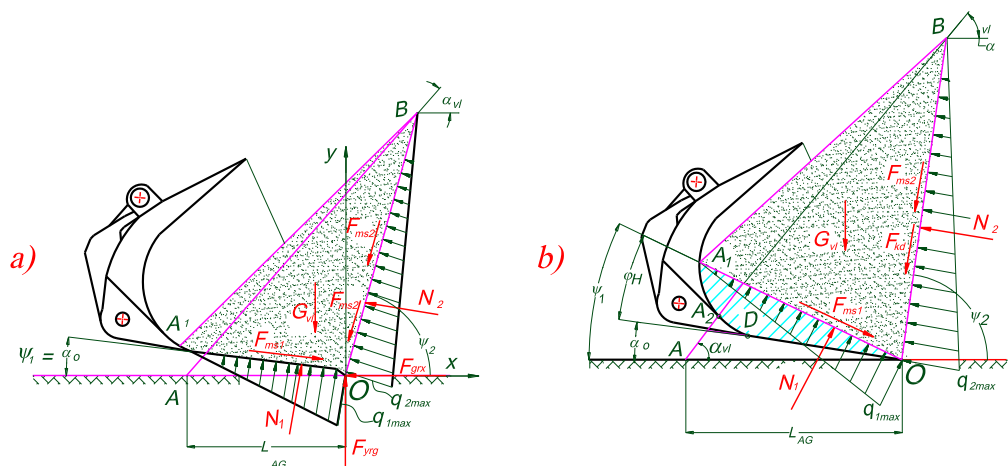


Hình 2.8 Sơ đồ các lực tương tác khi tích ĐNM vào gầu.

a) Quá trình ấn gầu xúc; b) quá trình nâng gầu xúc

Lực ép của mặt đáy trên gầu xúc vào khối ĐNM, về giá trị bằng phản lực  $N_1$ , có xu hướng dịch chuyển lăng trụ  $OBA_1$  song song với mặt phẳng có cạnh  $OB$  dưới góc  $\psi_2$ , còn lực ép vuông góc từ hướng mặt phẳng trượt có cạnh  $OB$ , về giá trị bằng phản lực  $N_2$ , là lực dịch chuyển khối lăng trụ  $OBA_1$  về phía trong gầu xúc. Các lực đã xem xét, trên Hình 2.8, thực chất là các lực phân bố tác động lên các mặt tương ứng của lăng kính trượt  $BOA_1$ .

Như vậy, thấy rằng các lực tác dụng lên gầu xúc của máy xúc lật, không đơn thuần là các lực cản, mà còn thực hiện các chức năng công nghệ để điều chỉnh chúng sao cho điền đầy ĐNM vào gầu xúc một cách hợp lý.



Hình 2.9 Sơ đồ lực phân bố lên gầu xúc

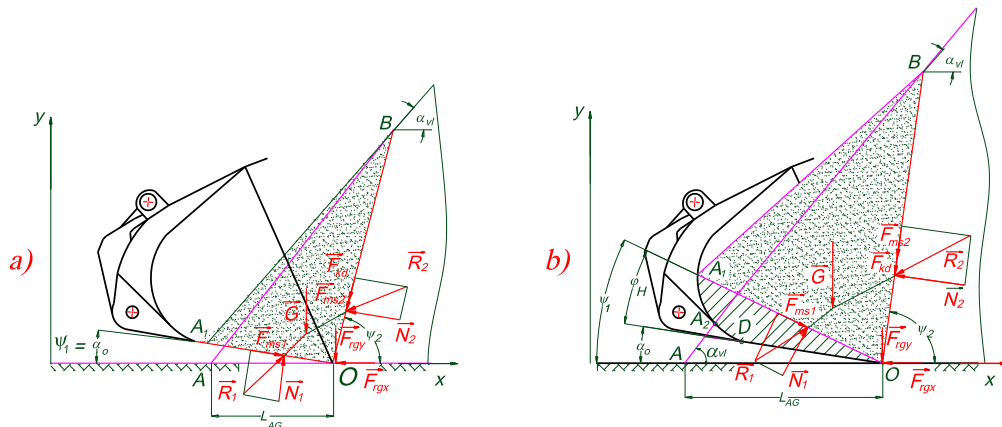
a) Khi ấn sơ bộ gầu xúc vào đồng ĐNM; b) Khi ấn sâu gầu xúc vào đồng ĐNM.

Các lực pháp tuyến  $N_1$  và  $N_2$  được thể hiện ở dạng các lực phân bố pháp tuyến, tuyến tính với các giá trị cường độ lớn nhất của giản đồ tam giác là  $q_{1max}$  và  $q_{2max}$  (N/m), Hình 2.9, [32][33], cần thiết để xác định các điểm đặt của các lực pháp tuyến trên đáy gầu xúc trong các tính toán quá trình quay gầu xúc; các giá trị lớn nhất này được tính theo các công thức.

$$q_{1max} = \frac{2N_1}{OA_1}; q_{2max} = \frac{2N_2}{OB} \tag{2.10}$$

Trên Hình 2.10 xem xét các lực chính, tác dụng lên khối ĐNM dịch chuyển trong gầu xúc đối với giai đoạn tính toán thứ nhất, chuyển động của khối lăng trụ theo thành phẳng, đặt dưới góc  $\alpha_0$  so với mặt nền [32][33].

Trong trường hợp này, góc trượt  $\psi_1$  với bề mặt nền bằng  $\psi_1 = \alpha_0$ .



Hình 2.10. Sơ đồ lực chính tác dụng lên gầu xúc

a) Khi ấn sơ bộ gầu xúc vào trong đồng ĐNM; b) Khi ấn sâu gầu xúc vào trong đồng ĐNM.

Kết quả của các hiện tượng đã xem xét trên trong mặt phẳng trượt  $OA_1$ , lực ma sát trượt  $F_{ms1}$  và lực pháp tuyến  $N_1$  tác dụng lên khối lăng trụ từ cạnh đáy gầu xúc, còn trong mặt phẳng trượt  $OB$  sinh ra các lực Culon: lực ma sát của ĐNM với ĐNM  $F_{ms2}$ , lực kết dính của ĐNM  $F_{kd}$  và lực pháp tuyến  $N_2$ .

Khối lăng trụ ĐNM có tiết diện  $OA_1B$  được coi là vật rắn, thực hiện chuyển động tịnh tiến và nằm trong trạng thái cân bằng dưới tác dụng của hệ ba lực hội tụ:

$$\vec{R}_1, \vec{R}_2, \vec{G}_{VL}. \text{ Các lực kết quả } \vec{R}_1, \vec{R}_2 \text{ được coi là các véc tơ: } \vec{R}_1 = \vec{F}_{ms1} + \vec{N}_1;$$

$$\vec{R}_2 = \vec{F}_{ms2} + \vec{F}_{lk} + \vec{N}_2;$$

Các phương trình cân bằng của hệ các lực hội tụ được viết dưới dạng hình chiếu của các lực này trên các trục Oy và Ox, và bổ sung các phương trình lực ma sát và liên kết [32].

Lực ma sát trượt của khối lắng trụ với đáy gầu trong mặt phẳng  $OA_1$  bằng.

$$F_{ms1} = \mu_1 N_1; \quad (2.11)$$

Lực ma sát trượt ĐNM với ĐNM trong mặt phẳng trượt OB được xác định theo công thức.

$$F_{ms2} = \mu_2 N_2; \quad (2.12)$$

Trong đó  $\mu_1; \mu_2$  - tương ứng là hệ số ma sát trượt của ĐNM với đáy gầu xúc và ĐNM.

Lực kết dính trong mặt phẳng trượt OB được xác định theo công thức.

$$F_{kd} = B_{rg} L_{AG} \frac{\sin \alpha_{vl} C}{\sin(\psi_2 - \alpha_{vl})}; \quad (2.13)$$

Trong đó C - hệ số liên kết, lực liên kết tiếp tuyến riêng trên 1 đơn vị diện tích bề mặt trượt, Pa.

Trọng lượng  $G_{lk}$  của khối lắng kính ĐNM  $OA_1B$  được xác định theo công thức [34]:

$$G_{lk} = 0,5 \rho_{vl} g L_{AG}^2 B_{rg} \frac{\sin \alpha \sin \psi_2}{\sin(\psi_2 - \alpha_{vl})}, \quad (2.14)$$

Trong đó:  $\rho_{vl}$  - khối lượng riêng của ĐNM,  $kg/m^3$ ; g - gia tốc trọng trường,  $g = 9,81 m/s^2$ ;  $B_{rg}$  - bề rộng của gầu xúc, m;  $L_{AG}$  - độ sâu thâm nhập của gầu vào đồng ĐNM, m;  $\alpha_{vl}$  - góc xoắn tự nhiên của đồng ĐNM;  $\psi_2$  - góc trượt của lắng kính ĐNM;

Từ sơ đồ Hình 2.10, các phương trình cân bằng lực tác dụng lên lắng kính ĐNM theo phương thẳng đứng và nằm ngang có dạng:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; \Rightarrow N_1 \sin \psi_1 + F_{ms1} \cos \psi_1 - (F_{ms2} + F_{kd}) \cos \psi_2 - N_2 \sin \psi_2 = 0; \\ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; \Rightarrow -G + N_1 \cos \psi_1 - F_{ms1} \sin \psi_1 - (F_{ms2} + F_{kd}) \sin \psi_2 + N_2 \cos \psi_2 = 0; \end{cases} \quad (2.15)$$

Hệ năm phương trình (2.11) – (2.15) chứa 5 đại lượng chưa biết:

$$N_1, N_2, F_{ms1}, F_{ms2}, F_{kd}, \Psi_2. \quad \text{với} \quad \psi_2 = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$$

Bảng 2.2. Các giá trị của  $\Psi_2$  đối với các loại ĐNM khác nhau [53].

Loại vật liệu	Than đá dạng rắn rời	Đá nổ mìn
Góc ma sát trong $\varphi$	$38^\circ$	$44^\circ$
Góc trượt ĐNM $\psi_2$	$64^\circ$	$67^\circ$

Giải hệ phương trình (2.15) ta xác định được phản lực của đáy gầu  $N_1$  và phản lực của ĐNM  $N_2$  tác dụng lên lăng kính ĐNM[56]:

$$N_1 = \frac{G_{lk} (\sin \psi_2 + \mu_2 \cos \psi_2) + F_{kd}}{K_1 K_2 + K_3 K_4} \quad (2.16)$$

$$N_2 = \frac{G_{lk} + F_{kd} \sin \psi_2 - N_1 (\cos \psi_1 - \mu_1 \sin \psi_1)}{\cos \psi_2 - \mu_2 \sin \psi_2} \quad (2.17)$$

trong đó:  $K_1, K_2, K_3, K_4$  là các hệ số được xác định:

$$K_1 = \sin \psi_1 + \mu_1 \cos \psi_1; K_2 = \cos \psi_2 - \mu_2 \sin \psi_2;$$

$$K_3 = \cos \psi_1 - \mu_1 \sin \psi_1; K_4 = \sin \psi_2 + \mu_2 \cos \psi_2;$$

Lực cản trở chuyển động ngang của máy, tạo ra bởi các lực trong gầu, bằng.

$$F_{ctx} = F_{ms1} \cos \psi_1 + N_1 \sin \psi_1; \quad (2.18)$$

Sau khi thay các đại lượng  $F_{ms1}$  ở công thức (2.11) và  $N_1$  công thức (2.16) vào (2.18) ta được

$$F_{ctx} = \frac{\mu_1 \cos \psi_1 + \sin \psi_1}{K_1 K_2 + K_3 K_4} \left[ G_{lk} (\sin \psi_2 - \mu_2 \cos \psi_2 + F_{kd}) \right]; \quad (2.19)$$

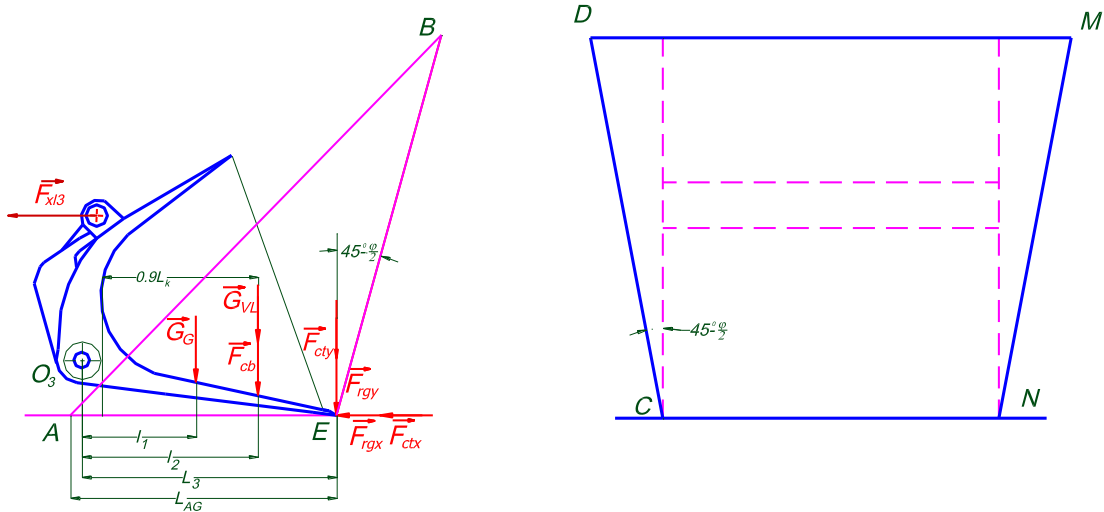
$$F_{cty} = N_1 \cos \psi_1 - \mu_1 N_1 \sin \psi_1; \quad (2.20)$$

$$F_{cty} = \frac{G_{lk} (\sin \psi_2 + \mu_2 \cos \psi_2) + F_{kd}}{K_1 K_2 + K_3 K_4} (\cos \psi_1 - \mu_1 \sin \psi_1); \quad (2.21)$$

### 2.1.3.3. Lực cản khi quay gầu xúc trong đồng ĐNM.

Giai đoạn làm đầy gầu xúc bằng phương pháp quay gầu xúc quanh khớp bản lề  $O_3$ , sau khi đã ấn sâu gầu xúc vào trong đồng ĐNM. Sử dụng lý thuyết

B.A. Bauman [53], xây dựng mô hình khảo sát lực tương tác của ĐNM với gầu xúc trong quá trình tích ĐNM vào gầu, Hình 2.11



Hình 2.11 Sơ đồ tính toán khảo sát các lực tác dụng lên gầu xúc khi quay gầu xúc trong đồng ĐNM.

Quá trình quay gầu, sinh ra các lực cản sau:  $F_{ct}$  - lực cản dịch chuyển ĐNM theo bề mặt chính diện BE;  $F_{cb}$  - lực cản dịch chuyển ĐNM theo các bề mặt bên, DC và MN;  $G_{VL}$  - trọng lượng khối ĐNM dịch chuyển;  $G_G$  - trọng lượng gầu xúc.

\* Phương trình tính toán khảo sát:

Tổng lực cản tác dụng lên gầu xúc tại thời điểm kết thúc quá trình ấn gầu xúc vào đồng ĐNM, chuyển sang quá trình quay gầu xúc được xác định trên cơ sở lực tác dụng của xi lanh quay gầu, thông qua phương trình cân bằng mô men

$$F_{x13} = \frac{G_G l_1 + (F_{cb} + G_{VL}) l_2 + (F_{cty} + F_{rgy}) l_3}{1} \quad (2.22)$$

Trong đó: -  $F_{x13}$  lực tác dụng của xi lanh quay gầu;  $l_1, l_2, l_3$  - các cánh tay đòn của các lực tương ứng so với tâm  $O_3$  quay vòng của gầu xúc.

Các mặt phẳng dịch chuyển của khối ĐNM trong quá trình quay gầu xúc quanh khớp quay  $O_3$  trên cần nâng là các mặt phẳng BE, DC và MN, Hình 2.11; Giá trị lực cản dịch chuyển theo mặt phẳng tách ĐNM sẽ phụ thuộc vào giá trị lực liên kết và lực ma sát của các cục đá trên mặt phẳng dịch chuyển



trong đồng ĐNM. Theo lý thuyết trạng thái giới hạn của môi trường hạt rời, ở trạng thái cân bằng giới hạn của vật thể hạt rời, khu vực phá vỡ liên kết đối với khối ĐNM dịch chuyển sẽ là các khu vực nằm ở góc  $45^\circ - \varphi/2$ . Vị trí này được sử dụng làm cơ sở để xác định hướng của khu vực dịch chuyển Hình 2.11

Lực  $F_{ctx}$  lực cản phía trước do các lực phía trước gầu tạo ra đã xem xét ở phần 2.1.3.2 trong công thức (2.19);

Lực  $F_{cb}$ , lực cản ma sát thành bên, lấy theo phương thẳng đứng, chiều từ trên xuống và điểm đặt ở điểm trọng tâm mặt bên lăng kính ĐNM. Sau khi phân tích lực  $F_{cb}$  thành các lực thành phần theo hướng mặt phẳng dịch chuyển và hướng vuông góc với mặt phẳng dịch chuyển, phương trình cân bằng giới hạn Hình 2.11 có dạng:

$$\frac{F_{cb} \cdot \cos\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{S_{cb}} = \frac{F_{cb} \cdot \sin\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \text{tg}\varphi}{S_{cb}} + c \quad (2.23)$$

Trong đó  $S_{cb}$  – diện tích chính diện của khối dịch chuyển ở dạng khối hình tam giác có chiều cao là độ dài của hình chiếu cạnh BE, theo phương đứng.

Phương trình (2.25) có thể viết dưới dạng:

$$F_{cb} = c \cdot S_{cb} \frac{1}{\cos\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - \sin\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \text{tg}\varphi} \quad (2.24)$$

Để rút gọn cách viết phương trình, chúng ta đưa ra:

$$k = \frac{1}{\cos\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - \sin\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \text{tg}\varphi} \quad (2.25)$$

$$\text{Khi đó:} \quad P_{cb} = c \cdot S_{cb} \cdot k \quad (2.26)$$

$$S_{cb} = \frac{L_{AG} \cdot BE \cdot \sin\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)}{2} \quad (2.27)$$

Giá trị BE được xác định từ định lý sin:

$$\frac{BE}{\sin \alpha_{vl}} = \frac{L_{AG}}{\sin\left(180^\circ - \alpha_{vl} - 45^\circ + \frac{\varphi}{2} - 90^\circ\right)} = \frac{L_{AG}}{\sin\left(45^\circ - \alpha_{vl} + \frac{\varphi}{2}\right)} \quad (2.28)$$

$$\Rightarrow BE = L_{AG} \frac{\sin \alpha_{vl}}{\sin \left( 45^\circ - \alpha_{vl} + \frac{\varphi}{2} \right)} \quad (2.29)$$

Trong đó  $\alpha_{vl}$  – góc xoắn tự nhiên của ĐNM, lấy  $\alpha_{vl}=46^\circ$ . Để rút ngắn phương trình, đưa ra:

$$k_1 = \frac{\sin \alpha_{vl}}{\sin \left( 45^\circ - \alpha_{vl} + \frac{\varphi}{2} \right)} \quad (2.30)$$

Theo giả thiết ở trên, lực cản  $F_{cb}$  tác dụng lên thành bên của gầu xúc tại trọng tâm tiết diện tam giác ABE, và theo Hình 2.11 tương ứng khoảng cách  $0,9 L_{AG}$  từ điểm A, khi đó có thể coi gần đúng với sai số nhỏ là lực này đặt lên rãnh của gầu xúc [26].

Các giá trị của  $k$  và  $k_1$  đối với một vài loại vật liệu được đưa ra trong bảng:

Bảng 2.3. Các giá trị của  $k$  và  $k_1$  đối với các loại vật liệu khác nhau.

Loại vật liệu	Than đá dạng rời	Đá sau khoan nổ
Góc ma sát trong ( $\varphi$ ) [53]	$38^\circ$	$44^\circ$
$k$	1,796	1,603
$k_1$	2,22	1,92

$G_{VL}$ - trọng lực ĐNM dịch chuyển có thể xác định theo công thức:

$$G_{VL} = V_{VL} \cdot \gamma \cdot g \quad (\text{kgm/s}^2) \quad (2.31)$$

Trong đó  $V_{VL}$  – thể tích khối ĐNM dịch chuyển,  $\text{m}^3$ ;  $\gamma$  – khối lượng riêng ĐNM,  $\text{kg/m}^3$ ;  $g$  – gia tốc rơi tự do,  $\text{m/s}^2$ .

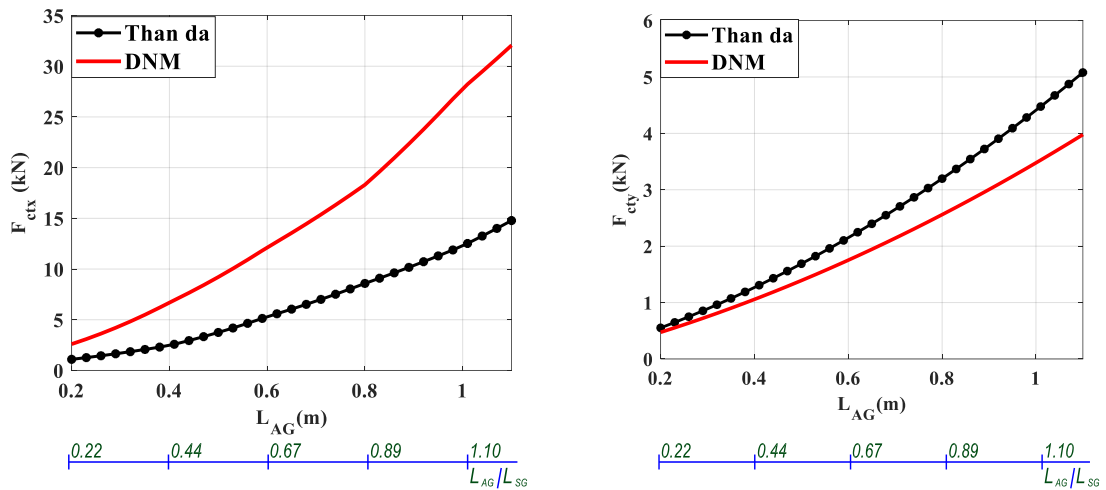
Thể tích khối ĐNM dịch chuyển khi quay gầu xúc trong đồng ĐNM sau khi ấn sơ bộ đến chiều sâu  $L_{AG}$  được xác định theo công thức.

$$V_{VL} = S_b \cdot \cos \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \left[ B_{gx} + \frac{2}{3} \cdot BE \cdot \sin \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right] \quad (\text{m}^3) \quad (2.32)$$

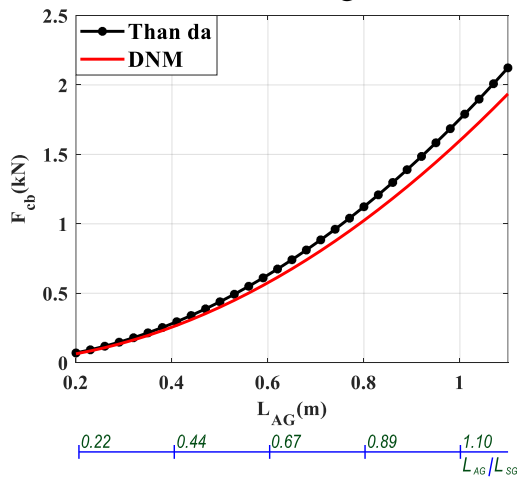
Lực  $G_{VL}$  đặt ở trọng tâm của khối lăng trụ ĐNM dịch chuyển, giả thiết cùng nằm trên đường đặt lực  $F_{cb}$ , giá trị của lực phụ thuộc vào chiều sâu ấn sơ bộ gầu xúc vào trong đồng ĐNM,  $L_{AG}$ , chiều rộng gầu xúc  $B_{gx}$  và các tính chất cơ lý của ĐNM.

Như vậy, các lực cản chính sinh ra trong quá trình tương tác của gầu xúc trên máy xúc lật với ĐNM bao gồm: lực cản chính diện phía trước  $F_{ct}$ , lực cản răng gầu  $F_{rg}$ ; lực cản dịch chuyển theo bề mặt bên của khối lăng trụ ĐNM  $F_{cb}$  và trọng lực khối lăng trụ dịch chuyển  $G_{VL}$ . Giá trị của các lực cản này, phụ thuộc vào tính chất cơ lý của ĐNM, chiều sâu ấn gầu xúc vào trong đồng ĐNM  $L_{AG}$  và chiều rộng gầu xúc  $B_{gx}$ . Các giá trị lớn nhất của các lực cản này sinh ra ở giai đoạn đầu của quá trình làm đầy bằng quay gầu xúc, sau khi đã ấn sơ bộ gầu xúc vào trong đồng ĐNM.

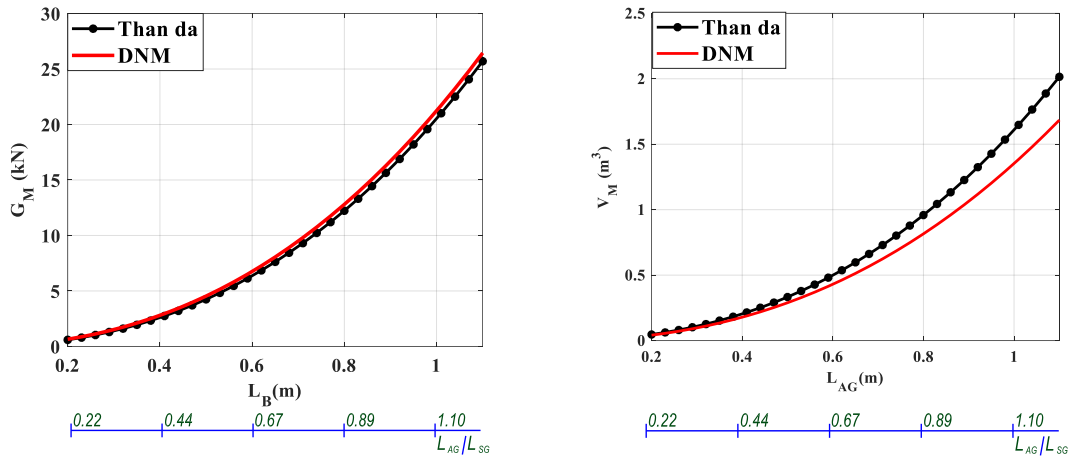
Đồ thị các mối quan hệ giữa các thông số trong các công thức từ (2.19) đến (2.32); áp dụng đối với MXLĐB VMC E500-1 với dung tích gầu  $V_g=0,5$  m<sup>3</sup>, chiều rộng  $B_{gx}=1,34$  m và chiều sâu đáy gầu  $L_{SG} = 0,9$  m:



Hình 2.12 Sự phụ thuộc của lực cản trước  $F_{ctx}$  và  $F_{cty}$ , khi ấn gầu xúc trong đồng vật liệu vào chiều sâu ấn gầu xúc và loại vật liệu khác nhau.



Hình 2.13. Sự phụ thuộc của các lực cản bên  $F_{cb}$ , khi ấn gầu xúc trong đồng vật liệu vào chiều sâu ấn gầu xúc và góc ma sát trong của vật liệu

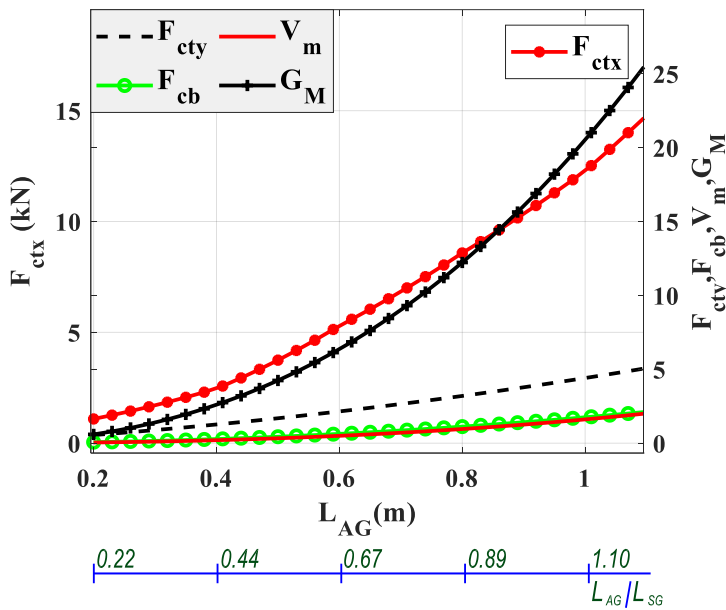


Hình 2.14. Sự phụ thuộc của thể tích và khối lượng ĐNM vào chiều sâu ấn gầu xúc đồng ĐNM.

Qua phân tích các đồ thị quan hệ, Hình 2.12-Hình 2.14, đối với các loại vật liệu khác nhau rút ra một số kết luận sau:

Giá trị các lực cản sinh ra trong quá trình xúc vật liệu của gầu xúc trên máy xúc lật phụ thuộc vào góc ma sát trong của vật liệu; Sự thay đổi các thông số hình học của khối lăng trụ dịch chuyển (tăng góc ma sát trong của vật liệu) dẫn đến giảm các lực liên kết theo các bề mặt chính diện và bên của khối dịch chuyển. Trọng lượng lăng trụ vật liệu dịch chuyển phụ thuộc vào khối lượng riêng của vật liệu, tuy nhiên cũng nhận thấy việc giảm trọng lượng vật liệu trong khối lăng trụ dịch chuyển khi tăng góc ma sát trong. Như vậy, khi máy xúc lật làm việc với các loại vật liệu khác nhau, chiều sâu ấn hợp lý của gầu xúc vào trong đồng vật liệu sẽ khác nhau. Khi góc ma sát trong tăng lên, chiều sâu ấn sơ bộ  $L_{AG}$  sẽ tăng lên. Để đạt được hiệu quả cần thiết cho quá trình tích vật liệu vào gầu, chiều sâu ấn sơ bộ gầu xúc vào đồng vật liệu  $L_{AG}$ , khi làm việc với các loại vật liệu khác nhau, sẽ nằm trong giới hạn  $L_{AG} = (0,7 \dots 0,9)L_{SG}$ , trong đó  $L_{SG}$  – chiều sâu của gầu xúc.

Quá trình điền đầy gầu xúc bằng chuyển động quay hoặc nâng gầu xúc lên, khi đã ấn gầu xúc vào trong đồng vật liệu. Để thực hiện quá trình đó cần thắng được các lực cản, Hình 2.11 lực cản trước  $F_{ctx}$ ,  $F_{cty}$ ; lực cản dịch chuyển theo các bề mặt bên của khối lăng trụ vật liệu,  $DC$  và  $MN - F_{cb}$ ; trọng lượng khối lăng trụ dịch chuyển  $G_{VL}$ ; trọng lượng gầu xúc  $G_{gx}$ .



Hình 2.15 Sự phụ thuộc của các lực cản và các thông số của khối lắng trụ ĐNM vào chiều sâu ấn gầu xúc trong đồng ĐNM  $L_{AG}$ , và vào tỷ số không thứ nguyên  $L_{AG}/L_{SG}$ ,

Sử dụng công thức đã nêu, giá trị của các thông số lựa chọn đã xây dựng các đồ thị phụ thuộc của chúng vào chiều sâu ấn gầu xúc vào trong đồng ĐNM đối với máy xúc VMC E500-1, có tải trọng nâng  $Q=1.000\text{kg}$ , tương ứng với gầu xúc của dung tích  $V_g=0,5\text{ m}^3$ , Hình 2.15.

Từ đồ thị phụ thuộc trên Hình 2.15, thấy rằng các thành phần của lực cản quá trình tích vật liệu bằng gầu xúc trên máy xúc lật bao gồm: lực cản ấn gầu xúc vào trong đồng vật liệu  $F_{ctx}$ ,  $F_{cty}$ ; trọng lượng khối lắng trụ vật liệu dịch chuyển  $G_{VL}$ ; các giá trị của lực  $F_{cb}$  là nhỏ so với các lực cản  $F_{ctx}$ ,  $F_{cty}$  và  $G_{VL}$  SV Abramov [27]. Khi độ sâu ấn gầu xúc vào đồng vật liệu,  $L_{AG}=1,1L_{SG}$ , đảm bảo điền đầy vật liệu vào gầu xúc khi tích vật liệu bằng phương pháp phân đoạn, thể tích  $V_{VL}$  và trọng lượng  $G_{VL}$  của khối lắng trụ vật liệu dịch chuyển lên lớn hơn bốn lần so với dung tích hình học của gầu và tải trọng nâng của máy. Có nghĩa là khi điền đầy gầu xúc, một phần khá lớn vật liệu bị rơi vãi ra ngoài, đồng nghĩa với năng lượng tiêu hao trong quá trình tích vật liệu ở dạng tổn thất khá nhiều. Như vậy có thể thấy rằng, khi tích vật liệu bằng phương pháp phân đoạn là không hợp lý. Phương pháp được coi là hợp lý, kinh tế và tiết kiệm năng lượng, khi chi phí năng lượng cho quá trình tích vật liệu, sao cho phần lớn vật liệu phải nằm trong gầu xúc và phần rơi vãi ra ngoài là ít nhất.

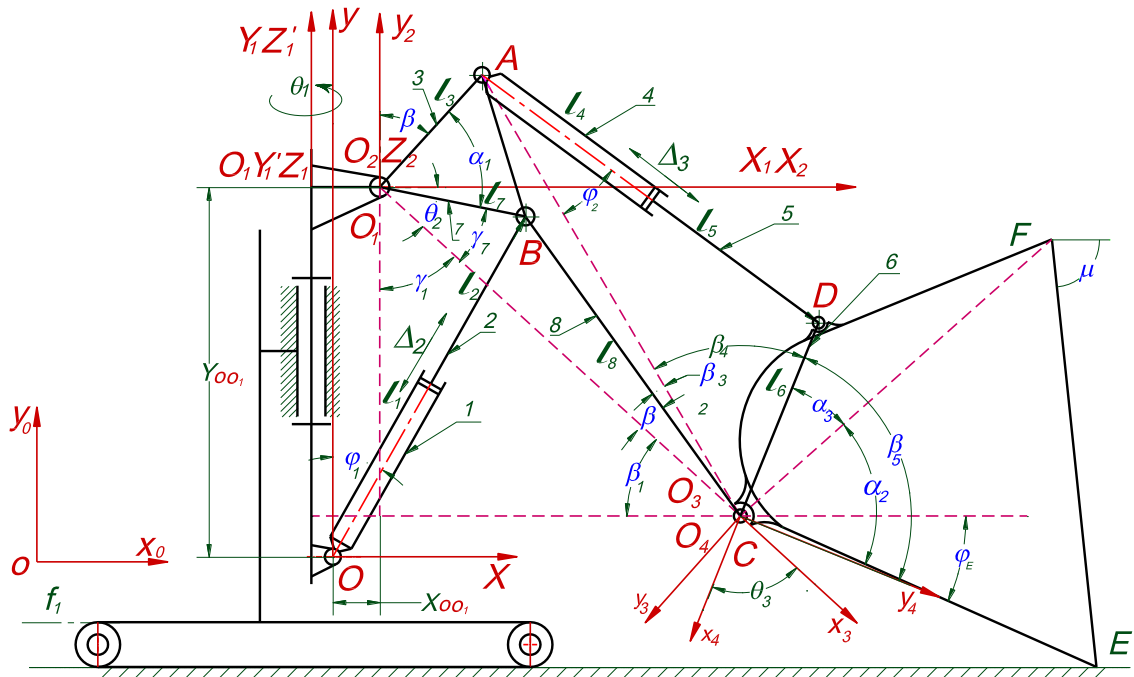
Phân tích các thông số phụ thuộc đã đưa ra trên đồ thị, Hình 2.15, nhận thấy rằng, khi quay gầu xúc đã ấn sơ bộ vào trong đồng ĐNM đến chiều sâu  $(0,8...0,9)L_{SG}$ , thể tích khối lắng trụ ĐNM dịch chuyển ABE, Hình 2.11 bằng hoặc lớn hơn dung tích của gầu xúc. Nếu sau khi ấn sơ bộ đến chiều sâu này tiếp tục tạo cho gầu xúc một chuyển động, sao cho rãnh của gầu xúc chuyển động theo quỹ đạo trùng hoặc đường gần với dịch chuyển chính diện theo mặt phẳng BE, Hình 2.11, thì toàn bộ thể tích của khối lắng trụ ĐNM sẽ dịch chuyển đi vào trong gầu xúc. Có thể thực hiện phương pháp tích ĐNM này bằng cách phối hợp các thao tác: chuyển động tịnh tiến của xe về phía đồng ĐNM để ấn gầu xúc vào trong đồng ĐNM, kết hợp với quay và nâng gầu xúc.

Khi ấn sơ bộ gầu xúc vào đồng ĐNM đến chiều sâu  $L_{AG}=(0,8...0,9)L_{SG}$ ; ta thấy lực cản phía trước  $F_{ctx}$ ,  $F_{cty}$  giảm đi 25-30%; trọng lượng khối lắng trụ ĐNM dịch chuyển  $G_{VL}$  – giảm đi 40-50%, so với  $L_{AG}=1,1L_{SG}$ . Có nghĩa là, quá trình thực hiện tích ĐNM vào gầu xúc bằng phương pháp kết hợp sẽ giúp giảm đáng kể các thành phần lực cản sinh ra trong quá trình tích ĐNM, và như thế là giảm được tải trọng tác dụng lên thiết bị công tác và lên xe cơ sở. Việc giảm chiều sâu ấn, phối hợp với các thao tác sẽ giảm được thời gian của chu trình công tác. Ngoài ra, phương pháp này không nhất thiết phải dịch chuyển rãnh gầu theo toàn bộ chiều dài của đường dịch chuyển BE Hình 2.11, bởi vì toàn bộ khối lắng trụ ĐNM dịch chuyển dưới tác dụng của tự trọng sẽ đi vào trong gầu xúc từ thời điểm bắt đầu dịch chuyển.

Như vậy, thực hiện xúc ĐNM bằng phương pháp kết hợp đảm bảo tăng độ tin cậy của máy xúc do giảm được tải trọng tác dụng lên thiết bị công tác và xe cơ sở của máy xúc, cũng như tăng năng suất do giảm được thời gian của chu trình công tác, tăng được hệ số điền đầy gầu xúc.

## **2.2. Xác định quỹ đạo làm việc hợp lý của gầu xúc khi xúc, đổ ĐNM trong thi công đường hầm bằng phương pháp khoan nổ**

### 2.2.1. Xác định tọa độ các điểm trên gầu xúc



Hình 2.16. Sơ đồ tính toán xác tọa độ các điểm trên gầu của MXLDB

Như đã trình bày ở phần trên, quá trình xúc ĐNM của máy xúc lật bằng phương pháp phối hợp được thực hiện khi tất cả các cơ cấu chính của máy đều làm việc; Quỹ đạo chuyển động của gầu, phụ thuộc vào tỷ lệ vận tốc chuyển động tịnh tiến của xe về phía trước, vận tốc nâng cần nâng và vận tốc quay gầu xúc. Để xác định được quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc trong đồng ĐNM khi xúc cũng như xác định không gian làm việc của máy trong quá trình đồ ĐNM; trước hết cần phải xác định tọa độ các điểm đặc trưng trên gầu, thông qua các điểm đặc trưng xác định được quỹ đạo chuyển động của gầu trong các quá trình làm việc. Để đạt được mục đích bài toán đặt ra, ta tiến hành xác định tọa độ các điểm A, B, C, D, E theo 2 bậc tự do, khi xi lanh nâng cần và xi lanh làm quay gầu xúc chuyển động với  $\Delta_2, \Delta_3$  là 2 hành trình của xi lanh thủy lực tương ứng. Từ các thông số tọa độ và độ dài các khâu tương ứng được xác định trên Hình 2.16, đưa ra các phương trình động học chuyển động của gầu xúc.

- Tính góc  $\phi_1$  :

Giả sử tại thời điểm khảo sát, các xi lanh đều chuyển động đi ra với quãng đường là  $x_1, x_2$ ; Chọn hệ trục tọa độ OXY như hình vẽ, gốc tọa độ trùng với điểm O, góc  $\varphi_1$  được xác định bởi.

$$\varphi_1 = \angle O_1OB + \angle O_1OY$$

Trong đó  $\angle O_1OB$  được xác định như sau:

+ Xét  $\Delta O_1OB$  theo định lý hàm cosin trong tam giác ta có

$$\cos \angle O_1OB = \frac{O_1O^2 + OB^2 - O_1B^2}{2O_1O \cdot OB}$$

$$O_1O = \sqrt{x_{O_1O}^2 + y_{O_1O}^2}; \quad OB = l_1 + l_2 + x_2 - \Delta_2 \quad x_1 = \int_0^{t_1} v_1 dt;$$

Trong đó  $v_1$  là vận tốc xi lanh 1-2;  $t_1$  là thời gian xi lanh 1-2 hoạt động.

$$\Delta_1 = \text{const}; \quad O_1B = l_7$$

$$\cos \angle O_1OB = \frac{x_{O_1O}^2 + y_{O_1O}^2 + (l_1 + l_2 + x_2 - \Delta_2)^2 - l_7^2}{2 \left[ \sqrt{x_{O_1O}^2 + y_{O_1O}^2} \cdot (l_1 + l_2 + x_2 - \Delta_2) \right]} = a$$

Góc  $O_1OY$  được xác định như sau:

$$\cos \angle O_1OY = \frac{Y_{OO_1}}{OO_1} = \frac{Y_{OO_1}}{\sqrt{x_{OO_1}^2 + Y_{OO_1}^2}}$$

Trong trường hợp này  $x_{O_1O}, y_{O_1O}$  cố định nên  $O_1OY = \text{const}$

$$\Rightarrow \cos \angle O_1OY = \text{const} = b; \quad \varphi_1 = \arccos(a) + \arccos(b)$$

- Xác định tọa độ điểm B:

Điểm liên kết xi lanh nâng cần và cần; sử dụng công thức hình chiếu trong tọa độ đề các Oxy.

$f(t)$  quy luật chuyển động của xe.

$$\begin{cases} x_B = f(t) + OB \cdot \sin \varphi_1 = f(t) + (l_1 + l_2 + x_1 - \Delta_1) \sin \varphi_1 \\ y_B = OB \cdot \cos \varphi_1 = (l_1 + l_2 + x_1 - \Delta_1) \cos \varphi_1 \end{cases} \quad (2.33)$$

- Xác định tọa độ điểm A:

Điểm liên kết cố định của xi lanh xoay gầu xúc trên cần gầu xúc. Gọi  $\alpha_1$  là góc hợp bởi  $O_1A$  và  $O_1B$  cùng nằm trên cần nên góc  $\alpha_1$  là hằng số.

$$\alpha_1 = \angle AO_1B = \text{const}$$



Gọi  $\beta$  là góc hợp bởi  $O_1A$  và trục  $Oy$ ; Góc này được xác định như sau:

$$\tan(\alpha_1 + \beta) = \frac{x_{O_1B}}{y_{O_1B}} = \frac{x_{OB} - x_{OO_1}}{y_{OB} - y_{OO_1}} = \frac{O_1B \cdot \sin \varphi_1 - x_{OO_1}}{O_1B \cdot \cos \varphi_1 - y_{OO_1}} = d$$

$$\alpha_1 + \beta = \arctan(d); \quad \beta = \arctan(d) - \alpha_1$$

Hệ phương trình xác định tọa độ điểm A.

$$\begin{cases} x_A = f(t) + x_{OO_1} + O_1B \cdot \sin \beta \\ y_A = y_{OO_1} + O_1B \cdot \cos \beta \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x_A = f(t) + x_{OO_1} + l_3 \cdot \sin \beta \\ y_A = y_{OO_1} + l_3 \cdot \cos \beta \end{cases} \quad (2.34)$$

- Xác định tọa độ điểm C:

Điểm liên kết cần và gầu xúc, để xác định tọa độ điểm C, ta cần xác định được góc hợp bởi giữa  $O_1C$  với phương  $Ox$  hoặc  $O_1C$  với phương  $Oy$ . Ở mô hình này, tuân theo logic của bài toán. Ta xác định góc giữa  $O_1C$  với phương  $Oy$ ;  $(\angle O_1C, OY) = \gamma_1$

Gọi  $\gamma_7$  là góc hợp bởi  $O_1C$  và  $O_1B$ . Do các điểm  $O_1, B, C$  cùng thuộc 1 khâu nên  $\gamma_7$  là hằng số.  $\gamma_7$  được xác định như sau:

Xét tam giác  $O_1BC$ , áp dụng định lý hàm cosin trong tam giác ta có

$$\cos \gamma_7 = \frac{O_1B^2 + O_1C^2 - BC^2}{2 \cdot O_1B \cdot O_1C} = \frac{l_7^2 + l_{O_1C}^2 - l_8^2}{2 \cdot l_7 \cdot l_{O_1C}} = e; \quad \gamma_7 = \arccos(e);$$

Cuối cùng góc  $\gamma_1$  ta hoàn toàn xác định được

$$\gamma_1 + \gamma_7 + \alpha_1 + \beta = \pi \Rightarrow \gamma_1 = \pi - \gamma_7 - \alpha_1 - \beta;$$

$\Rightarrow$  hệ phương trình xác định tọa độ của điểm C

$$\begin{cases} x_C = f(t) + O_1C \cdot \sin \gamma_1 \\ y_C = O_1C \cdot \cos \gamma_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x_C = f(t) + l_{O_1C} \cdot \sin \gamma_1 \\ y_C = l_{O_1C} \cdot \cos \gamma_1 \end{cases} \quad (2.35)$$

- Xác định tọa độ điểm D:

Điểm D liên kết xi lanh xoay gầu xúc với gầu xúc, muốn xác định được điểm này, ta cần xác định được góc giữa CD với phương nằm ngang, ta đặt là góc  $\beta_5$ . Để xác định được  $\beta_5$  ta làm như sau:

$$\text{Gọi } \beta_1 = (\angle O_1B, Ox); \quad \beta_2 = \angle O_1CB; \quad \beta_3 = \angle BCA; \quad \beta_4 = \angle ACD$$

$$\Rightarrow \beta_5 = \pi - \beta_1 - \beta_2 - \beta_3 - \beta_4$$

Trong đó:  $\beta_1 = \frac{\pi}{2} - \gamma_1$ ; ( $\gamma_1$  xác định ở trên);

$\beta_2 = \text{const}$  do  $O_1, B, A, C$  cùng 1 khâu.

$$\text{Với } \cos\beta_3 = \frac{BC^2 + AC^2 - AB^2}{2 \cdot BC \cdot AC} = \frac{l_8^2 + l_{AC}^2 - l_{AB}^2}{2 \cdot l_8 \cdot l_{O_1C}}$$

$\beta_3 = \text{const}$  do  $O_1, B, A, C$  cùng 1 khâu

$$\cos\beta_3 = \frac{BC^2 + AC^2 - AB^2}{2 \cdot BC \cdot AC} = \frac{l_8^2 + l_{AC}^2 - l_{AB}^2}{2 \cdot l_8 \cdot l_{O_1C}}$$

Xác định  $\beta_4$  ta làm như sau: Xét  $\triangle ADC$ , theo định lý hàm cô sin ta có:

$$\cos\beta_4 = \frac{AC^2 + CD^2 - AD^2}{2 \cdot AC \cdot CD} = \frac{l_6^2 + l_{AC}^2 - AD^2}{2 \cdot l_6 \cdot l_{AC}}$$

$AD$  là 1 khâu có độ dài thay đổi  $\Rightarrow \beta_4$  thay đổi,  $AD = l_4 + l_5 + x_3 - \Delta_3$ ;  $x_3$  di chuyển xi lanh 3;  $\Delta_3$  hành trình của xi lanh 3 (lúc này ta giả sử xi lanh 3 lúc đầu ở vị trí đóng  $\Delta_3 = 0$ ); Gọi  $v_3$  là vận tốc của pistông xi lanh 3.

$$\Rightarrow x_3 = \int_0^{t_2} v_3 \cdot dt \quad \text{với } t_2 \text{ là thời gian làm việc của xi lanh quay gầu xúc}$$

$$\Rightarrow AD = l_4 + l_5 + \int_0^{t_2} v_3 \cdot dt - \Delta_3$$

$$\Rightarrow \cos\beta_4 = \frac{l_{AC}^2 + l_6^2 - (l_4 + l_5 + \int_0^{t_2} v_3 \cdot dt - \Delta_3)^2}{2 \cdot l_{AC} \cdot l_6}$$

Các góc  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  khi đó  $\beta_5$  là hoàn toàn xác định,

$$\text{vậy } \beta_5 = \pi - \beta_1 - \beta_2 - \beta_3 - \beta_4$$

$\Rightarrow$  hệ phương trình xác định tọa độ điểm D

$$\begin{cases} x_D = x_C - DC \cdot \sin\beta_5 \\ y_D = y_C + DC \cdot \cos\beta_5 \end{cases} \quad (2.36)$$

- Xác định điểm E:

Điểm tiếp xúc giữa răng gầu xúc và ĐNM muốn xác định được điểm E ta xác định các thông số:

Gọi  $\alpha_2$  là góc tạo bởi CD và CE;  $\Rightarrow \alpha_2 = \text{const.}$

Gọi  $\varphi_E$  là góc hợp bởi giữa CE và Ox

$$\varphi_E = \alpha_2 - \beta_5 \quad (2.37)$$

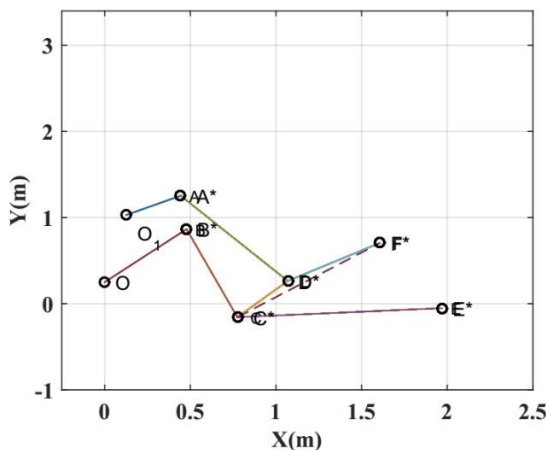
$$\Rightarrow \begin{cases} x_E = x_C + CE \cdot \cos \varphi \\ y_E = y_C - CE \cdot \sin \varphi \end{cases} \quad (2.38)$$

Tổng kết lại cơ hệ xác định bởi hệ các phương trình sau: Các phương trình (2.33-2.38), là hệ phương trình xác định quỹ đạo của cần và gầu xúc; Phương trình (2.37) xác định góc xúc của gầu xúc với phương ngang OX.

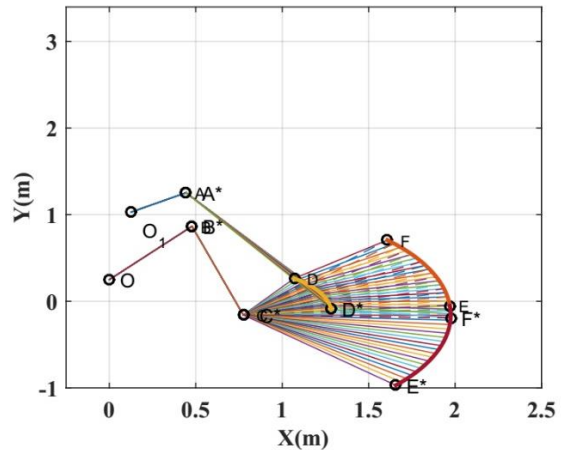
Thuật toán đã phân tích ở trên là cơ sở xác định quỹ đạo chuyển động của gầu xúc trong các trường hợp, thông qua đặc tính vận tốc của các điểm đặc biệt trên gầu.

Kết quả khảo sát quỹ đạo chuyển động của gầu xúc trên MXLDB VMC E500-1

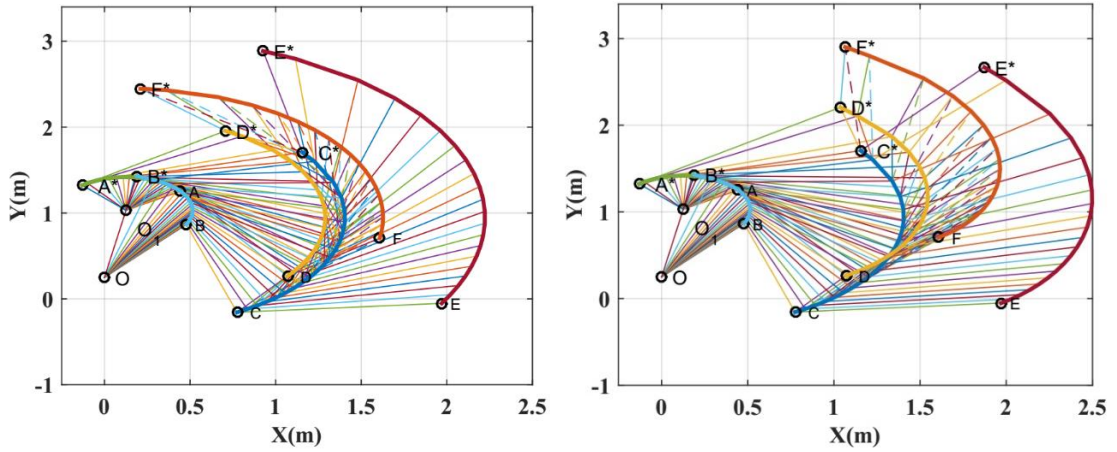
- Một số dữ liệu khảo sát: Kích thước máy: dài x rộng x cao (4,910 x 1,530 x 2,810)m; chiều cao khớp chân cần so với mặt bằng máy đứng  $y_{O1} = 0,25\text{m}$ ; chiều dài cần,  $l_7 = 1,280\text{m}$ ; gầu xúc có kích thước dài x rộng (1,53x1,25)m; hành trình làm việc của xi lanh nâng cần: 0,366m, hành trình làm việc của xi lanh quay gầu: 0,425m, hành trình làm việc của xi lanh đổ nghiêng gầu: 0,390m. Khảo sát với các trường hợp tích ĐNM của thiết bị công tác:



a) Quỹ đạo của gầu xúc khi hành trình làm việc của xi lanh nâng cần và quay gầu, ở vị trí ngắn nhất

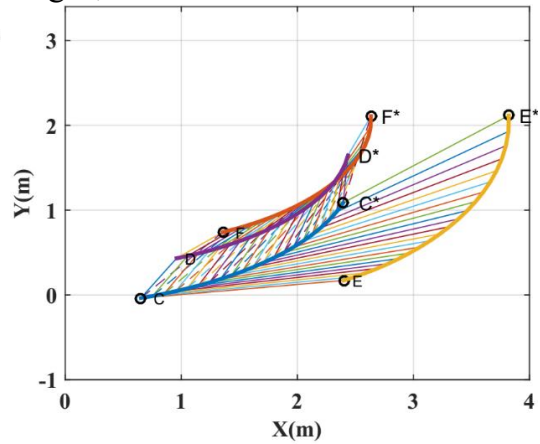
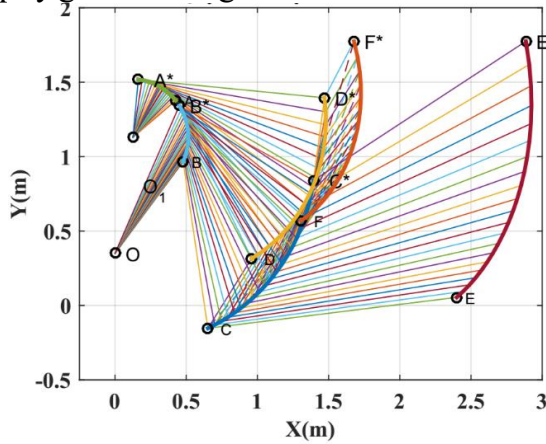


b) Quỹ đạo của gầu xúc khi hành trình làm việc của xi lanh nâng cần ở vị trí ngắn nhất và quay gầu vị trí dài nhất



c) Quỹ đạo của gầu xúc khi hành trình làm việc của xi lanh nâng cần ở vị trí dài nhất và quay gầu ở vị trí ngắn nhất

d) Quỹ đạo của gầu xúc khi hành trình làm việc của xi lanh nâng cần và quay gầu, ở vị trí dài nhất



e) Quỹ đạo của gầu xúc tích ĐNM bằng phương pháp phối hợp: Nâng cần kết hợp quay gầu

f) Quỹ đạo của gầu xúc tích ĐNM bằng phương pháp phối hợp: Nâng cần kết hợp quay gầu và máy xúc tịnh tiến

Hình 2.17. Quỹ đạo chuyển động của gầu xúc trong các trường hợp làm việc.

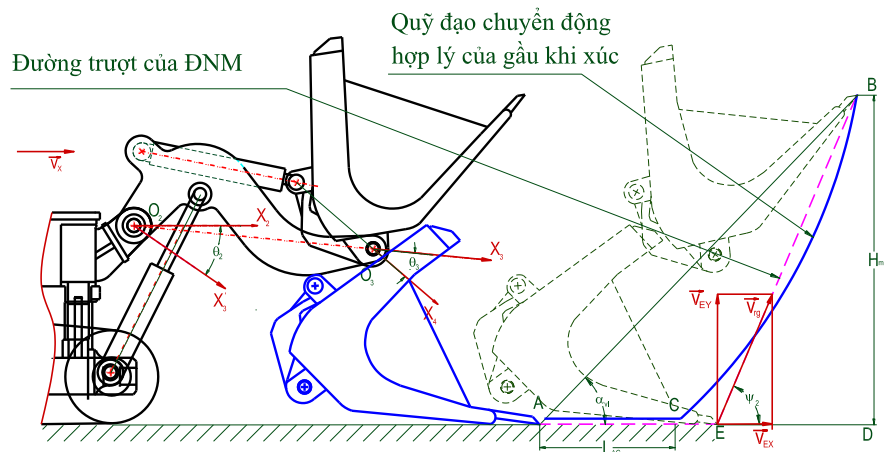
Quá trình tích ĐNM vào gầu xúc có thể thực hiện bằng nhiều phương pháp khác nhau, thực hiện từng động tác riêng lẻ hoặc đồng thời các động tác cùng một lúc, trong Hình 2.17 mô tả quỹ đạo chuyển động của gầu xúc trong các trường hợp xi lanh nâng cần, quay gầu ở vị trí đặc biệt và khi gầu xúc tích ĐNM bằng phương pháp phân đoạn hoặc kết hợp, trên phần mềm Matlab.

Trên Hình 2.17 cho thấy khi thay đổi hành trình làm việc của xi lanh nâng cần, quay gầu sẽ thay đổi khoảng cách OB và AD; đồng thời kết hợp với chuyển động tịnh tiến của máy xúc, làm cho vị trí các điểm trên gầu theo các quỹ đạo chuyển động khác nhau. Với các điểm đặc biệt trên gầu xúc: điểm F

chạm trên của miệng gầu, điểm E là răng gầu và hai điểm C,D trên lưng gầu xúc; thông qua bốn điểm này cho thấy với các vị trí thay đổi của C, D, E, F trong quá trình xúc ĐNM, luôn xác định chính xác vị trí và vẽ lên các đường cong  $CC^*$ ,  $DD^*$ ,  $EE^*$ ,  $FF^*$  chính là vị trí và quỹ đạo chuyển động của gầu xúc ở từng thời điểm và khi xúc ĐNM bằng phương pháp xúc phối hợp.

### 2.2.2. Xác định quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc khi tích ĐNM bằng phương pháp xúc phối hợp

Quỹ đạo chuyển động của răng gầu xúc phụ thuộc vào vận tốc chuyển động của các xi lanh thủy lực nâng cần nâng và quay gầu xúc, cũng như phụ thuộc vào vận tốc chuyển động tịnh tiến về phía trước của máy. Các giá trị lực cản sinh ra trong quá trình xúc ĐNM, cũng như hiệu suất của toàn bộ quá trình công tác của máy xúc lật phụ thuộc rất nhiều vào quỹ đạo chuyển động của gầu xúc trong đồng ĐNM khi xúc ĐNM. Để có quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc, chính là xác định quỹ đạo chuyển động của răng gầu xúc khi xúc ĐNM bằng phương pháp hỗn hợp phải trùng với đường dịch chuyển của ĐNM hoặc gần với đường này Hình 2.18



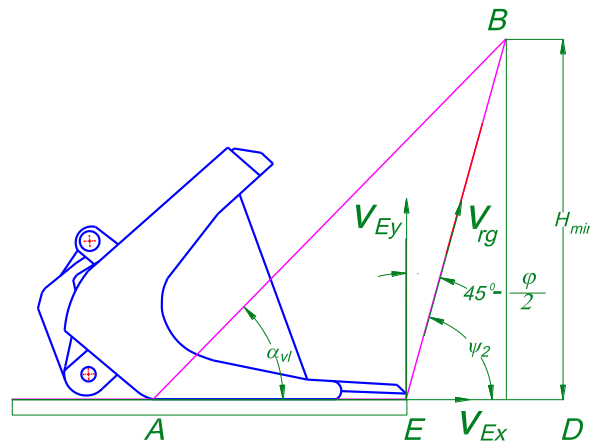
Hình 2.18. Sơ đồ xác định quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu khi xúc ĐNM bằng phương pháp phối hợp

Khi xúc các loại ĐNM khác nhau sẽ có các quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc khác nhau cho từng loại ĐNM. Điều này có thể đạt được bằng cách xác định tỷ số vận tốc chuyển động các cần pít tông của xi lanh thủy lực nâng cần nâng, quay gầu xúc và vận tốc chuyển động của máy xúc. Sơ đồ tính toán để xác định tỷ số vận

tốc được thể hiện trên Hình 2.18, trong sơ đồ các ký hiệu quy ước sau:  $\vec{v}_{rg}$  - vận tốc của răng gầu,  $\vec{v}_{Ex}, \vec{v}_{Ey}$  - các véc tơ vận tốc tuyệt đối của điểm E;  $\vec{v}_x$  - vận tốc chuyển động tịnh tiến của máy xúc.

Quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu cho mỗi loại ĐNM phụ thuộc vào góc ma sát trong  $\varphi$ , và góc xoắn tự nhiên  $\alpha_{vl}$  của loại ĐNM đó. Để có một quỹ đạo cụ thể cho một loại ĐNM, trước hết cần phải xét đến chiều sâu ấn gầu xúc vào trong đồng ĐNM,  $L_{AG}$  và chiều cao tối thiểu đồng ĐNM,  $H_{min}$ . Chiều sâu ấn gầu đã trình bày trong phần 2.1.3, đồ thị Hình 2.15.

Để có thể điền đầy ĐNM vào gầu xúc một cách tốt nhất theo quỹ đạo hợp lý cần tuân thủ điều kiện  $V_M/V_g$ ; trong đó  $V_M$  - thể tích khối lắng trụ ĐNM dịch chuyển;  $V_g$  - dung tích của gầu xúc. Điều kiện này được đảm bảo bởi chiều cao của đồng ĐNM,  $H_{max}$ , chiều cao này phải lớn hơn chiều cao tối thiểu của đồng ĐNM,  $H_{min}$ ;



Hình 2.19 Sơ đồ tính toán để xác định chiều cao nhỏ nhất của đồng ĐNM

Chiều cao cần thiết để tạo được thể tích ĐNM cần thiết của khối lắng trụ Hình 2.23, được xác định theo biểu thức.

$$H_{min} = BE \cdot \sin \psi_2 \quad (2.39)$$

Trong đó  $\psi_2$ - góc giữa đường dịch chuyển của ĐNM và mặt tựa của đồng ĐNM. Giá trị của góc này nằm trong công thức:

$$\psi_2 = 90^\circ - \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}; \quad (2.40)$$

Trong đó  $\varphi$  – góc ma sát trong của ĐNM. Giá trị góc  $\varphi$  đối với các loại ĐNM khác nhau được đưa ra trong Bảng 2.4.

Bảng 2.4. Các thông số của các loại vật liệu rời dạng đồng chính.

Các loại ĐNM sau khoan nổ	Các thông số chính phục vụ tính toán				
	Khối lượng riêng, $\gamma$ kg/m <sup>3</sup>	Góc ma sát ngoài, $\varphi_1$		Góc ma sát trong, $\varphi$	
		rad	độ	rad	độ
Than đá dạng hạt rời	1.200	0,645	37	0,663	38
Đá nỏ mịn đường hầm	1.600	0,610	35	0,764	44

Đại lượng BE được xác định theo định lý sin từ hệ thức:

$$\frac{BE}{\sin \alpha_{vl}} = \frac{L_{AG}}{\sin \left( 180^\circ - \alpha_{vl} - 45^\circ + \frac{\varphi}{2} - 90^\circ \right)} = \frac{L_{AG}}{\sin \left( 45^\circ - \alpha_{vl} + \frac{\varphi}{2} \right)}; \quad (2.41)$$

$$\Rightarrow BE = L_{AG} \frac{\sin \alpha_{vl}}{\sin \left( 45^\circ - \alpha_{vl} + \frac{\varphi}{2} \right)}, \quad (2.42)$$

Như vậy, chiều cao nhỏ nhất của đồng ĐNM khi xúc bằng phương pháp phối hợp sẽ được xác định như sau:

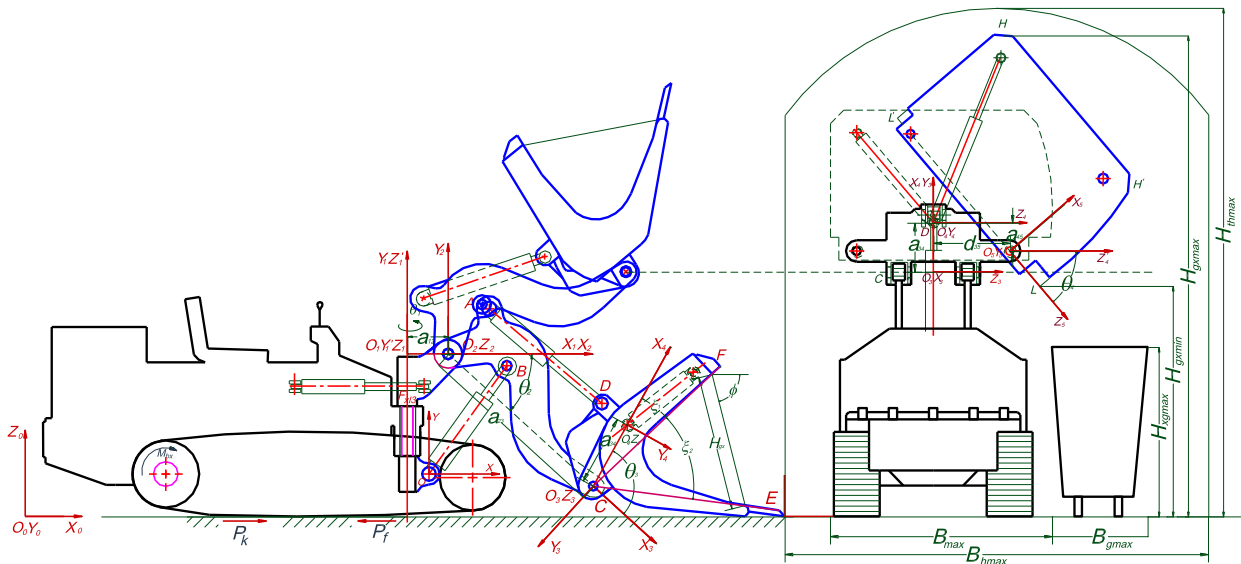
$$H_{\min} = \frac{L_{AG} \sin \alpha_{vl} \cdot \sin \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}{\sin \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} - \alpha_{vl} \right)} \quad (2.43)$$

Trong đó  $\alpha_{vl}$ - góc xoắn tự nhiên của đồng ĐNM,  $\alpha_{vl}=46^\circ$ ;  $\varphi$ - góc ma sát trong của ĐNM xem Bảng 2.3,  $\varphi=44^\circ$ ;  $L_{AG}$  - chiều sâu ấn của gầu xúc vào đồng ĐNM,  $L_{AG}$ , đối với phương pháp xúc phối hợp  $L_{AG}=0,8L_{SG}=0,72m$ . Thay các giá trị vào (2.43) ta có  $H_{\min}=1,75m$ .

Như đã trình bày trên Hình 2.11, khi xúc ĐNM bằng phương pháp phối hợp thì không nhất thiết phải dịch chuyển răng gầu theo toàn bộ chiều dài của đường dịch chuyển BE, bởi vì toàn bộ khối lắng trụ ĐNM dịch chuyển dưới tác dụng của tự trọng sẽ đi vào trong gầu xúc từ thời điểm bắt đầu dịch chuyển; mặt khác, về lý thuyết tiêu chí làm việc hiệu quả nhất của MXLDB phải bảo đảm đồng thời 3 yếu tố: xúc ĐNM với chi phí năng lượng nhỏ nhất, quỹ đạo xúc ngắn nhất, xúc đầy gầu nhất. Trong thực tế, để bảo đảm năng

suất xúc ĐNM cao nhất, Người vận hành có thể điều khiển gầu của MXL di chuyển theo một phần hoặc cả quỹ đạo chuyển động hợp lý vì vậy chiều cao tối thiểu  $H_{\min}$  cũng sẽ được thay đổi theo ( $H_{\min}$  thực tế  $\leq H_{\min}$  lý thuyết).

### 2.2.3. Quỹ đạo chuyển động của gầu xúc trong quá trình đổ ĐNM.



Hình 2.20. Mô hình xác định không gian làm việc của máy xúc đổ bên trong thi công đường hầm.

- (a) liên kết cần-tay gầu trong mặt phẳng dọc thân máy; (b) liên kết tay gầu-gầu xúc trong mặt phẳng vuông góc với thân máy.

Máy xúc lật đổ bên trong quá trình đổ ĐNM, 2 vị trí đặc biệt cần chú ý là: điểm H ứng với vị trí cao nhất, điểm L ứng với vị trí thấp nhất của gầu. Khi đổ ĐNM trong hầm, thì hai điểm đặc biệt này cần phải khống chế để gầu xúc có thể đổ được ĐNM lên xe vận chuyển mà không chạm vào vòm của hầm. Với kết cấu thiết bị công tác và đặc điểm chu kỳ làm việc của MXLDB như trình bày trên Hình 1.10. Nội dung nghiên cứu của phần này tập trung vào quỹ đạo chuyển động của gầu trong giai đoạn đổ ĐNM của máy xúc, giai đoạn này được tính bắt đầu thời điểm điều khiển nâng dần gầu xúc để đạt chiều cao cần thiết có thể đưa được gầu xúc qua thành thùng thiết bị vận chuyển, tiếp đến là điều khiển lật gầu để đổ ĐNM vào xe vận chuyển. Ở đây để đảm bảo điều kiện đổ hết ĐNM trong gầu thì góc nghiêng đổ bên của gầu



phải đảm bảo lớn hơn góc xoắn tự nhiên của ĐNM, tức là  $\theta_4 \geq 44^\circ$ . Mô hình xác định không gian làm việc của máy xúc đồ bên bên trong thi công đường hầm Hình 2.20.

Áp dụng phép biến đổi Denavit và Hartenberg [4],[20], để xác định ma trận thuần nhất của hai khâu liên kề [i và (i+1)], được viết tổng quát là:

$$A_{i-1}^i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \sin\theta_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \cos\theta_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

Trong đó:  $a_i$ - Độ dài của khâu  $i$ ;  $\alpha_i$ - Độ xoắn của khâu  $i$  (góc giữa hai trục nằm trong mặt phẳng vuông góc với  $a_i$ , đo từ trục  $i$  đến trục (i+1) theo hướng phải đối với  $\alpha_i$ ;  $d_i$ - Độ trượt tương đối giữa khâu  $i$  và (i+1);  $\theta_i$ - Góc xác định sự thay đổi hướng giữa khâu (i+1) so với khâu  $i$ .

Đối với MXLDB, các tham số cấu trúc động học  $d_i$ ,  $a_i$ ,  $\alpha_i$  và  $\theta_i$  (với  $i = 0 \div 4$ ) cho các khâu là xác định và được liệt kê trong bảng sau.

Bảng 2.5. Các thông số cấu trúc động học.

Liên kết khâu i	$\alpha_i$	$a_i$	$d_i$	$\theta_i$
0	0	$a_0=a_{01}= O_0O_1 = x$	0	0
1	$90^\circ$	$a_1=a_{12}= O_1O_2$	$d_1= d_{12}$	$\theta_1$
2	0	$a_2=a_{23}=O_2O_3$	$d_2= d_{12}$	$\theta_2$
3	0	$a_3=a_{34}=O_3O_4$	0	$\theta_3$
4	$-90^\circ$	$a_4=a_{45}=O_4 O_5$	$d_4=d_{45}$	$\theta_4$

Thế các tham số trên Bảng 2.5 vào (2.44) ta được các ma trận chuyển thuần nhất cho các khâu của máy xúc:  $A_0^1; A_1^2; A_2^3; A_3^4; A_4^5$  chi tiết trong phụ lục 2.1

Từ các ma trận chuyển thuần nhất áp dụng công thức ta có tọa độ tuyệt đối của các khâu là:  $A_0^1; A_0^2; A_0^3; A_0^4; A_0^5$  chi tiết trong phụ lục 2.2

Tọa độ tương đối của điểm L, H trong tọa độ  $O_5Z_5Y_5$

$$C_5^L = \begin{bmatrix} x_5^L \\ y_5^L \\ z_5^L \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ l_5 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.45) \quad C_5^H = \begin{bmatrix} x_5^H \\ y_5^H \\ z_5^H \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ l_5 \cos(\delta_5) \\ -(b-l_5)\sin(\delta_5) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.46)$$

Tọa độ tuyệt đối của các điểm này là:

$$C_0^H = A_0^5 C_5^H \quad (2.47) \quad C_0^L = A_0^5 C_5^L \quad (2.48)$$

Sau khi nhân ma trận và biến đổi ta được véc tơ xác định vị trí tuyệt đối của hai điểm H, L chi tiết biến đổi trong phụ lục 2.3

Từ hai biểu thức (2.47) và (2.48), chúng ta có thể dễ dàng xác định được quỹ đạo chuyển động của hai 2 điểm móc trên gầu xúc; Với mục đích chính là nghiên cứu xác định không gian làm việc của máy để sử dụng thi công trong điều kiện chật hẹp của đường hầm, vì luận án chỉ tập trung xét ảnh hưởng của các kích thước kết cấu đến việc đáp ứng chức năng xúc và đổ ĐNM lên xe vận chuyển trong thi công đường hầm và sự thay đổi góc nghiêng miệng gầu trong quá trình nâng cần đưa gầu xúc từ vị trí kết thúc quá trình xúc, đến vị trí vị trí đổ; giá trị góc nghiêng này được xác định thông qua sự thay đổi vị trí của 2 điểm F và E theo công thức sau:

$$\phi = \arcsin \frac{Z_{0F} - Z_{0E}}{H_{mg}} = \arcsin \frac{l_{CF} \sin(\theta_{12} + \xi_1) - l_{CE} \sin(\theta_{12} + \xi_2)}{H_{mg}} \quad (2.49)$$

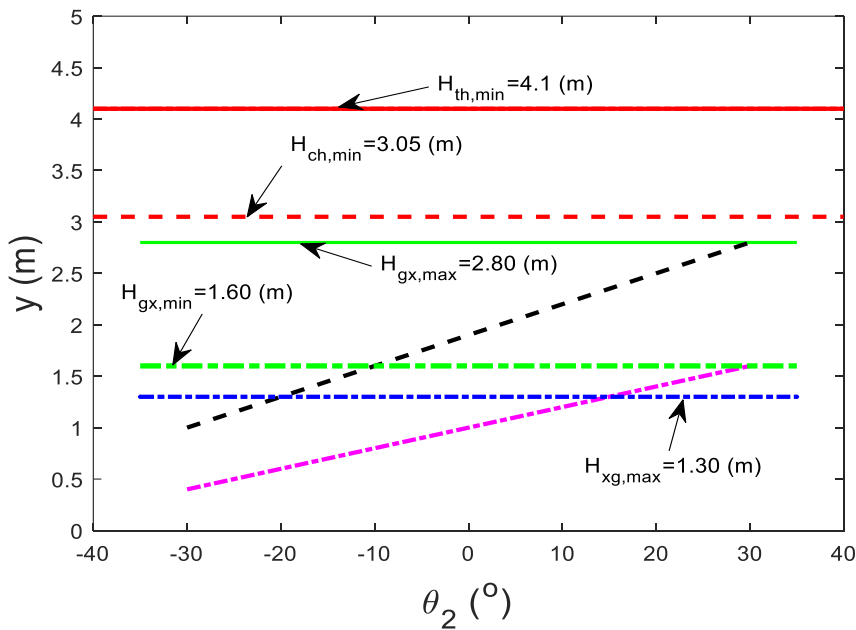
Để miệng gầu luôn luôn song song với mặt đất (tức góc  $\phi=0$ ), quan hệ giữa góc  $\theta_2$  và  $\theta_3$  trong quá trình nâng phải thỏa mãn điều kiện.

$$\tan \theta_{23} = \frac{l_{CE} (\sin \gamma_2 - \sin \gamma_1)}{l_{CF} (\cos \gamma_2 - \cos \gamma_1)} \quad (2.50)$$

### Kết quả tính toán, khảo sát

Kết quả tính toán, khảo sát dựa trên một số dữ liệu sau: Xe chuyển ĐNM thông dụng trong hầm loại có dung tích thùng  $3,32m^3$ , do Công ty Cổ phần Cơ khí mỏ Việt Bắc-VVMI sản xuất với kích thước ngoài lớn nhất, dài x rộng x cao): (3,3 x 1,3 x 1,3)m; loại có dung tích thùng  $1m^3$  kích thước ngoài lớn nhất (dài x rộng x cao):(1,7 x 1,2 x 0,8)m. Đường hầm Hình 1.1 với kích

thước,  $B_h \times H_h$ : ch- Cửa hầm (2,4m×3,6m); th- Thân hầm (4,7m×4,1m). Máy xúc lật đổ bên VMC E500-1, có kích thước trong bảng phụ lục 1, giá trị phục vụ tính toán cụ thể như sau: Chiều cao khớp chân cần so với mặt bằng máy đứng  $Z_{002}=1,1\text{m}$ , chiều dài cần,  $a_{23}= 1,28\text{m}$ ; chiều rộng gầu xúc  $B_{gx}$  1,53m, chiều cao gầu xúc  $H_{gx}$ , chiều sâu gầu xúc  $L_{SG}$ . Khảo sát với góc nghiêng cần thay đổi trong phạm vi  $-35^\circ$  đến  $+35^\circ$ . Kết quả tính toán trên Hình 2.21

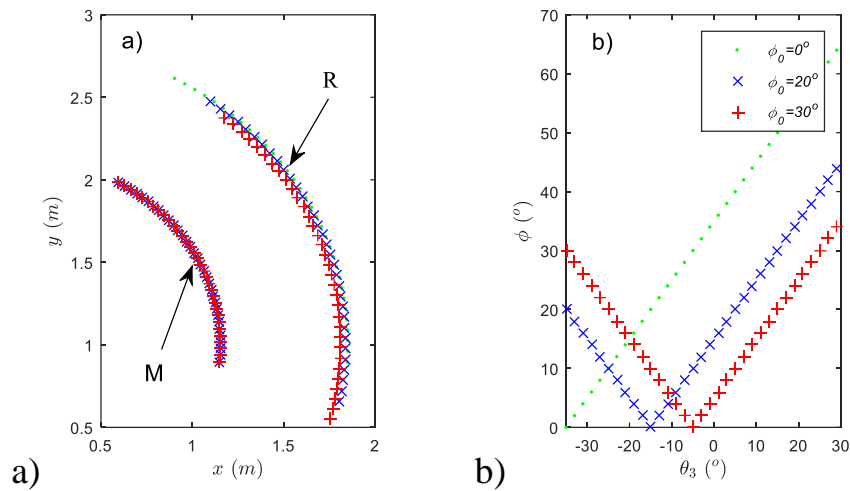


$H_{th,max}$  - chiều thân hầm thấp nhất;  
 $H_{ch,min}$  - chiều cao cửa hầm thấp nhất;  
 $H_{gx,max}$  - chiều cao gầu xúc lớn nhất;  
 $H_{gx,min}$  - chiều cao gầu xúc thấp nhất;  
 $H_{xg,max}$  - chiều cao xe goong lớn nhất;

Hình 2.21. Sự thay đổi chiều cao của gầu theo giá trị góc nâng cần

Trên Hình 2.21 cho thấy mỗi giá trị của  $\theta_2$  sẽ cho giá trị của  $H$  và  $L$  tương ứng (tạo thành hai đường  $Z_{0H}$ ,  $Z_{0L}$ );  $H_{gxmin}$  chính là chiều cao tối thiểu của đáy gầu nâng lên để có thể vượt qua thành thùng của xe chở ĐNM,  $H_{gxmax}$  là độ cao giới hạn của trần hầm tại vị trí máy xúc làm việc đồng thời cũng là vị trí cao nhất mà răng gầu xúc chạm tới; Với cửa hầm và thân hầm, máy hoàn toàn có thể làm việc với góc nâng cần tối đa  $34^\circ$  mà chưa chạm tới vòm hầm.

Trong phạm vi góc quay cần  $-35^\circ \leq \theta_2 \leq 30^\circ$ , cố định góc  $\theta_3$ : kết quả khảo sát góc nghiêng miệng gầu thể hiện trên Hình 2.22 được tính toán trong 3 trường hợp: ứng với góc nghiêng ban đầu của miệng gầu tại thời điểm kết thúc quá trình xúc so với phương ngang song song mặt đất là  $0^\circ$ ,  $20^\circ$  và  $30^\circ$  và kết thúc quá trình nâng trước khi đổ ĐNM tương ứng là  $65^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $35^\circ$ .



Hình 2.22 a) Quỹ đạo chuyển động của gầu; b) sự thay đổi góc nghiêng miệng gầu trong quá trình nâng cần; R-đỉnh răng gầu, M - miệng gầu

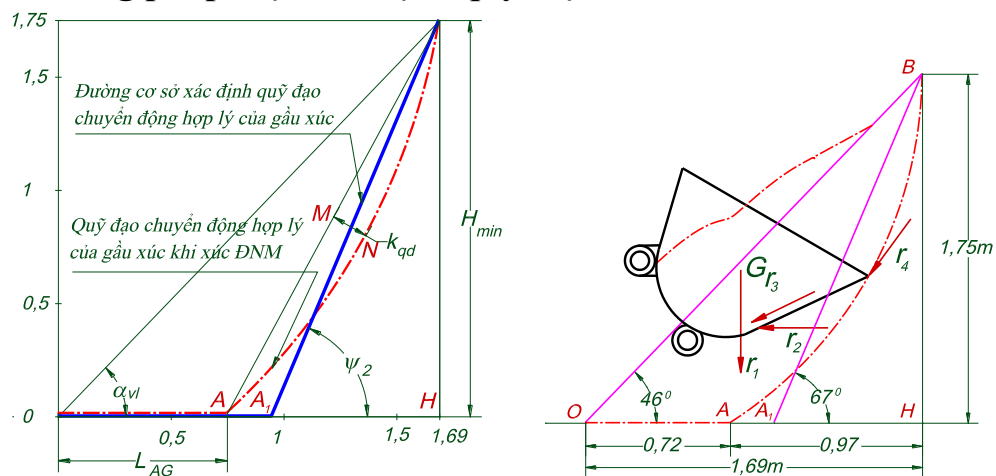
Với trường hợp sử dụng xi lanh quay gầu để điều khiển miệng gầu luôn song song với mặt đất (tức  $\phi = 0$ ). Trong công thức tính toán sự thay đổi góc  $\theta_3$  theo góc  $\theta_2$  khi nâng gầu từ vị trí bắt đầu lên vị trí kết thúc quá trình nâng, có thể thấy để miệng gầu luôn song song với mặt đất thì góc quay của cần và góc quay của gầu phải bằng nhau. Với góc xoay của cần là  $65^\circ$ ,  $-35^\circ \leq \theta_2 \leq 30^\circ$  thì hành trình điều khiển xi lanh ra vào tay gầu trong quá trình nâng gầu xúc cần phải đảm bảo góc xoay của gầu đạt  $\Delta\theta_3 = 65^\circ$ . Xét tam giác ACD, Hình 2.20 với 2 kích thước cố định là  $AC=1,34\text{m}$  và  $CD=0,55\text{m}$ , giả sử góc  $\angle ACD = 18^\circ$  hành trình xi lanh quay gầu ở vị trí ngắn nhất và góc  $\angle ACD = 71^\circ$  hành trình xi lanh quay gầu ở vị trí dài nhất. Khi đó có thể tính được hành trình làm việc của xi lanh tay gầu là  $0,39\text{m}$  ( $l_{AD_{\max}} - l_{AD_{\min}}$ ). Riêng đối với xi lanh nâng cần, hành trình của xi lanh này có thể tìm được nhờ vào quan hệ chiều dài các cạnh của tam giác  $OO_2B$ , với kích thước  $l_{OO_2}=0,79\text{m}$  và  $l_{O_2B} = 0,39\text{m}$ , hành trình của xi lanh này tìm được  $0,44\text{m}$  ( $l_{O_2B_{\max}} - l_{O_2B_{\min}}$ ).

Có thể thấy rằng kích thước bề ngang của gầu xúc ảnh hưởng rất lớn đến chiều cao của điểm H và điểm L khi đổ ĐNM của máy xúc lật đổ bên trong thi công đường hầm Hình 2.20. Tuy nhiên kích thước này chúng ta không thể chọn

nhỏ hơn bề rộng cơ sở. Kết quả tính toán chỉ ra rằng, với đặc điểm đồ bên nên góc quay gầu xúc chỉ cần thay đổi trong phạm vi nhỏ  $\theta_3 \leq 65^\circ$  để thực hiện nhiệm vụ điều chỉnh độ nghiêng của miệng gầu, tương đối khác biệt với chức năng xúc và đổ so với máy xúc lật thông thường. Chính vì lý do đó, xi lanh tay gầu liên kết trực tiếp vào gầu xúc, kết quả tính toán hành trình làm việc 0,39m của xi lanh quay gầu đã khẳng định tính khả thi của kết cấu nối liên kết xi lanh quay gầu-gầu không cần qua các thanh trung gian; giá trị góc nâng cần  $-35^\circ \leq \theta_2 \leq 30^\circ$  và tính toán hành trình xi lanh cần ở giá trị 0,44m, cho thấy máy xúc lật đồ bên bị khống chế khi thực hiện đổ trước so với máy xúc thông thường.

### 2.3. Xác định quy luật điều khiển khâu dẫn đáp ứng quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc khi xúc ĐNM

#### 2.3.1. Phương pháp luận xác định quy luật điều khiển khâu dẫn



Hình 2.23. Quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc khi xúc ĐNM

Từ đường quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc trong quá trình tích ĐNM bằng phương pháp hỗn hợp đã trình bày trong mục 2.4.2 và kết quả tính toán thiết lập các ma trận chuyển thuận nhất trình bày trong mục 2.4.3. Sử dụng thuật toán, giải bài toán động học ngược xác định sự thay đổi của các góc  $\theta_2$ ;  $\theta_3$  và dịch chuyển của xe thông qua vận tốc của các ly lanh và vận tốc chuyển động tịnh tiến của xe; để tạo ra được quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc khi xúc ĐNM bằng phương pháp xúc phối hợp như luận án đề xuất, Hình 2.23.

Tọa độ đỉnh răng gầu được xác định bởi  $x_E, y_E$ , trong công thức (2.38); Ký hiệu véc tơ suy rộng của cơ hệ  $\theta = [x \ \theta_2 \ \theta_3]^T$  và véc tơ tọa độ vị trí gầu xúc  $\varepsilon = [x_E \ y_E \ x_F \ y_F]^T$ . Kết quả động học thuận  $\varepsilon = \Gamma(\theta)$  được tính theo:

$$\Gamma(\theta) = [\Gamma_1(\theta) \ \Gamma_2(\theta) \ \Gamma_3(\theta) \ \Gamma_4(\theta)]^T = [x_E \ y_E \ x_F \ y_F]^T \quad (2.51)$$

### 2.3.2. Thuật toán giải bài toán động học ngược

Nhiệm vụ của bài toán động học ngược là phải xác định được các giá trị  $\theta_2, \theta_3, x$  để đạt được giá trị  $\varepsilon$  như mong muốn, tức là thiết lập được mối quan hệ  $\theta = \Gamma^{-1}(\varepsilon)$  xuất phát từ công thức (2.51), đạo hàm hai vế biểu thức  $\varepsilon = \Gamma(\theta)$  theo thời gian:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\partial \Gamma}{\partial \theta} \dot{\theta} = J(\theta) \dot{\theta} \quad (2.52)$$

Trong đó  $J(\theta)$  là ma trận Jacobian cỡ  $2 \times 3$  với

$$J(\theta) = \frac{\partial \Gamma}{\partial \theta} \quad (2.53)$$

Giả sử ma trận tựa nghịch đảo của ma trận chữ nhật  $J(\theta)$  có dạng:

$$J^+(\theta) = J^T(\theta) [J(\theta)J^T(\theta)]^{-1} \quad (2.54)$$

Nhân hai vế của phương trình (2.47) với biểu thức  $J(\theta)$  ta nhận được

$$J^+(\theta(t)) \dot{\varepsilon}(t) = \dot{\theta}(t) \quad (2.55)$$

Véc tơ gia tốc các tọa độ suy rộng được xác định bằng cách đạo hàm hai vế (2.55)

$$\ddot{\theta}(t) = \dot{J}^+(\theta(t)) \dot{\varepsilon}(t) + J^+(\theta(t)) \ddot{\varepsilon}(t) \quad (2.56)$$

Ma trận  $\dot{J}^+(\theta(t))$  được xác định như sau:

$$J^+(\theta) J(\theta) J^T(\theta) = J^T(\theta) \quad (2.57)$$

Đạo hàm hai vế của phương trình (2.52), ta nhận được

$$\dot{J}^+(\theta) J(\theta) J^T(\theta) + J^+(\theta) [\dot{J}(\theta) J^T(\theta) + J(\theta) \dot{J}^T(\theta)] = \dot{J}^T(\theta) \quad (2.58)$$

Biến đổi phương trình (2.53) ta nhận được ma trận  $\dot{J}^+(\theta(t))$

$$\dot{J}^+(\theta) = (\dot{J}^T(\theta) - J^+(\theta) [\dot{J}(\theta) J^T(\theta) + J(\theta) \dot{J}^T(\theta)]) (J(\theta) J^T(\theta))^{-1} \quad (2.59)$$

Để xác định được  $\theta(t)$  trong (2.55) và (2.56) ta chia khoảng thời gian làm việc của gầu xúc  $[0 T]$  thành  $N$  khoảng bằng nhau:

$$\Delta t = T/N, \text{ ta có } t_{k+1} = t_k + \Delta t \text{ với } k=1,2,\dots,N-1$$

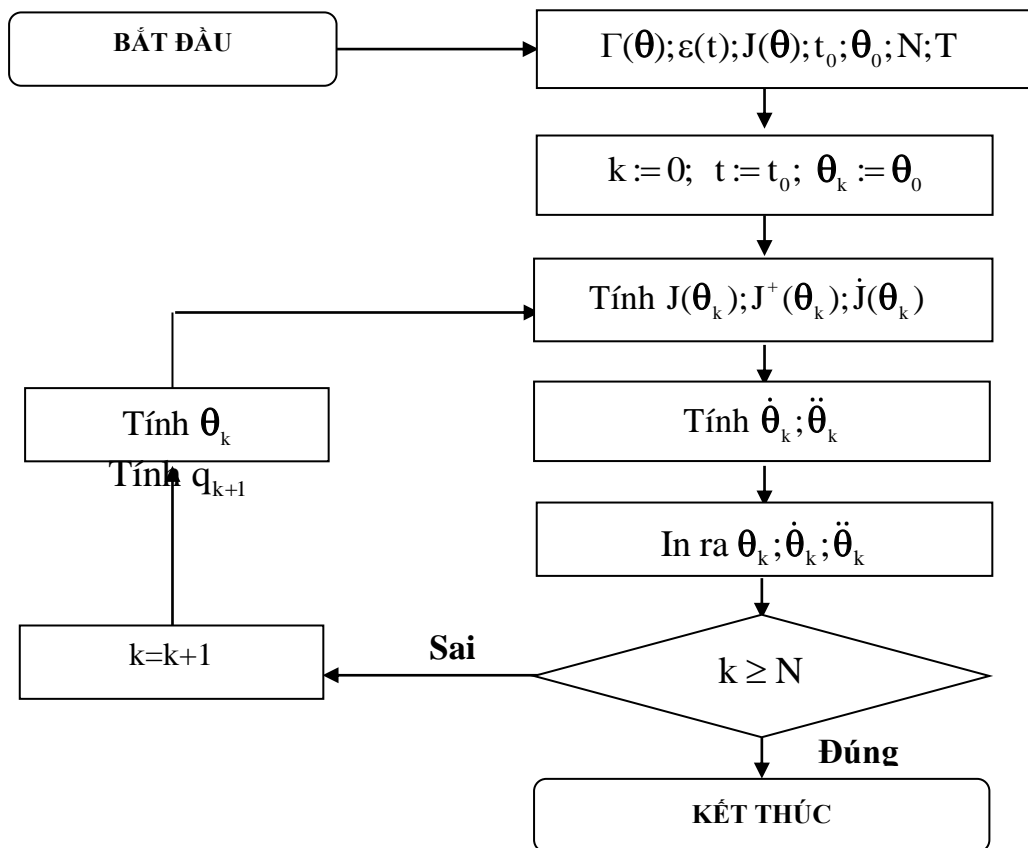
Áp dụng khai triển Taylor đối với  $\theta_{k+1}$  quanh  $\theta_k$  nhận được:

$$\theta_{k+1} = \theta(t_k + \Delta t) = \theta_k + \dot{\theta}_k \Delta t + \ddot{\theta}_k (\Delta t)^2 + \dots \quad (2.60)$$

Thế biểu thức (2.55) vào (2.60) và bỏ qua vô cùng bé bậc lớn hơn 1, (2.60) trở thành:

$$\theta_{k+1} = \theta_k + J^+(\theta_k) \dot{\epsilon}_k \Delta t \text{ với } k=1,2,\dots,N-1 \quad (2.61)$$

Như vậy quy luật chuyển động của các khâu dẫn được xác định theo thuật toán gồm các bước như dưới đây



Hình 2.24. Sơ đồ khối thuật toán giải bài toán động học ngược

### 2.3.3. Quy luật thay đổi của các khâu dẫn để tạo ra quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc khi xúc ĐNM.

Thông số đầu vào phục vụ tính toán:  $a_1=1,28\text{m}$ ;  $a_2=0,54\text{m}$ ; phạm vi di chuyển của xe là  $x=1,69\text{m}$  ( $0,72\text{m}$  ban đầu vận tốc của xe thay đổi từ 0 đến max sau đó

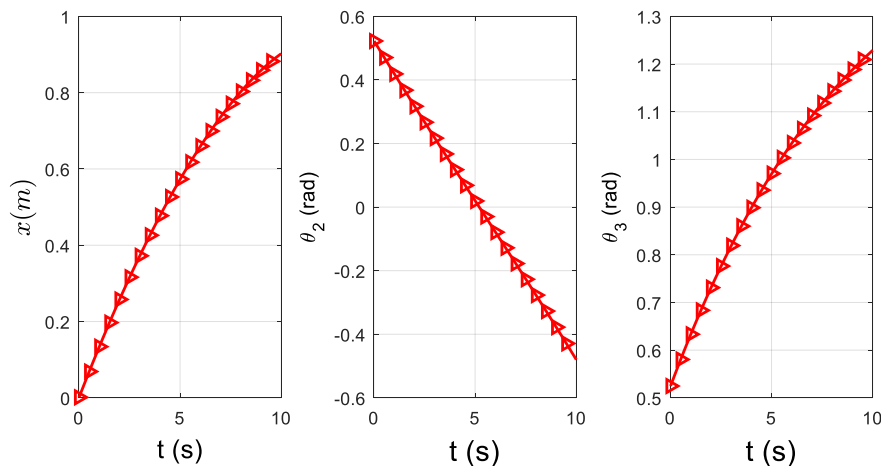
giảm dần chuyển sang giai đoạn 2 vừa di chuyển vừa nâng cần, quay gầu; máy dịch chuyển từ 0,72m đến 1,69m trong giai đoạn này vận tốc của máy có xu hướng giảm dần và dừng lại khi đi hết quãng đường 1,69m); phạm vi làm việc của góc nâng cần  $\theta_2=29\pi/180$  (từ  $-7\pi/36$  đến  $-\pi/30$ ) tính theo trục  $O_2 X_2$ ; phạm vi làm việc góc quay gầu  $\theta_3=17\pi/90$  (từ  $-23\pi/60$  đến  $-7\pi/36$ ) tính theo trục  $O_3 X_3$ ; khoảng di chuyển của máy là 1,69m; thời gian làm việc 20 giây (đoạn đầu 7 giây, đoạn sau 13 giây). Đoạn đầu các góc không đổi.

Kết quả khảo sát khi tích ĐNM bằng phương pháp phối hợp theo công thức mô tả quy luật thay đổi của điểm E, F như công thức (2.64) theo quỹ đạo mong muốn định trước được thể hiện như hình Hình 2.23.

$$(E) \begin{cases} x_E = 2,5 + 1,5 \cos\left(\frac{84\pi t}{180T}\right) \\ y_E = 2,7 - 1,5 \sin\left(\frac{84\pi t}{180T}\right) \end{cases} \quad (F) \begin{cases} x_F = 3,6 + 2 \cos\left(\frac{84\pi t}{180T}\right) \\ y_F = 2 + 1,5 \sin\left(\frac{84\pi t}{180T}\right) \end{cases} \quad (2.62)$$

Sử dụng các bước tính toán đã mô tả ở trên kết quả nhận được là quy luật động học tương ứng của các khâu dẫn để điểm răng gầu E chuyển động theo các quỹ đạo định trước trong thời gian khảo sát  $T=10$  giây.

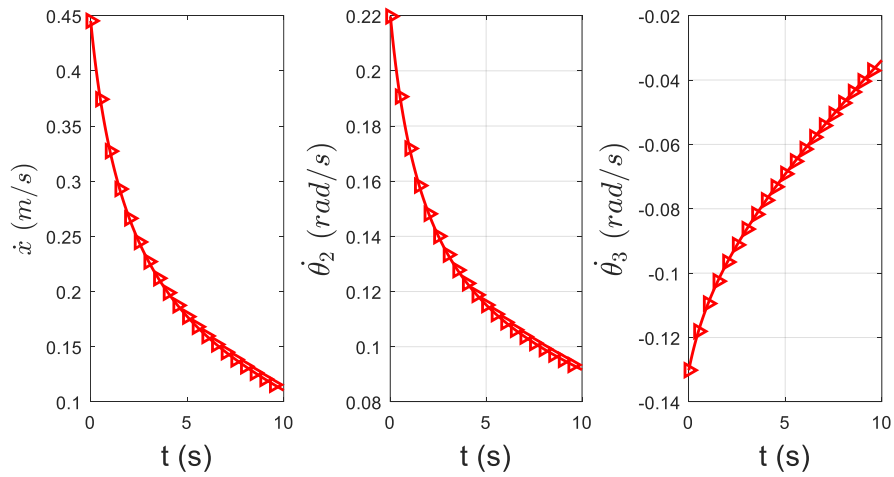
1. Quy luật chuyển động của các khâu:



Hình 2.25. Quy luật dịch chuyển của các khâu dẫn

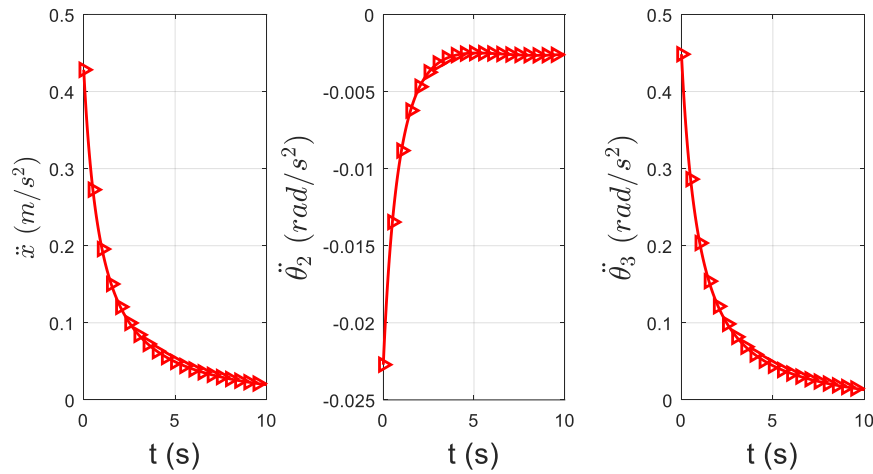
2. Quy luật thay đổi vận tốc các khâu





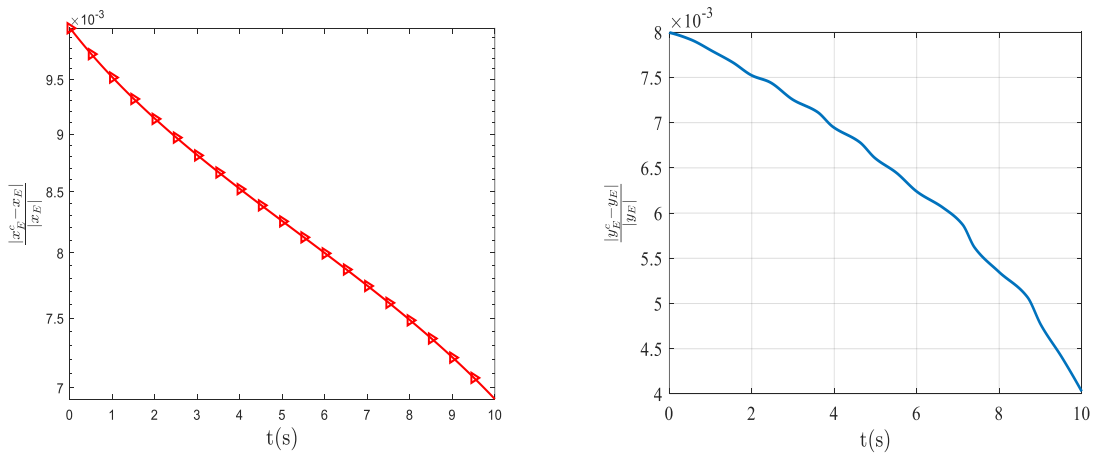
Hình 2.26. Quy luật vận tốc chuyển động của các khâu

### 3. Quy luật thay đổi gia tốc các khâu



Hình 2.27. Quy luật gia tốc chuyển động của các khâu

### 4. Sai số vị trí của điểm răng gài E theo thời gian khảo sát



Hình 2.28 Sai số vị trí của đỉnh răng gài theo thời gian khảo sát

Kết quả sai số vị trí răng gầu trên Hình 2.28 cho thấy sai số đều không vượt quá giá trị  $10^{-3}$ , lưu ý rằng giá trị của  $\varepsilon^c = [x_R^c \ y_R^c]^T$  được tính theo giá trị của quy luật  $\theta$  tìm được ở thuật toán

Hình 2.24. Kết quả giải bài toán động học ngược (dịch chuyển, vận tốc, gia tốc) gầu xúc lắp trên máy xúc lật đổ bên thể hiện trên các Hình 2.25-Hình 2.27. Bằng việc xây dựng thuật toán luận án đã tìm ra các ma trận chuyển trung gian và quy luật động học của 3 khâu dẫn: cần, gầu và di chuyển máy để đáp ứng tọa độ điểm miệng gầu và răng gầu đạt được quỹ đạo cho trước. Sai số vị trí thể hiện trong Hình 2.28 cho thấy các giá trị này nhỏ hơn  $10^{-3}$  giá trị này nằm trong giới hạn sai số cho phép của thiết bị xúc.

### Kết luận chương 2

1. Nghiên cứu quá trình tương tác cho thấy, các lực cản sinh ra trong quá trình xúc ĐNM bằng gầu xúc trên máy xúc lật bao gồm: lực cản răng gầu  $F_{rgx}, F_{rgy}$ ; lực cản ấn gầu xúc vào trong đồng ĐNM phía trước  $F_{ctx}, F_{cty}$ ; lực cản bên  $F_{cb}$ ; trọng lượng khối lăng trụ vật liệu dịch chuyển  $G_{VL}$ . Giá trị của các lực này phụ thuộc vào tính chất cơ lý của ĐNM và tỷ lệ chiều sâu ấn gầu  $L_{AG}/L_{SG}$ . Chiều sâu ấn gầu hợp lý nhất nằm trong khoảng,  $L_{AG}=(0,8...0,9)L_{SG}$ ; Khi  $L_{AG}=1,1L_{SG}$ , ta thấy lực cản phía trước  $F_{ctx}, F_{cty}$  tăng 25-30%; trọng lượng khối lăng trụ ĐNM dịch chuyển  $G_{VL}$  – tăng 40-50%; có nghĩa là, quá trình thực hiện tích ĐNM vào gầu xúc bằng phương pháp kết hợp sẽ giúp giảm đáng kể các thành phần lực cản sinh ra trong quá trình tích ĐNM.

2. Bằng phương pháp nghiên cứu động học thuận, xác định quỹ đạo chuyển động của gầu xúc MXLDB khi đổ ĐMN, làm cơ sở đánh giá khả năng làm việc của máy đồng thời để điều chỉnh các thông số của máy cho phù hợp với yêu cầu hạn chế của không gian đường hầm. Với kết quả khảo sát:  $H_{gx,max}= 2,8m < H_{ch,min}=3,05m$  và  $H_{gx,min}=1,6m > H_{xg,max}=1,3m$  cho thấy MXLDB VMC E500-1 có kích thước TBCT phù hợp và làm việc hiệu quả trong đường hầm khẩu độ nhỏ, kể cả vị trí mặt cắt nhỏ nhất của đường hầm có  $b \times h=2,3m \times 3,5m$ ;

3. Khi xúc vật liệu hoặc ĐNM mỗi loại sẽ có quỹ đạo xúc hợp lý khác nhau, phụ thuộc vào các thông số:  $\alpha$  - góc xoắn tự nhiên ( $\alpha_{vl}=46^0$ ),  $\varphi$  - góc ma sát trong (với đá nổ mìn  $\varphi=46^0$ ),  $d_{tb}$  - kích thước hạt trung bình của ĐNM ( $d_{tb} \approx 0,3m$ ),  $L_{AG}$  - chiều sâu ấn gầu (với phương pháp xúc phối hợp  $L_{AG}=0,72m$ ) và  $H_{min}$  - chiều cao tối thiểu của đồng ĐNM ( $H_{min}=1,75m$ ). Để xúc ĐNM đạt hiệu quả nhất, MXL phải bảo đảm đồng thời 3 yếu tố: chi phí năng lượng xúc nhỏ nhất, quỹ đạo xúc ngắn nhất, xúc đầy gầu nhất; bởi vậy trong thực tế, để bảo đảm năng suất xúc ĐNM cao nhất, gầu xúc sẽ chuyển động theo quỹ đạo hợp lý nhưng  $H_{min}$  thực tế có thể thấp hơn  $H_{min}$  lý thuyết.

4. Quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc, khi xúc ĐNM chính là quỹ đạo chuyển động của răng gầu xúc trong đồng ĐNM, sao cho quỹ đạo này phải trùng hoặc gần với đường dịch chuyển của từng loại ĐNM. Điều này được xác định bằng sự thay đổi của các khâu dẫn: góc quay nâng cần  $\theta_2$  ( $\theta_2$  thay đổi trong khoảng từ  $7\pi/36$  đến  $-\pi/30$ , tính theo trục  $O_2 X_2$ ), quay gầu xúc  $\theta_3$  ( $\theta_3$  thay đổi trong khoảng từ  $-23\pi/60$  đến  $-7\pi/36$ , tính theo trục  $O_3 X_3$ ) và chuyển động tịnh tiến của máy x (x khoảng di chuyển của máy là 1,69m); thông qua phương pháp nghiên cứu động học ngược như luận án đã trình bày. Kết quả khảo sát tính toán là cơ sở cho việc nghiên cứu tự động hóa quá trình xúc đổ ĐNM khi thi công đường hầm trong trường hợp độc hại, nguy hiểm.

### Chương 3: NGHIÊN CỨU TẢI TRỌNG ĐỘNG CỦA THIẾT BỊ CÔNG TÁC MÁY XÚC LẬT ĐỒ BÊN TRONG QUÁ TRÌNH XÚC VÀ ĐỔ ĐÁ NỔ MÌN

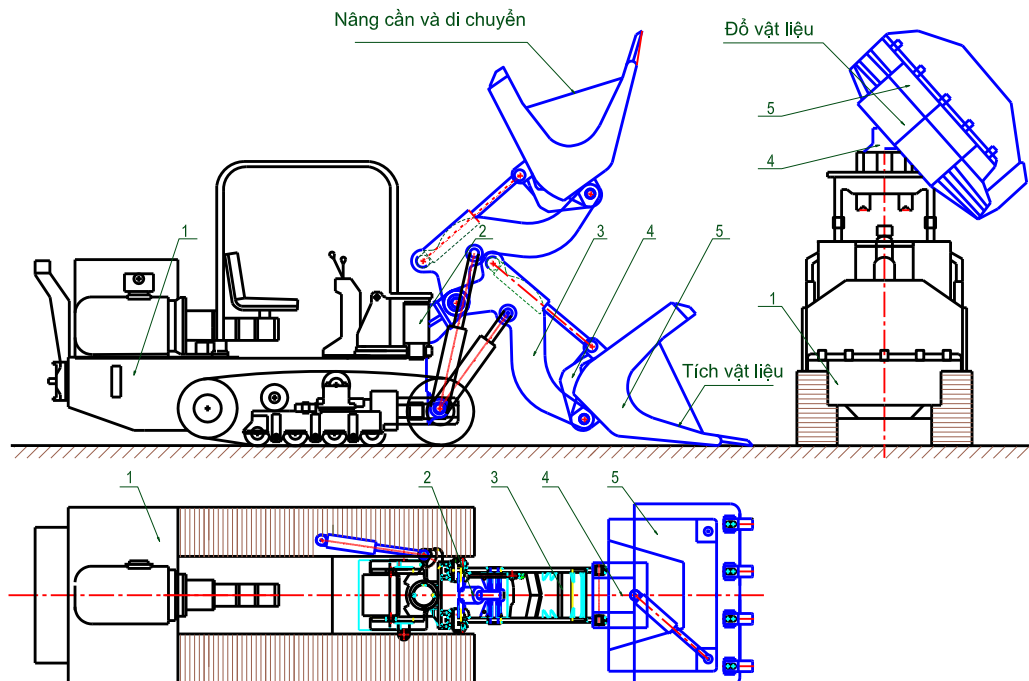
#### 3.1. Xây dựng mô hình khảo sát động lực học

##### 3.1.1. Mục đích xây dựng mô hình khảo sát động lực học

Xây dựng mô hình, phương pháp tính toán, giải các bài toán để xác định chuyển vị, vận tốc, gia tốc và các lực, mômen động trong các khâu khớp cần, gầu của máy xúc lật, khi xúc và đổ ĐNM trong từng trường hợp, điều kiện cụ thể. Các kết quả khảo sát ĐLH là cơ sở phục vụ quá trình tính toán khảo sát tải trọng động tác dụng lên các khâu, khớp của TBCT. Ngoài ra các thông số ĐLH tìm được cũng chính là cơ sở để giải các bài toán khác về động lực học máy, kiểm tra độ bền và tối ưu kết cấu của MXLDB VMC E500-1.

##### 3.1.2. Cơ sở xây dựng mô hình khảo sát động lực học

Mô hình được xây dựng trên cơ sở cấu tạo, nguyên lý hoạt động của MXLDB VMC E500-1, Hình 2.1 và Hình 3.1. Cấu tạo máy gồm phần xe cơ sở và phần thiết bị công tác. Thiết bị công tác gồm 5 khâu động liên kết với nhau bởi các khớp bản lề là thân máy, giá quay, cần, giá gầu và gầu; tương ứng với nó là 4 xi lanh dẫn động: xi lanh quay giá TBCT, xi lanh nâng hạ cần, xi lanh quay gầu và xi lanh đổ nghiêng gầu Hình 2.1 và Hình 3.1.



Hình 3.1 Sơ đồ kết cấu chung MXLDB VMC E500-1 ở các tư thế làm việc  
1 - thân xe; 2 - giá quay; 3 - cần; 4 - giá gầu; 5 gầu xúc.

Trong quá làm việc, khi tích ĐNM vào gầu, xi lanh quay giá TBCT, xi lanh đổ nghiêng gầu không làm việc, thân máy-giá quay TBCT là một khối; gầu-giá gầu là một khối, máy di chuyển kết hợp với điều khiển xi lanh nâng cần và xi lanh quay gầu để xúc ĐNM vào gầu. Khi ĐNM được xúc đầy gầu, nâng gầu lên và di chuyển máy đến vị trí đổ; điều khiển xi lanh lật gầu để nghiêng gầu xúc đổ ĐNM [2].

### 3.1.3. Các giả thiết.

Trên cơ sở sơ đồ kết cấu và nguyên lý làm việc của máy, nội dung nghiên cứu của luận án, chỉ tập trung xây dựng mô hình khảo sát động lực học quá trình xúc và đổ ĐNM của máy xúc lật đổ bên. Để đơn giản, thuận tiện và không ảnh hưởng nhiều đến kết quả trong quá trình tính toán, luận án sử dụng các giả thiết sau:

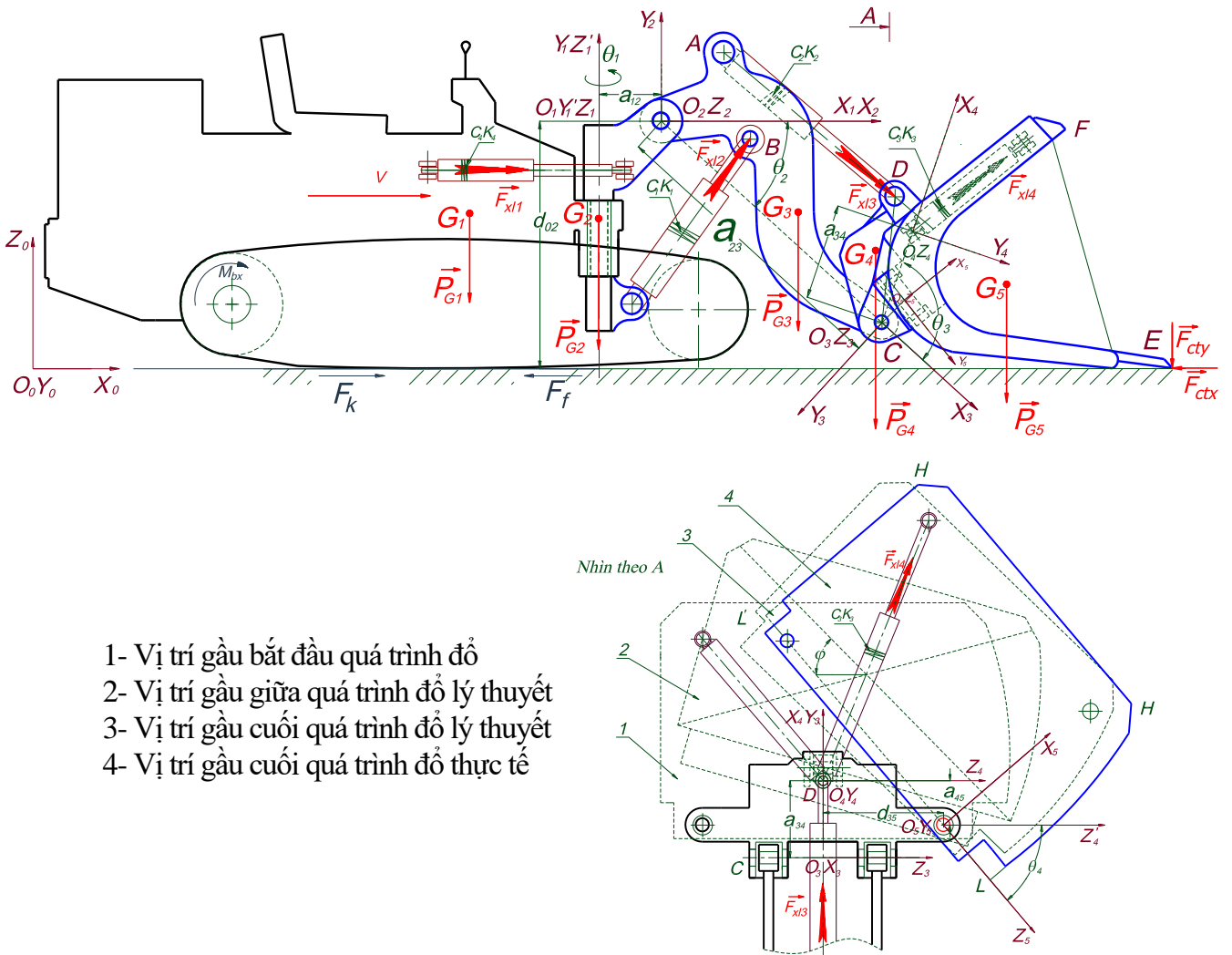
- Hệ khảo sát trên mô hình tổng quát gồm 5 khâu động, với 5 bậc tự do, các khâu liên kết với nhau bằng các khớp bản lề tại  $O_1; O_2; O_3; O_4$  và  $O_5$ ;
- Trong toàn bộ quá trình xúc và tích ĐNM vào gầu, các tọa độ suy rộng  $x, \theta_2, \theta_3$ , biến thiên trong mặt phẳng  $O_1X_1Y_1$ ;  $\theta_1$  và  $\theta_4$  không thay đổi;
- Quá trình quay thiết bị công tác  $\theta_1$  biến thiên trong mặt phẳng  $O_1X_1Z_1$ , khi đó  $x, \theta_2, \theta_3, \theta_4$  không đổi;
- Quá trình đổ vật liệu  $\theta_4$  biến thiên trong mặt phẳng  $O_5X_5Z_5$ ; các tọa độ suy rộng còn lại  $x, \theta_1, \theta_2, \theta_3$  không đổi;
- Các quá trình xúc và tích ĐNM, quay thiết bị công tác và đổ ĐNM diễn ra độc lập, nối tiếp nhau (theo các chu trình nguyên lý hoạt động của máy);
- Trọng tâm của các khâu nằm ở mặt phẳng đối xứng của máy;
- Trọng tâm của khối ĐNM trong gầu trùng với trọng tâm của gầu xúc;
- Khối lượng của khâu 5 khi tính toán bao gồm gầu và ĐNM trong gầu;
- Bỏ qua lực ma sát tại các khớp.

### 3.1.4. Mô hình khảo sát động lực học

Với các giả thiết nêu trên, mô hình khảo sát động lực học của MXLDB VMC E500-1 được xây dựng như Hình 3.2. Hệ khảo sát trên mô hình, gồm 5 khâu: khâu 1 – thân xe; khâu 2 - giá quay; khâu 3 - cần; khâu 4 - giá gầu và khâu 5 là gầu và ĐNM trong gầu. Các khâu liên kết với nhau bằng các khớp bản lề tại  $O_1; O_2; O_3; O_4$  và  $O_5$ ; Để quan sát các vật trong mặt phẳng thẳng

đúng, gắn vào cơ hệ một hệ tọa độ cố định  $X_0O_0Y_0Z_0$ , các hệ tọa độ  $X_1O_1Y_1Z_1$ ,  $X_2O_2Y_2Z_2$ ,  $X_3O_3Y_3Z_3$ ,  $X_4O_4Y_4Z_4$ , và  $X_5O_5Y_5Z_5$ , có gốc gắn tại các điểm liên kết giữa các khâu. Vị trí tương đối của mỗi khâu được xác định bởi 3 thông số: các tọa độ  $(x_i, y_i)$ ;  $(x_i, z_i)$  và góc  $\theta_i$  ( $i=1,2,3,4$ ).

- Hệ trục tọa độ cố định  $X_0O_0Y_0Z_0$ , gắn với mặt nền, có gốc cố định tại  $(O_0)$ ;
- Hệ tọa độ:  $O_1X_1Y_1Z_1$ , gắn với giá quay, có gốc tại  $(O_1)$ ;
- Hệ tọa độ:  $O_2X_2Y_2Z_2$ , có gốc tại điểm liên kết giá quay – cần  $(O_2)$ ;
- Hệ tọa độ:  $O_3X_3Y_3Z_3$ , có gốc tại điểm liên kết cần – giá gầu  $(O_3)$ ;
- Hệ tọa độ:  $O_4X_4Y_4Z_4$ , có gốc tại điểm liên kết giá gầu - xi lanh đồ gầu  $(O_4)$ ;
- Hệ tọa độ:  $O_5X_5Y_5Z_5$  có gốc tại điểm liên kết giá gầu – gầu  $(O_5)$ ;



Hình 3.2. Mô hình động lực học của MXLDB VMC E500-1

*Các thông số đặc trưng chuyển động của hệ:*

- $x$  : là khoảng dịch chuyển của máy so với hệ tọa độ cố định:  $O_0X_0Y_0Z_0$  ;
- $\theta_1$  : Góc quay TBCT là góc giữa trục  $O_1X_1$  của hệ tọa độ  $O_1X_1Y_1Z_1$  và trục  $O'_1X'_1$  của hệ tọa độ  $O'_1X'_1Y'_1Z'_1$  song song với  $O_0\{X_0Y_0Z_0\}$ , góc này do giá thiết bị công tác quay tạo ra trong quá trình làm việc, dưới tác dụng của xi lanh quay giá thiết bị công tác.
- $\theta_2$  : Góc nâng, hạ cần là góc giữa trục  $O_2X_2$  của hệ tọa độ  $O_2X_2Y_2Z_2$  và trục  $O_3X_3$  của hệ tọa độ  $O_3X_3Y_3Z_3$ , góc này do sự hoạt động của cần nâng, dưới tác dụng của xi lanh nâng cần tạo ra trong quá trình làm việc;
- $\theta_3$  : Góc quay gầu là góc giữa trục  $O_3X_3$  của hệ tọa độ  $O_3X_3Y_3Z_3$  và trục  $O_4X_4$  hệ tọa độ  $O_4X_4Y_4Z_4$ , góc này do sự hoạt động của xi lanh quay gầu tạo ra trong quá trình làm việc;
- $\theta_4$  : Góc đổ bên là góc giữa trục  $O_4Z_4$  của hệ tọa độ  $O_4X_4Y_4Z_4$  và trục  $O_5Z_5$  của hệ tọa độ  $O_5X_5Y_5Z_5$ , góc này do sự hoạt động của xi lanh đổ nghiêng gầu tạo ra trong quá trình làm việc;
- Véc tơ tọa độ suy rộng của cơ hệ có dạng:  $q = [x, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4]$

Việc thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động được thực hiện trên cơ sở áp dụng lý thuyết động lực học hệ nhiều vật. Các đại lượng đại diện trong hệ phương trình vi phân chuyển động gồm: khối lượng; mômen quán tính khối lượng; độ cứng, hệ số cản, lực tác dụng của các xi lanh thủy lực; lực kéo của máy; lực cản của ĐNM; Phương pháp giải hệ phương trình vi phân chuyển động để xác định đáp ứng của hệ và để phục vụ cho các tính toán khảo sát.

\* Các ngoại lực tác dụng lên hệ trong quá trình làm việc:

- Lực cản trước:  $\vec{F}_{ctx}$  - lực cản tiếp tuyến;  $\vec{F}_{cty}$  - lực cản pháp tuyến;
- Trọng lực:  $\vec{P}_{G_1}, \vec{P}_{G_2}, \vec{P}_{G_3}, \vec{P}_{G_4}; \vec{P}_{G_5}$ ; gây ra bởi các khối lượng của các khâu  $m_1, m_2, m_3, m_4; m_5$ ; tại vị trí trọng tâm của các khâu  $G_1; G_2; G_3; G_4; G_5$ ;
- Lực xi lanh:  $\vec{F}_{x11}, \vec{F}_{x12}, \vec{F}_{x13}, \vec{F}_{x14}$ ; lực do xi lanh 1,2,3,4 tạo ra;
- Lực kéo của máy:  $\vec{P}_K$ , sinh ra trong quá trình chuyển động tịnh tiến.

### 3.2. Thành lập hệ phương trình vi phân mô tả quá trình ĐLH của cơ hệ

Động lực học chuyển động tổng quát của mô hình được mô tả bằng phương trình Lagrange loại II trong hệ tọa độ suy rộng có dạng cơ học [8],[11]:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = Q_i; \quad \text{Với: } i=1 \div 5 \quad (3.1)$$

$$\text{Véc tơ tọa độ suy rộng có dạng: } q = [x, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4] \quad (3.2)$$

Các tham số trong phương trình Lagrange loại II:

- T: Tổng động năng của cơ hệ;
- $\Pi$ : Tổng thế năng của cơ hệ;
- $\Phi$ : Hàm hao tán của nền đất biến dạng;
- $Q_i$ : Các lực suy rộng không thế năng được tạo bởi lực cản xuất hiện ở phía trước gầu xúc trong quá trình xúc ĐNM;

Xác định được các tham số trên ta thay vào (3.1) sẽ thu được hệ phương trình vi phân (HPTVP) mô tả quá trình ĐLH của cơ hệ.

#### 3.2.1. Động năng của hệ

Để phục vụ quá trình tính toán động năng của cơ hệ trước tiên cần xác định vận tốc tuyệt đối của trọng tâm các khâu trong cơ hệ.

##### 3.2.1.1. Xác định vận tốc tuyệt đối của trọng tâm các khâu trong cơ hệ

Từ các ma trận chuyển thuần nhất  $A_0^1, A_1^2, A_2^3, A_3^4, A_4^5$  đã trình bày trong mục 2.4.4 ta có thể xác định được vị trí của các điểm bất kỳ trên thiết bị công tác trong quá trình làm việc, ứng với các góc quay tương ứng. Đó là xác định tọa độ của điểm  $O_i$ , phụ thuộc vị trí  $p^i$  trong hệ tọa độ thứ  $i$  và véc tơ  $p^{i+1}$  trong hệ tọa độ thứ  $(i+1)$  như sau [8], [11]:

$$p^i = A_i^{i+1} p^{i+1} \quad (3.3)$$

Bằng việc sử dụng công thức trên ta có thể xác định tọa độ trọng tâm của các khâu trong hệ tọa độ cố định  $O_0 \{X_0, Y_0, Z_0\}$  như sau:

$$C_0^i = (A_0^i) C_i^i \quad (3.4)$$

Trong đó:  $C_0^i$  - Tọa độ trọng tâm khâu thứ  $i$  trong hệ tọa độ cố định  $O_0 \{X_0, Y_0, Z_0\}$ ;



$A_0^i = \bigcup_{k=0}^{k=i-1} A_k^{k+1}$  -Ma trận chuyển từ khâu  $i$  về gốc tọa độ cố định  $O_0$ ;  $C_i^i$  - Tọa độ trọng tâm khâu thứ  $i$  trong hệ tọa độ động  $O_i \{X_i Y_i Z_i\}$ ;

### Xác định tọa độ các trọng tâm, trong hệ tọa độ động

Gọi  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ ; lần lượt là các góc hợp bởi trục  $O_i G_i$  và  $O_i X_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ .)  
Tọa độ trọng tâm khâu thứ  $G_i$  xác định như các ma trận (3x1) dưới đây [8], [11]:

Tọa độ trọng tâm khâu 1 trong hệ tọa độ động  $O_1 \{X_1 Y_1 Z_1\}$ :

$$C_1^1(G_1) = \begin{bmatrix} x_{G_1} \\ y_{G_1} \\ z_{G_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_1 G_1 \cos(\delta_1) \\ O_1 G_1 \sin(\delta_1) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Tọa độ trọng tâm khâu 2 trong tọa độ động  $O_2 \{X_2 Y_2 Z_2\}$

$$C_2^2(G_2) = \begin{bmatrix} x_{G_2} \\ y_{G_2} \\ z_{G_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_2 G_2 \cos(\delta_2) \\ O_2 G_2 \sin(\delta_2) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Tọa độ trọng tâm khâu 3 trong hệ tọa độ động  $O_3 \{X_3 Y_3 Z_3\}$

$$C_3^3(G_3) = \begin{bmatrix} x_{G_3} \\ y_{G_3} \\ z_{G_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_3 G_3 \cos(\delta_3) \\ O_3 G_3 \sin(\delta_3) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Tọa độ trọng tâm khâu 4 trong hệ tọa độ động  $O_4 \{X_4 Y_4 Z_4\}$

$$C_4^4(G_4) = \begin{bmatrix} x_{G_4} \\ y_{G_4} \\ z_{G_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_4 G_4 \cos(\delta_4) \\ O_4 G_4 \sin(\delta_4) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Tọa độ trọng tâm khâu 5 trong hệ tọa độ động  $O_5 \{X_5 Y_5 Z_5\}$

$$C_5^5(G_5) = \begin{bmatrix} x_{G_5} \\ y_{G_5} \\ z_{G_5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_5 G_5 \cos(\delta_5) \\ O_5 G_5 \sin(\delta_5) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

### Xác định tọa độ các trọng tâm trong hệ tọa độ cố định

Đối với máy có các hệ tọa độ được gắn vào các khâu như, Hình 3.2, ta có thể xác định tọa độ trọng tâm  $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5$  của các khâu 1,2,3,4,5 và

điểm E (tọa độ đỉnh răng gầu) trong hệ tọa độ tổng quát bằng cách áp dụng hệ phương trình (3.4) với  $i=0,1,2,3,4$  và E như sau:

$$\begin{aligned} C_0^1 &= A_0^1 C_1^1; & C_0^2 &= (A_0^1 A_1^2) C_2^2 = A_0^2 C_2^2; \\ C_0^3 &= (A_0^1 A_1^2 A_2^3) C_3^3 = A_0^3 C_3^3; & C_0^4 &= (A_0^1 A_1^2 A_2^3 A_3^4) C_4^4 = A_0^4 C_4^4; \\ C_0^5 &= (A_0^1 A_1^2 A_2^3 A_3^4 A_4^5) C_5^5 = A_0^5 C_5^5; & C_0^E &= (A_0^1 A_1^2 A_2^3 A_3^E) C_E^E = A_0^E C_E^E; \end{aligned} \quad (3.10)$$

Trong đó: Các véc tơ  $C_0^1, C_0^2, C_0^3, C_0^4, C_0^5$ , xác định các điểm trọng tâm của gầu xúc trong hệ tọa độ cố định.

Tọa độ trọng tâm khâu 1 trong hệ tọa độ cố định

$$C_0^1 = A_0^1 C_1^1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 + x \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Tọa độ trọng tâm khâu 2 trong hệ tọa độ cố định

$$C_0^2 = A_0^2 C_2^2 = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{12} \cos \theta_1 + a_1 \cos \theta_1 + x \\ \sin \theta_1 (l_{12} + a_1) \\ d_1 (l_{12} + a_1) \cos \theta_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Tọa độ trọng tâm khâu 3 trong hệ tọa độ cố định

$$C_0^3 = A_0^3 C_3^3 = \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_2 \cos \theta_1 \cos(\theta_2 + \delta_2) + a_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a_1 \cos \theta_1 + x \\ L_2 \sin \theta_1 \cos(\theta_2 + \delta_2) - a_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 - a_1 \sin \theta_1 \\ L_2 \sin(\theta_2 + \delta_2) + a_2 \sin \theta_2 + d_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Tọa độ trọng tâm khâu 4 trong hệ tọa độ cố định

$$C_0^4 = A_0^4 C_4^4 = \begin{bmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_3 \cos \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3) + a_3 \cos \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) + \\ + a_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a_1 \cos \theta_1 + x \\ \sin \theta_1 (-L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3) + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos \theta_2 + a_1) \\ -L_3 \sin(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3) + a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \sin \theta_2 + d_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Tọa độ trọng tâm khâu 5 trong hệ tọa độ cố định

$$\mathbf{C}_0^5 = \mathbf{A}_0^5 \mathbf{C}_5^5 = \begin{bmatrix} x_5 \\ y_5 \\ z_5 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} x_5 &= \cos \theta_1 \left( \begin{aligned} &L_4 \cos \delta_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \dots \\ &a_5 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + a_4 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_3 \cos \theta_2 + a_1 \end{aligned} \right) + \dots \\ &\quad (L_4 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \sin \theta_1 + x \\ y_5 &= \sin \theta_1 \left( \begin{aligned} &L_4 \cos \delta_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \dots \\ &a_5 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + a_4 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_3 \cos \theta_2 + a_1 \end{aligned} \right) + \dots \\ &\quad -(L_4 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \cos \theta_1 \\ z_5 &= \left( \begin{aligned} &L_4 \cos \delta_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \dots \\ &a_5 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_3 \sin \theta_2 + d_1 \end{aligned} \right) \end{aligned}$$

#### Xác định vận tốc tịnh tiến của các khâu

Để tính toán vận tốc tịnh tiến các khâu, ta lần lượt đạo hàm các tọa độ của các khâu theo thời gian  $t$ .

$$\text{Vận tốc của khâu 1:} \quad \mathbf{v}_1 = \dot{\mathbf{C}}_0^1 = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{y}_1 \\ \dot{z}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

$$\text{Vận tốc của khâu 2:} \quad \mathbf{v}_2 = \dot{\mathbf{C}}_0^2 = \begin{bmatrix} \dot{x}_2 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{z}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(l_{12} + a_1) \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 + \dot{x} \\ \cos \theta_1 (l_{12} + a_1) \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

$$\text{Vận tốc của khâu thứ 3:} \quad \mathbf{v}_3 = \dot{\mathbf{C}}_0^3 = \begin{bmatrix} \dot{x}_3 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{z}_3 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} \dot{x}_3 &= -L_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \cos(\theta_2 + \delta_2) - L_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_1 \sin(\theta_2 + \delta_2) - a_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \cos \theta_2 - \dots \\ &\quad a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1 - a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 + \dot{x} \\ \dot{y}_3 &= L_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \cos(\theta_2 + \delta_2) - L_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_1 \sin(\theta_2 + \delta_2) - a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \cos \theta_2 + \dots \\ &\quad a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 - a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \\ \dot{z}_3 &= L_3 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2 + \delta_2) + a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \end{aligned}$$

Vận tốc của khâu thứ 4: 
$$\mathbf{v}_4 = \dot{\mathbf{C}}_0^4 = \begin{bmatrix} \dot{x}_4 \\ \dot{y}_4 \\ \dot{z}_4 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} \dot{x}_4 &= -L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3) - L_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cos \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3) - \dots \\ &\quad a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) - a_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cos \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) - \dots \\ &\quad a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1 - a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \sin \theta_1 - a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 + \dot{x} \\ \dot{y}_4 &= -L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3) + L_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \sin \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3) + \dots \\ &\quad a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) - a_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \sin \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) - \dots \\ &\quad a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 + a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \cos \theta_1 + a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \\ \dot{z}_4 &= -L_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cos(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3) + a_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \end{aligned}$$

Vận tốc dài khâu thứ 5: 
$$\mathbf{v}_5 = \dot{\mathbf{C}}_0^5 = \begin{bmatrix} \dot{x}_5 \\ \dot{y}_5 \\ \dot{z}_5 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} \dot{x}_5 &= -\dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \left( L_4 \cos \delta_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \dots \right) + \dots \\ &\quad \cos \theta_1 \left( -L_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) \cos \delta_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \dots \right) + \dots \\ &\quad \left( -(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) - a_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) - \sin(\theta_2 + \theta_3) - a_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \right) \\ &\quad (L_4 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_4) \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + \dot{x} \\ \dot{y}_5 &= \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \left( L_4 \cos \delta_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \dots \right) + \dots \\ &\quad \sin \theta_1 \left( -L_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) \cos \delta_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \dots \right) + \dots \\ &\quad \left( (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \dots \right) + \dots \\ &\quad \left( -(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) - a_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) - \sin(\theta_2 + \theta_3) - a_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \right) \\ &\quad (L_4 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_4) \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \end{aligned}$$

$$\dot{z}_5 = \begin{pmatrix} L_4(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)\cos\delta_4\cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \dots \\ L_4(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)\sin\delta_4\cos\alpha_4\sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \dots \\ a_4(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)\cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + a_3(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)\cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2\dot{\theta}_2\cos\theta_2 \end{pmatrix}$$

### Xác định vận tốc góc của các khâu

Từ các ma trận Denavit – Hartenberg [11] ta suy ra ma trận cosin chỉ hướng của khâu thứ 1, thứ 2, thứ 3, thứ 4 và khâu 5; đó là các ma trận vuông cấp 3 ở bên phải, phía trên của các ma trận  $A_0^1, A_0^2, A_0^3, A_0^4, A_0^5$ , suy ra các vận tốc góc của các khâu:  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ .

$$\text{Ma trận cosin chỉ hướng khâu thứ nhất: } C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

$$\text{Ma trận cosin chỉ hướng khâu thứ hai: } C_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Ma trận cosin chỉ hướng khâu thứ ba:

$$C_3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1\cos\theta_2 & -\cos\theta_1\sin\theta_2 & \sin\theta_1 \\ \sin\theta_1\cos\theta_2 & -\sin\theta_1\sin\theta_2 & -\cos\theta_1 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Ma trận cosin chỉ hướng khâu thứ tư:

$$C_4 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1\cos(\theta_2 + \theta_3) & -\cos\theta_1\sin(\theta_2 + \theta_3) & \sin\theta_1 \\ \sin\theta_1\cos(\theta_2 + \theta_3) & -\sin\theta_1\sin(\theta_2 + \theta_3) & -\cos\theta_1 \\ \sin(\theta_2 + \theta_3) & \cos(\theta_2 + \theta_3) & 0 \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Ma trận cosin chỉ hướng khâu thứ năm:

$$C_5 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1\cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & -\cos\theta_1\sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & \sin\theta_1 \\ \sin\theta_1\cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & -\sin\theta_1\sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & -\cos\theta_1 \\ \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & 0 \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Khâu thứ 1 là thân xe chuyển động tịnh tiến cho nên vận tốc góc của nó

$$\text{bằng 0 hay vận tốc góc khâu thứ nhất: } \omega_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Toán tử sóng của véc tơ vận tốc góc khâu thứ hai:

$$\omega_2 = C_2^T \dot{C}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dot{\theta}_1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -\dot{\theta}_1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Suy ra vận tốc góc khâu thứ hai:  $\omega_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{bmatrix}$

Toán tử sóng của véc tơ vận tốc góc khâu thứ ba:

$$\omega_3 = C_3^T \dot{C}_3 = \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta}_2 & \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \\ \dot{\theta}_2 & 0 & -\dot{\theta}_1 \sin \theta_2 \\ -\dot{\theta}_1 \cos \theta_2 & \dot{\theta}_1 \sin \theta_2 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Suy ra vận tốc góc khâu thứ ba:  $\omega_3 = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \sin \theta_2 \\ \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix}$

Toán tử sóng của véc tơ vận tốc góc khâu thứ tư:

$$\omega_4 = C_4^T \dot{C}_4 = \begin{bmatrix} 0 & -(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) & \dot{\theta}_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) \\ (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) & 0 & -\dot{\theta}_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) \\ -\dot{\theta}_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) & \dot{\theta}_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) & 0 \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Suy ra vận tốc góc khâu thứ tư:  $\omega_4 = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) \\ \dot{\theta}_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$

Toán tử sóng của véc tơ vận tốc góc khâu thứ 5:

$$\omega_5 = C_5^T \dot{C}_5 = \begin{bmatrix} 0 & -(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) & \dot{\theta}_1 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \\ (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) & 0 & -\dot{\theta}_1 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \\ -\dot{\theta}_1 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & \dot{\theta}_1 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & 0 \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

Suy ra vận tốc góc khâu thứ 5:  $\omega_5 = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \\ \dot{\theta}_1 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4 \end{bmatrix}$

### 3.2.1.2. Tính động năng của cơ hệ

Động năng của các khâu và tổng động năng của hệ được tính như sau:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 \quad (3.30)$$

$$T_1 = \frac{1}{2} m_1 (\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2) \quad (3.31)$$

$$T_2 = \frac{1}{2} m_2 (\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2 + \dot{z}_2^2) + \frac{1}{2} J_2 \omega_2^2 \quad (3.32)$$

$$T_3 = \frac{1}{2} m_3 (\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2 + \dot{z}_3^2) + \frac{1}{2} J_3 \omega_3^2 + \frac{1}{2} J_{3x} \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_2 + \frac{1}{2} J_{3y} \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_2 + \frac{1}{2} J_{3z} \theta_2^2 \quad (3.33)$$

$$T_4 = \frac{1}{2} m_4 (\dot{x}_4^2 + \dot{y}_4^2 + \dot{z}_4^2) + \frac{1}{2} J_4 \omega_4^2 \quad (3.34)$$

$$+ \frac{1}{2} J_{4x} \dot{\theta}_1^2 \sin^2 (\theta_2 + \theta_3) + \frac{1}{2} J_{4y} \dot{\theta}_1^2 \cos^2 (\theta_2 + \theta_3) + \frac{1}{2} J_{4z} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2$$

$$T_5 = \frac{1}{2} m_5 (\dot{x}_5^2 + \dot{y}_5^2 + \dot{z}_5^2) + \frac{1}{2} J_5 \omega_5^2 + \frac{1}{2} J_{4x} \dot{\theta}_1^2 \sin^2 (\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \quad (3.35)$$

$$+ \frac{1}{2} J_{4y} \dot{\theta}_1^2 \cos^2 (\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \frac{1}{2} J_{4z} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)^2$$

Phần tính toán động năng của các khâu được trình bày chi tiết trong phụ lục 3.2

### 3.2.1.3. Tính các đạo hàm riêng của động năng

Trên cơ sở động năng của hệ, ta tính toán các đạo hàm riêng của hệ như sau:

$$\frac{\partial T}{\partial q_j} = \frac{\partial \left( \sum_{i=1}^5 T_i \right)}{\partial q_j} = \frac{\partial T_1}{\partial q_j} + \frac{\partial T_2}{\partial q_j} + \frac{\partial T_3}{\partial q_j} + \frac{\partial T_4}{\partial q_j} + \frac{\partial T_5}{\partial q_j}; \partial q_j = x, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4 \quad (3.36)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} = \frac{\partial \left( \sum_{i=1}^5 T_i \right)}{\partial \dot{q}_j} = \frac{\partial T_1}{\partial \dot{q}_j} + \frac{\partial T_2}{\partial \dot{q}_j} + \frac{\partial T_3}{\partial \dot{q}_j} + \frac{\partial T_4}{\partial \dot{q}_j} + \frac{\partial T_5}{\partial \dot{q}_j}; \dot{q}_j = \dot{x}, \dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3, \dot{\theta}_4 \quad (3.37)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} = \frac{d}{dt} \frac{\partial \left( \sum_{i=1}^5 T_i \right)}{\partial \dot{q}_j} = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_1}{\partial \dot{q}_j} + \frac{\partial T_2}{\partial \dot{q}_j} + \frac{\partial T_3}{\partial \dot{q}_j} + \frac{\partial T_4}{\partial \dot{q}_j} + \frac{\partial T_5}{\partial \dot{q}_j} \right); \dot{q}_j = \dot{x}, \dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3, \dot{\theta}_4 \quad (3.38)$$

Các biểu thức tính toán đạo hàm riêng được trình bày chi tiết trong phụ lục 3.3:

### 3.2.2. Thế năng của hệ.

Thế năng của hệ là thế năng của các khâu 1, 2, 3, 4, 5. Chọn gốc thế năng tại  $O_0$ .

$$\begin{aligned} \Pi &= m_1 g y_1 + m_2 g y_2 + m_3 g y_3 + m_4 g y_4 + m_5 g y_5 \quad (3.39) \\ \Pi &= m_2 g \sin \theta_1 (l_{12} + a_1) + m_3 g (L_2 \sin \theta_1 \cos(\theta_2 + \delta_2) - a_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 - a_1 \sin \theta_1) + \\ & m_4 g (\sin \theta_1 (-L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3) + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos \theta_2 + a_1)) + \\ & m_5 g \left( \sin \theta_1 \left( L_4 \cos \delta_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \dots \right) + \dots \right) \\ & \left( a_5 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + a_4 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_3 \cos \theta_2 + a_1 \right. \\ & \left. - (L_4 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \cos \theta_1 \right) \end{aligned}$$

### 3.2.3. Hàm hao tán của hệ.

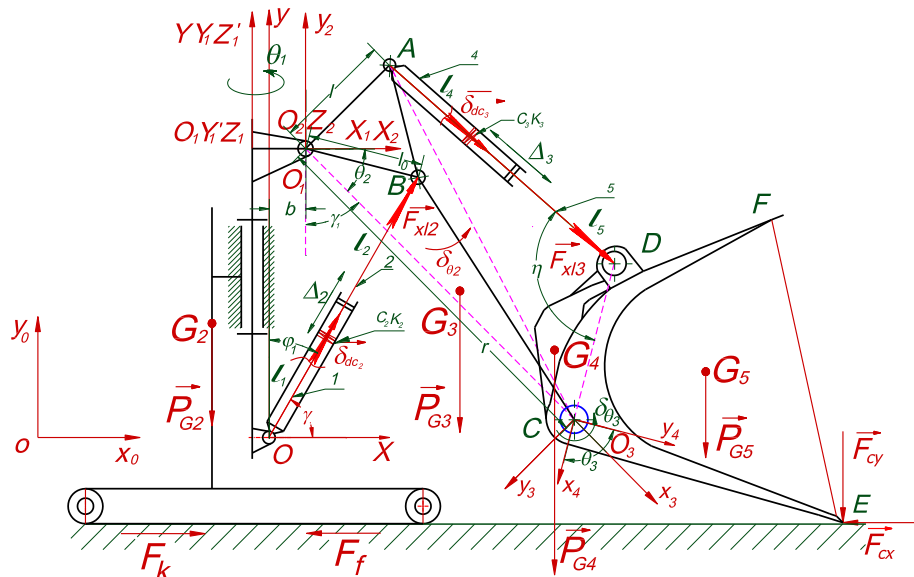
Hàm hao tán có năng lượng  $\Phi = 0$

### 3.2.4. Lực suy rộng của hệ.

Lực suy rộng của hệ gồm các lực suy rộng có thể và các lực suy rộng không thể. Tính như các công thức dưới đây:

Ta quy đổi lực do các xi lanh thủy lực  $\vec{F}_{x12}, \vec{F}_{x13}, \vec{F}_{x14}$  tác dụng lên các khâu của cơ hệ thành các mô men tác dụng xung quanh các khớp  $O_2, O_3, O_4$  lần lượt là  $M_2, M_3, M_4$ .

#### 3.2.4.1. Xác định lực xy lanh nâng, hạ cần $\vec{F}_{x12}$



Hình 3.3. Mô hình xác định lực xi lanh nâng cần, khi tích ĐNM vào gầu bằng phương pháp kết hợp.

Để xác định lực  $\vec{F}_{x12}$  khi máy tiến vào xúc ĐNM. Ta cho xi lanh nâng cần di chuyển khả dĩ là  $\delta x_2$ . Khi đó xi lanh quay gầu không chuyển động  $\Rightarrow \delta x_3 = 0$ . Trọng tâm  $G_3$  thực hiện được một di chuyển là  $\delta y_{G_3}$ . Trọng tâm  $G_4$  thực hiện



được một di chuyển là  $\delta y_{G_4}$ ; Trọng tâm  $G_5$  là  $\delta y_{G_5}$ ; Hai lực cản  $\vec{F}_{c_x}, \vec{F}_{c_y}$  di chuyển được là  $\delta x_E, \delta y_E$ .

Cơ hệ cân bằng lúc này ta có tổng cộng tất cả các công do các lực gây ra bằng không hay:

$$\sum \delta A_x = F_{x_{l_2}} \delta x_2 + F_{x_{l_3}} \delta x_3 - P_{G_3} \delta y_{G_3} - P_{G_4} \delta y_{G_4} - P_{G_5} \delta y_{G_5} - F_{c_x} \delta x_E - F_{c_y} \delta y_E = 0 \quad (3.40)$$

$$\Rightarrow F_{x_{l_2}} = \frac{1}{\delta x_2} \left[ P_{G_3} \delta y_{G_3} + P_{G_4} \delta y_{G_4} + P_{G_5} \delta y_{G_5} - F_{c_x} \delta x_E - F_{c_y} \delta y_E \right] \quad (3.41)$$

Ta cần tính toán các tỷ số sau:

$$\frac{\delta y_{G_3}}{\delta x_1}, \frac{\delta y_{G_4}}{\delta x_1}, \frac{\delta y_{G_5}}{\delta x_1}, \frac{\delta x_E}{\delta x_1}, \frac{\delta y_E}{\delta x_1}$$

$$y_{G_3} = l_2 \cos(\gamma_1 + \delta_2) \Rightarrow \delta y_{G_3} = -l_2 \delta \gamma_1 \sin(\gamma_1 + \delta_2)$$

$$\gamma_1 = \pi - \gamma_7 - \alpha_1 - \beta = \pi - \gamma_7 - \alpha_1 - \arctan(\beta) - \alpha_1 \Rightarrow \delta \gamma_1 = \delta [\arctan(d)]$$

Thực hiện các biến đổi đạo hàm ta thu được:

$$\delta \gamma_1 = A(x_1) \delta x_1; \text{ trong đó } A(x_1) \text{ là hàm phụ thuộc } x_1$$

$$\Rightarrow \delta y_{G_3} = A(x_1)(-l_2) \sin(\gamma_1 + \delta_2) \delta \gamma_1 \Rightarrow \frac{\delta y_{G_3}}{\delta \gamma_1} = -l_2 A(x_1) \sin(\gamma_1 + \delta_2)$$

Tương tự ta hoàn toàn tính được:

$$\frac{\delta y_{G_4}}{\delta \gamma_1} = -l_{O_1C} B(x_1) \sin \gamma_1; \quad \frac{\delta x_E}{\delta x_1} = l_{O_1C} B(x_1) \cos \gamma_1$$

$$\frac{\delta y_{G_5}}{\delta \gamma_1} = -l_{O_1C} B(x_1) \sin \gamma_1; \quad \frac{\delta y_E}{\delta x_1} = l_{O_1C} B(x_1) \cos \gamma_1$$

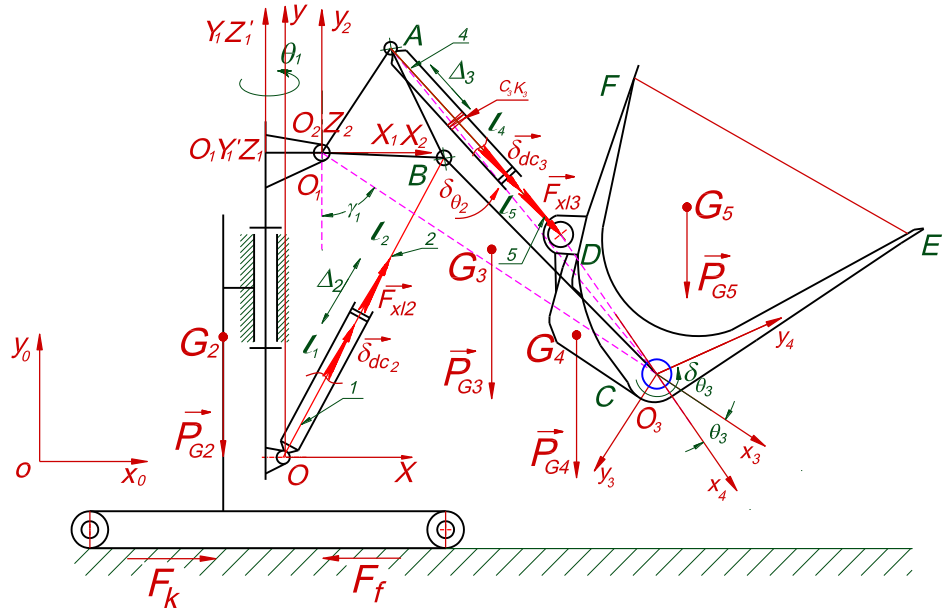
Tập hợp lại ta có

$$F_{x_{l_2}} = -P_{G_3} l_2 A(x_1) \sin(\gamma_1 + \delta_2) - l_{O_1C} B(x_1) \left[ \sin \gamma_1 (P_{G_4} + P_{G_5}) + F_{c_y} + F_{c_x} \cos \gamma_1 \right] \quad (3.42)$$

### 3.2.4.2. Xác định lực xy lanh quay gầu $\vec{F}_{x_{l_3}}$

Làm tương tự khi tính xác định lực xy lanh  $\vec{F}_{x_{l_2}}$ , lúc này ta cho xy lanh 3 thực hiện một di chuyển khả dĩ là  $\delta x_3 \neq 0$ , xy lanh 2 đứng nguyên hay  $\delta x_2 = 0$  Trọng tâm  $G_3$  thực hiện một di chuyển  $\delta y_{G_3} = 0$  vì  $G_3$  không chuyển động.

Trọng tâm  $G_4, G_5, F_{c_x}, F_{c_y}$ ; thực hiện một di chuyển  $\delta y_{G_4}, \delta y_{G_5}, \delta x_E, \delta y_E$ ;



Hình 3.4. Mô hình xác định lực xi lanh quay gầu, khi tích ĐNM vào gầu bằng phương pháp kết hợp.

Tổng công khả dĩ lúc này được tính như sau:

$$\sum \delta A_x = F_{xl3} \delta x_3 - P_{G4} \delta y_{G4} - P_{G5} \delta y_{G5} - F_{cx} \delta x_E - F_{cy} \delta y_E = 0 \quad (3.43)$$

$$F_{xl3} = \frac{1}{\delta x_3} \left[ P_{G4} \delta y_{G4} + P_{G5} \delta y_{G5} + F_{ctx} \delta x_E + F_{cty} \delta y_E \right] \quad (3.44)$$

Ta cần tính các tỷ số sau:  $\frac{\delta y_{G4}}{\delta x_3}$ ;  $\frac{\delta y_{G5}}{\delta x_3}$ ;  $\frac{\delta x_E}{\delta x_3}$ ;  $\frac{\delta y_E}{\delta x_3}$

$$y_{G4} = l_3 \cos \beta_5 \quad \Rightarrow \delta y_{G4} = -\delta(\beta_5) l_3 \sin \beta_5 = -l_3 f_3(x_3) \sin \beta_5 \delta x_3$$

$$\Rightarrow \frac{\delta y_{G4}}{\delta x_3} = -l_3 f_3(x_3) \sin \beta_5; \text{ trong đó } f_3(x_3) \text{ là hàm phụ thuộc } x_3$$

$$\text{Tương tự ta thu được } \frac{\delta y_{G5}}{\delta x_3} = l_4 f_3 \cos(\delta_4 - \varphi) \beta_5;$$

$$\frac{\delta x_E}{\delta x_3} = -CE \cos \varphi f_3(x_3); \quad \frac{\delta y_E}{\delta x_3} = -CE \sin \varphi f_3(x_3)$$

$$F_{xl3} = -l_3 f_3(x_3) \sin \beta_5 P_{G4} + l_4 f_4(x_4) \cos(\delta_4 - \varphi) P_{G5} - \left\{ CE f_3(x_3) \left[ F_{ctx} \cos \varphi + F_{cty} \sin \varphi \right] \right\} \quad (3.45)$$

Xác định lực xylanh  $\vec{F}_{xl2}$ ,  $\vec{F}_{xl3}$  khi gầu tách khỏi đồng ĐNM.

Khi gầu tách khỏi đồng ĐNM lúc này máy xúc chỉ còn các lực sau:

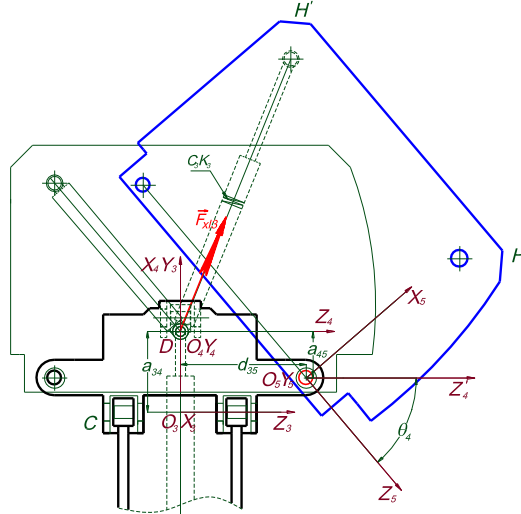
$$\vec{F}_{xl2}; \vec{F}_{xl3}; \vec{P}_{G3}; \vec{P}_{G4}; \vec{P}_{G5}$$

Các lực xylanh được tính toán tương tự như các trường hợp trước.

$$F_{x_{l_2}} = -P_{G_3} l_2 A(x_1) \sin(\gamma_1 + \delta_2) - l_{O_1C} B(x_1) \sin \gamma_1 (P_{G_4} + P_{G_5}) \quad (3.46)$$

$$F_{x_{l_3}} = -l_3 f_3(x_3) \sin \beta_5 P_{G_4} + l_4 f_4(x_4) \cos(\delta_4 - \varphi) P_{G_5} - [CE f_3(x_3)] \quad (3.47)$$

### 3.2.4.3. Xác định lực tác dụng lên xy lanh lật gầu $\vec{F}_{x_{l_4}}$



Hình 3.5. Mô hình xác định lực xi lanh lật gầu, khi đổ ĐNM

Khi lật gầu đổ bên lúc này các xi lanh 2 và 3 sẽ không di chuyển; một cách gần đúng ta có thể coi  $\vec{F}_{x_{l_2}}$  và  $\vec{F}_{x_{l_3}}$  là hằng số. Xét hệ lực tác động lên gầu trường hợp này chỉ có các lực sau:  $\vec{F}_{x_{l_4}}$  và  $\vec{P}_{G_5}$  lúc này do ĐNM đổ ra khỏi gầu nên  $\vec{P}_{G_5}$  thay đổi từ giá trị lớn nhất đến nhỏ nhất.

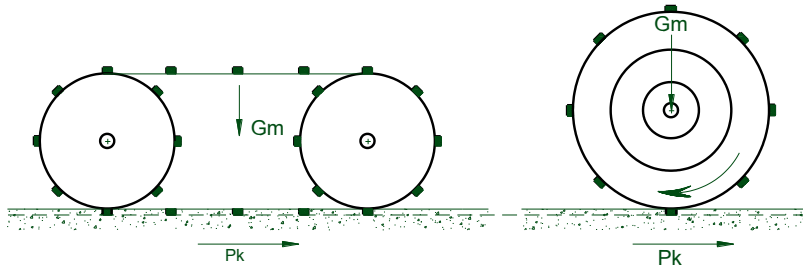
Cho xy lanh 4 một di chuyển khả dĩ  $\delta x_4 \neq 0$ , lúc này trọng tâm gầu và đá trong gầu  $G_5$  thực hiện một di chuyển là  $\delta y_{G_5}$

$$\sum \delta A_x = F_{x_{l_4}} \delta x_4 - \delta y_{G_4} P_{G_4} - P_{G_5} \delta y_{G_5} = 0 \quad (3.48)$$

$$F_{x_{l_4}} = \frac{\delta y_{G_4}}{\delta x_4} (P_{G_4} + P_{G_5}) \quad (3.49)$$

### 3.2.4.3. Tính toán lực kéo của máy trong quá trình tương tác

Lực kéo của máy xúc lật là giá trị nhỏ trong hai giá trị: lực tính theo khả năng mà động cơ có thể tạo ra được và lực bám lớn nhất mà đất có thể tiếp nhận. Máy xúc lật là máy sử dụng nhiều chức năng khác khi di chuyển, lực kéo chiếm khoảng 70% công suất của cả máy, nên lực kéo sinh ra tính theo công suất động cơ lớn hơn lực bám lớn nhất mà đất có thể tiếp; vì vậy, lực kéo của máy sẽ được tính theo điều kiện bám.



Hình 3.6. Hoạt động của xích và bánh xe.

Bản chất của lực kéo của máy xúc là phản lực từ nền tác dụng lên xích theo phương dọc xe, liên quan đến các ứng suất tiếp phát sinh trong quá trình tương tác giữa xích và đất khi mô men xoắn truyền từ động cơ tới bánh sao chủ động, Hình 3.6.

Lực kéo theo điều kiện bám được xác định theo trọng lượng của máy, vận tốc của dải xích, chiều rộng, chiều dài phần xích tiếp đất, các thông số cơ lý của nền đường và các thông số thực nghiệm. Theo[18][23][24] :

- Ứng suất trượt của dải xích được tính theo công thức:

$$\tau = (c + p_x \operatorname{tg} \phi_t) \left( 1 - e^{-\frac{j}{k_m}} \right) \quad (3.50)$$

Trong đó:  $c$  – lực kết dính, kPa;  $p_x$  - áp suất tiếp xúc, kPa;  $\phi_t$  - góc ma sát trong, độ;  $k_m$  – mô đun biến dạng, cm;  $j$  - khoảng trượt của dải xích, xác định bởi:

$$j = \frac{v_j \cdot x}{v_{lt}} = \frac{(v_{lt} - v_m) x}{v_{lt}} = i \cdot x \quad (3.51)$$

ở đây:  $v_j$  – vận tốc trượt, m/s;  $v_{lt}$  – vận tốc lý thuyết của máy, m/s;  $x$  – khoảng cách tính, m;  $v_m$  – vận tốc thực của máy, m/s;  $i$  – hệ số trượt của dải xích.

- Lực kéo  $P_K$  của máy xúc được xác định theo ứng suất trượt  $\tau$  qua công thức:

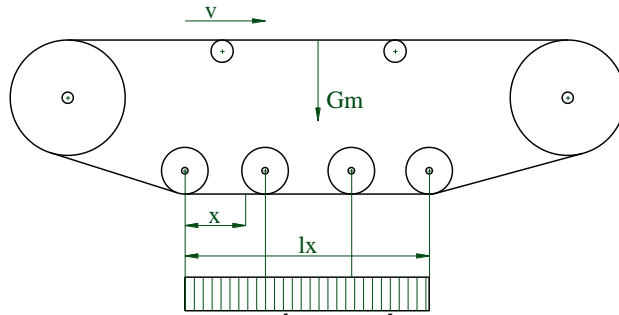
$$P_K = \int_{F_x} \tau dF = b_x \int_0^{l_x} (c + p_x \operatorname{tg} \phi_t) \left( 1 - e^{-\frac{j}{k_m}} \right) dx \quad (3.52)$$

Trong đó:  $F_x$  – diện tích tiếp xúc của xích ( $m^2$ ),  $F_x = b_x \cdot l_x$ ;  $b_x$  - chiều rộng của xích.

Thay (3.53), (3.54) vào (3.55) ta nhận được công thức tính lực kéo:

$$P_K = b_x \int_0^{l_x} (c + p_x \operatorname{tg} \phi_t) \left( 1 - e^{-\frac{ix}{k_m}} \right) dx \quad (3.53)$$

Để có thể sử dụng công thức (3.56), cần phải xác định được áp suất  $p_x$ , Hình 3.7 biểu diễn quy luật phân bố của áp suất  $p_x$  theo chiều dài dải xích, [22]



Hình 3.7. Phân bố áp suất trên giải xích

Đối với máy xúc lật trong quá trình tích vật liệu vào gầu, phân bố áp suất trên dải xích được lấy theo quy luật hình chữ nhật, trạng thái tĩnh; bởi vì trong nội dung nghiên cứu của luận án, sử dụng  $p_x$  để tính lực kéo  $P_k$  là một thông số đầu vào phục vụ tính toán ngoại lực cho nên không xét đến trường hợp  $p_x$  ở trạng thái động, Hình 3.7

$$p_x = 2 \frac{G_m}{b_x \cdot l_x} \cdot \frac{x}{l_x} = 2 \frac{G_m \cdot x}{b_x \cdot l_x^2}$$

Bỏ qua lực kết dính (lấy  $c=0$ ), lúc này công thức (3.56) trở thành:

$$P_K = b_x \int_0^{l_x} \frac{2G_m}{b_x \cdot l_x^2} \operatorname{tg} \phi_t \left( 1 - e^{-\frac{ix}{k_m}} \right) dx$$

$$\Rightarrow P_K = G_m \operatorname{tg} \phi_t \left[ 1 - 2 \left( \frac{k_m}{i \cdot l_x} \right)^2 \left( 1 - e^{-\frac{i \cdot l_x}{k_m}} - \frac{i \cdot l_x}{k_m} e^{-\frac{i \cdot l_x}{k_m}} \right) \right] \quad (3.54)$$

Công thức (3.57) là công thức tính lực kéo tổng cộng của máy xúc. Theo công thức này, lực kéo của máy xúc phụ thuộc vào chiều dài dải xích ( $l_x$ ), trọng lượng máy xúc và ĐNM trong gầu ( $G_m$ ), tính chất cơ lý của đất ( $\phi_t, k_m$ ) và tốc độ di chuyển của máy  $v_m$  [23]

Máy xúc lật VMC E500-1, cơ cấu di chuyển dẫn động bằng mô tơ thủy lực nên ngoài phương pháp tính lực kéo tổng quát trình bày ở trên; luận án sử dụng tính lực kéo trực tiếp thông qua mô men sinh ra trên mô tơ thủy lực tại bánh chủ động với các thông số đầu vào là áp suất, lưu lượng vận tốc di chuyển được đo trực tiếp trong điều kiện cụ thể làm việc của máy, với mục đích có kết quả nghiên cứu chính xác hơn cho trường hợp cụ thể đồng thời làm cơ sở để đánh giá độ tin cậy của mô hình, tính toán tổng quát.

Công suất truyền động của mô tơ thủy lực được tính theo công thức

$$N_{mt} = \frac{\Delta p \cdot Q_t}{612} \eta \quad (3.55)$$

Trong đó:  $N_{mt}$  - công suất mô tơ thủy lực (KW);  $\Delta p$  - áp suất của bơm ( $\text{kG/cm}^2$ );  $Q_t$  - lưu lượng riêng của mô tơ (l/ph);  $\eta$  - hiệu suất của mô tơ thủy lực (%); 612 - hệ số chuyển đổi giữa các đơn vị.

Mô men xoắn của mô tơ thủy lực được như sau

$$M_{mt} = 7,126 \frac{N_{mt}}{n} \quad (3.56)$$

Trong đó:  $M_{mt}$  - mômen xoắn trên trục của mô tơ ( $\text{kN.m}$ );  $N_{mt}$  - công suất mô tơ thủy lực (KW);  $n$  - số vòng quay của trục (vg/ph)

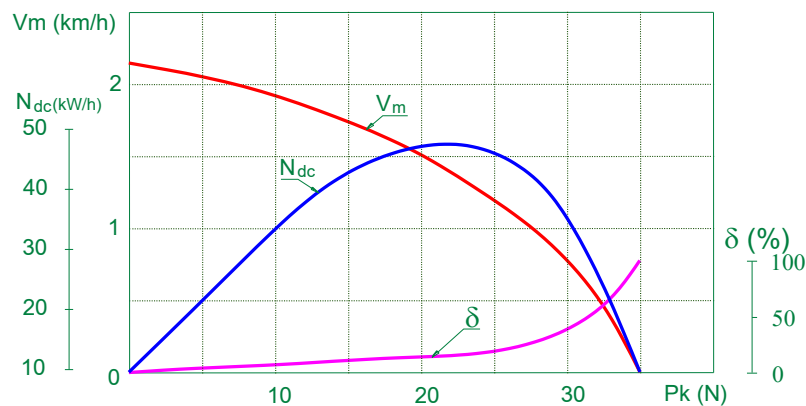
Lực kéo trên dải xích được tính theo công thức

$$P_{kx} = \frac{M_{mt}}{r_{bx}} \quad (3.57)$$

Trong đó:  $P_{kx}$  - lực kéo sinh ra trên dải xích (kN);  $M_{mt}$  - mômen xoắn trên trục của mô tơ ( $\text{kN.m}$ );  $r_{bx}$  - bán kính của bánh xe chủ động (m)

Theo các ý kiến của giáo sư H.A. Ulyanov [58][59], chế độ làm việc hợp lý nhất của máy tự hành là chế độ tương ứng với giá trị công suất kéo lớn nhất. Vì thế khi thiết kế máy xúc, xác định các phương pháp làm việc của chúng cũng tuân thủ những quy tắc này.

Sử dụng phương pháp xúc phối hợp đã đề xuất của MXLDB VMC E500-1 đối với ĐNM theo [58][59] được thể hiện bằng đường đặc tính kéo Hình 3.8

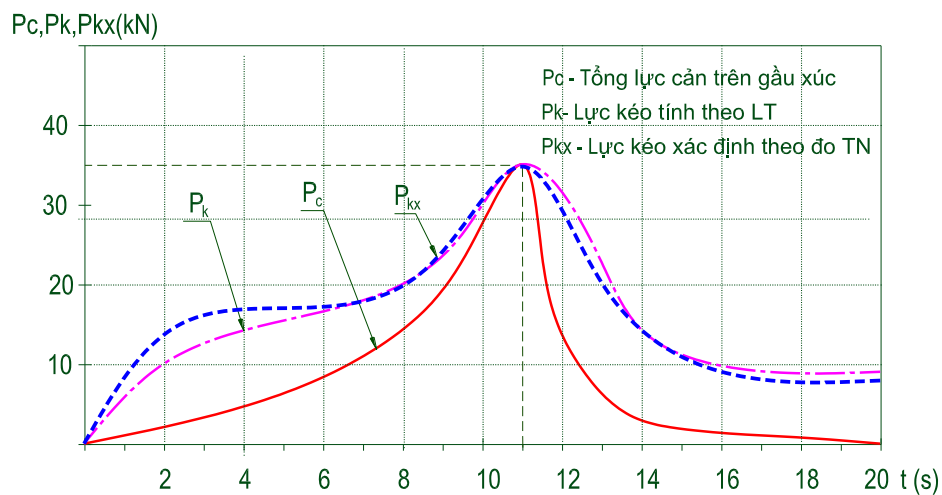


Hình 3.8. Đặc tính kéo của máy xúc lật VMC E500-1

$V_m$  - vận tốc chuyển động thực tế;  $N_{dc}$  - công suất động cơ;  $\delta$  - hệ số trượt của bộ phận chuyển động;  $P_K$  - lực kéo.

So sánh các giá trị lực cản sinh ra trong quá trình tương tác của bộ phận công tác trên máy xúc với môi trường làm việc Hình 2.12, Hình 2.13 và đường đặc tính kéo của máy xúc Hình 3.8 khẳng định các ưu điểm của phương pháp xúc phối hợp so với phương pháp ngắt quãng đang được dùng phổ biến.

Trong phương pháp xúc phối hợp, lực cản tổng mà máy xúc cần khắc phục khi ấn gầu xúc vào trong đồng vật liệu không vượt quá công suất tối đa của động cơ 50kW, điều này phù hợp với chế độ làm việc hợp lý nhất của xe, gần với chế độ có công suất kéo lớn nhất.



Hình 3.9. Mối quan hệ giữa lực cản và lực kéo của máy xúc lật đổ bên VMC E500-1

Kết quả khảo sát trên hình Hình 3.9 cho thấy mối quan hệ giữa  $P_C$  - tổng lực cản tác động lên gầu khi xúc ĐNM với  $P_k$  - Lực kéo tính theo lý thuyết, lực kéo theo điều kiện bám và  $P_{kx}$  - Lực kéo xác định theo thực nghiệm, kết nghiệm tính toán thông qua giá trị đo trực tiếp áp suất, lưu lượng của mô tơ thủy lực trên bánh chủ động; So sánh giá trị lực kéo tính theo phương pháp thực nghiệm cho kết quả sát với việc tính toán lực kéo theo lý thuyết là cơ sở khẳng định việc áp dụng công thức (3.54) để tính lực kéo đối với MXLDB là phù hợp và đáng tin cậy, có thể áp dụng trong tính toán lý thuyết hoặc những trường hợp không xác định được bằng thực nghiệm; đồng thời với kết quả này cũng là minh chứng cho mô hình và kết quả tính toán lực tương tác của chương 2 là có cơ sở khoa học và thực tiễn.

Theo nguyên lý công ảo, ta lần lượt tính các lực suy rộng như sau:

$$Q_x = -\frac{\partial \Pi}{\partial x} + P_k - F_{cx} = P_k - F_{cx} \quad (3.58)$$

$$Q_{\theta_1} = -\frac{\partial \Pi}{\partial \theta_1} + M_1 - F_{cx} \frac{\partial x_{cx}}{\partial \theta_1} - F_{cy} \frac{\partial x_{cy}}{\partial \theta_1} = -\sum_{i=1}^4 \frac{\partial \pi}{\partial y_i} \frac{\partial y_i}{\partial \theta_1} + M_1 - F_{cx} \frac{\partial x_{cx}}{\partial \theta_1} - F_{cy} \frac{\partial x_{cy}}{\partial \theta_1} \quad (3.59)$$

$$Q_{\theta_1} = -m_2 g (L_2 \cos \theta_1 \cos(\theta_2 + \delta_2) - a_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - a_1 \cos \theta_1 - m_3 g \cos \theta_1 \dots$$

$$\left( \begin{array}{l} -L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3) + \\ + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + \\ + a_2 \cos \theta_2 + a_1 \end{array} \right) - m_4 g (\cos \theta_1 \left( \begin{array}{l} L_4 \cos \delta_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \\ + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \\ + a_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \\ + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos \theta_2 + a_1 \end{array} \right) + \quad (3.60)$$

$$-(L_4 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_4) \cos \theta_1) + M_1 +$$

$$F_{Ex} \cdot (\sin \theta_1 [a_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos \theta_2 + a_1] - d_1 \cos \theta_1) -$$

$$F_{Ey} \cdot (\cos \theta_1 [a_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos \theta_2 + a_1] + d_1 \sin \theta_1)$$

$$Q_{\theta_2} = -\frac{\partial \Pi}{\partial \theta_2} + M_2 - F_{cx} \frac{\partial x_{cx}}{\partial \theta_2} - F_{cy} \frac{\partial x_{cy}}{\partial \theta_2} = -\sum_{i=1}^4 \frac{\partial \pi}{\partial y_i} \frac{\partial y_i}{\partial \theta_2} + M_2 - F_{cx} \frac{\partial x_{cx}}{\partial \theta_2} - F_{cy} \frac{\partial x_{cy}}{\partial \theta_2} \quad (3.61)$$

$$Q_{\theta_2} = m_2 g (L_2 \sin \theta_1 \sin(\theta_2 + \delta_2) - a_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2) + M_2$$

$$+ -m_3 g \cdot \sin \theta_1 (L_3 \sin(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3) - a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) - a_2 \sin \theta_2) +$$

$$-m_4 g (\sin \theta_1 \left( \begin{array}{l} -L_4 \cos \delta_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \\ -a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) - a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) - a_2 \sin \theta_2 \end{array} \right) - \quad (3.62)$$

$$-F_{Ex} (\cos \theta_1 [-a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) - a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) - a_2 \sin \theta_2]) -$$

$$-F_{Ey} (\sin \theta_1 [-a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) - a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) - a_2 \sin \theta_2])$$

$$Q_{\theta_3} = -\frac{\partial \Pi}{\partial \theta_3} + M_3 - F_{cx} \frac{\partial x_{cx}}{\partial \theta_3} - F_{cy} \frac{\partial x_{cy}}{\partial \theta_3} = -\sum_{i=1}^4 \frac{\partial \pi}{\partial y_i} \frac{\partial y_i}{\partial \theta_3} + M_3 - F_{cx} \frac{\partial x_{cx}}{\partial \theta_3} - F_{cy} \frac{\partial x_{cy}}{\partial \theta_3} \quad (3.63)$$

$$Q_{\theta_3} = -m_3 g \sin \theta_1 [L_3 \sin(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3) - a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3)] + M_3$$

$$-m_4 g (\sin \theta_1 \left( \begin{array}{l} -L_4 \cos \delta_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \\ -a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) - a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) \end{array} \right) - \quad (3.64)$$

$$F_{cx} (\cos \theta_1 [-a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) - a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3)]) -$$

$$F_{cy} (\sin \theta_1 [-a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) - a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3)])$$



$$Q_{\theta_4} = -\frac{\partial \Pi}{\partial \theta_4} + M_4 - F_{cx} \frac{\partial X_{cx}}{\partial \theta_4} - F_{cy} \frac{\partial X_{cy}}{\partial \theta_4} = -\sum_{i=1}^4 \frac{\partial \pi}{\partial y_i} \frac{\partial y_i}{\partial \theta_4} + M_4 - F_{cx} \frac{\partial X_{cx}}{\partial \theta_4} - F_{cy} \frac{\partial X_{cy}}{\partial \theta_4} \quad (3.65)$$

$$Q_{\theta_4} = -m_4 g (\sin \theta_1 \left( -L_4 \cos \delta_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \right. \\ \left. + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) - a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \right) - \quad (3.66)$$

$$F_{cx} (\cos \theta_1 [-a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)]) - F_{cy} (\sin \theta_1 [-a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)]) + M_4$$

### 3.3. Thành lập hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của hệ.

Thay các kết quả trên vào phương trình Lagrang II ta được hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của cơ hệ như sau:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_1}{\partial \dot{x}} + \frac{\partial T_2}{\partial \dot{x}} + \frac{\partial T_3}{\partial \dot{x}} + \frac{\partial T_4}{\partial \dot{x}} \right) - \left( \frac{\partial T_1}{\partial x} + \frac{\partial T_2}{\partial x} + \frac{\partial T_3}{\partial x} + \frac{\partial T_4}{\partial x} \right) = Q_x \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_1}{\partial \dot{\theta}_1} + \frac{\partial T_2}{\partial \dot{\theta}_1} + \frac{\partial T_3}{\partial \dot{\theta}_1} + \frac{\partial T_4}{\partial \dot{\theta}_1} \right) - \left( \frac{\partial T_1}{\partial \theta_1} + \frac{\partial T_2}{\partial \theta_1} + \frac{\partial T_3}{\partial \theta_1} + \frac{\partial T_4}{\partial \theta_1} \right) = Q_{\theta_1} \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_1}{\partial \dot{\theta}_2} + \frac{\partial T_2}{\partial \dot{\theta}_2} + \frac{\partial T_3}{\partial \dot{\theta}_2} + \frac{\partial T_4}{\partial \dot{\theta}_2} \right) - \left( \frac{\partial T_1}{\partial \theta_2} + \frac{\partial T_2}{\partial \theta_2} + \frac{\partial T_3}{\partial \theta_2} + \frac{\partial T_4}{\partial \theta_2} \right) = Q_{\theta_2} \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_1}{\partial \dot{\theta}_3} + \frac{\partial T_2}{\partial \dot{\theta}_3} + \frac{\partial T_3}{\partial \dot{\theta}_3} + \frac{\partial T_4}{\partial \dot{\theta}_3} \right) - \left( \frac{\partial T_1}{\partial \theta_3} + \frac{\partial T_2}{\partial \theta_3} + \frac{\partial T_3}{\partial \theta_3} + \frac{\partial T_4}{\partial \theta_3} \right) = Q_{\theta_3} \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_1}{\partial \dot{\theta}_4} + \frac{\partial T_2}{\partial \dot{\theta}_4} + \frac{\partial T_3}{\partial \dot{\theta}_4} + \frac{\partial T_4}{\partial \dot{\theta}_4} \right) - \left( \frac{\partial T_1}{\partial \theta_4} + \frac{\partial T_2}{\partial \theta_4} + \frac{\partial T_3}{\partial \theta_4} + \frac{\partial T_4}{\partial \theta_4} \right) = Q_{\theta_4} \end{cases} \quad (3.67)$$

Từ phương trình trên có thể viết gọn hệ phương trình vi phân ở dạng véc tơ như sau:

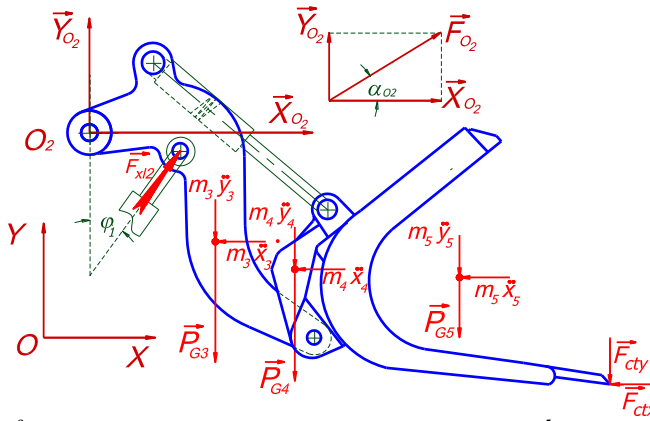
$$[M]\{\ddot{q}_i\} + [C]\{\dot{q}_i, q_i\} + [K]\{q_i\} = Q_{q_i} \quad (3.68)$$

Với các điều kiện đầu vào về kích thước, điều kiện hình học, điều kiện động học; hệ phương trình vi phân chuyển động trên có thể giải được bằng giải tích hoặc phương pháp số, các phần mềm chuyên dụng. Luận án sử dụng phương pháp Runge – Kutta 4 với bước tích phân  $H=10^{-4}$ ; kết quả nhận được là các chuyển vị, vận tốc, gia tốc và các lực, mômen động trong các khâu khớp cần, gầu của TBCT máy xúc lật.

### 3.4. Nghiên cứu xác định lực tại các khớp trong quá trình xúc, đồ ĐNM

#### 3.4.1. Xác định lực tại khớp quay cần $O_2$

Dựa trên nguyên lý Dlambe, sau khi tính được các yếu tố động lực học tương ứng của các tọa độ suy rộng  $q = [x, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4]$  bao gồm chuyển vị, vận tốc và gia tốc, ta sẽ tính toán được gia tốc của trọng tâm của khâu theo các phương x và y tương ứng; các gia tốc này sẽ sinh ra các lực quán tính tương ứng, có độ lớn bằng tích giữa khối lượng khâu với gia tốc của khâu và có chiều ngược lại với gia tốc. Như vậy lúc này sẽ thêm vào trọng tâm khâu hai lực quán tính, theo phương x và y được biểu diễn như trên Hình 3.10.



Hình 3.10. Sơ đồ tính toán lực tác dụng lên khớp quay cần  $O_2$

Để tính lực tại khớp  $O_2$ , ta tách liên kết tại  $O_2$  ra và thay thế vào đó 2 lực tương ứng theo 2 phương x và y là  $\bar{X}_{O_2}, \bar{Y}_{O_2}$ , xét cân bằng lực bên phải của khớp  $O_2$ . Các lực lúc này được biểu diễn như hình vẽ trên. Lúc này cơ hệ được cân bằng dưới tác dụng của hệ lực sau:  $\bar{X}_{O_2}, \bar{Y}_{O_2}, \bar{F}_{ctx}, \bar{F}_{cty}, \bar{F}_{xl2}, \bar{P}_{G3}, \bar{P}_{G4}, \bar{P}_{G5}, m_3\ddot{x}_3, m_4\ddot{x}_4, m_5\ddot{x}_5, m_3\ddot{y}_3, m_4\ddot{y}_4, m_5\ddot{y}_5$ . Chiếu các lực này lên phương  $Ox$  và  $Oy$  ta thu được các phương trình cân bằng sau đây:

$$\begin{cases} X_{O_2} - m_3\ddot{x}_3 - m_4\ddot{x}_4 - m_5\ddot{x}_5 - F_{ctx} + F_{xl2} \sin(\varphi_1) = 0 \\ Y_{O_2} - m_3\ddot{y}_3 - m_4\ddot{y}_4 - m_5\ddot{y}_4 - g(m_3 + m_4 + m_5) - F_{xl2} \cos(\varphi_1) - F_{cty} = 0 \end{cases} \quad (3.69)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} X_{O_2} = m_3\ddot{x}_3 + m_4\ddot{x}_4 + m_5\ddot{x}_5 + F_{ctx} - F_{xl2} \sin(\varphi_1) \\ Y_{O_2} = m_3\ddot{y}_3 + m_4\ddot{y}_4 + m_5\ddot{y}_5 + g(m_3 + m_4 + m_5) + F_{xl2} \cos(\varphi_1) + F_{cty} \end{cases} \quad (3.70)$$

Độ lớn của lực tại khớp  $O_2$  lúc này được tính như sau:

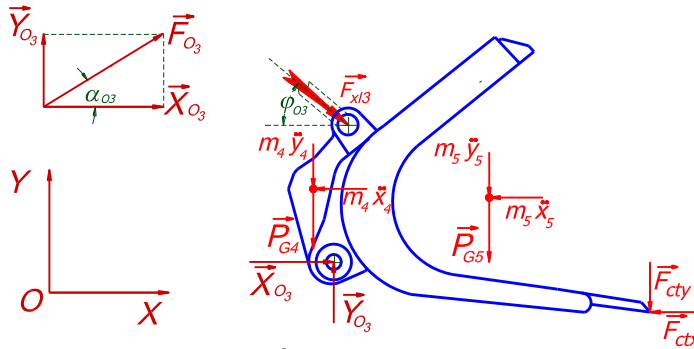
$$F_{O_2} = \sqrt{X_{O_2}^2 + Y_{O_2}^2} \quad (3.71)$$

với góc hợp với phương Ox:  $\alpha_{O_2} = \arccos\left(\frac{X_{O_2}}{F_{O_2}}\right)$

Ta thấy rằng ở đây lực  $\vec{F}_{O_2}$  ngoài việc phụ thuộc ảnh hưởng bởi khối lượng các khâu và các lực cản tác dụng lên răng gầu nó còn là 1 hàm liên tục biến đổi theo thời gian và phụ thuộc vào các biến tọa độ suy rộng  $q = [x, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4]$  cùng với vận tốc và gia tốc tương ứng của chúng.

### 3.4.2. Xác định lực tại khớp quay gầu xúc $O_3$

Tính lực trên khớp  $O_3$ , thực hiện tương tự như quá trình tính lực trên khớp  $O_2$ .



Hình 3.11. Sơ đồ tính toán lực tác dụng lên khớp quay lật gầu  $O_5$

Hình 3.12. Sơ đồ tính toán lực tác dụng lên khớp quay gầu  $O_3$

Ta tách khớp  $O_3$  và thay thế vào đó 2 phản lực liên kết là  $\vec{X}_{O_3}, \vec{Y}_{O_3}$  xét cân bằng lực bên phải của khớp  $O_3$ . Các lực lúc này được biểu diễn như trên Hình 3.12. Lúc này cơ hệ được cân bằng dưới tác dụng của hệ lực sau:  $\vec{X}_{O_3}, \vec{Y}_{O_3}, \vec{F}_{x13}, \vec{P}_{G4}, \vec{P}_{G5}, m_4\ddot{x}_4, m_4\ddot{y}_4, m_5\ddot{x}_5, m_5\ddot{y}_5, \vec{F}_{ctx}, \vec{F}_{cty}$ . Chiếu các lực này lên phương Ox và Oy ta thu được các phương trình cân bằng sau đây:

$$\begin{cases} X_{O_3} - m_4\ddot{x}_4 - m_5\ddot{x}_5 - F_{ctx} + F_{x13}\cos(\varphi_2) = 0 \\ Y_{O_3} - m_4\ddot{y}_4 - m_5\ddot{y}_5 - g(m_4 + m_5) - F_{x13}\sin(\varphi_2) - F_{cty} = 0 \end{cases} \quad (3.72)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} X_{O_3} = m_5\ddot{x}_5 + F_{ctx} - F_{x13}\cos(\varphi_2) \\ Y_{O_3} = m_5\ddot{y}_5 + g(m_5) + F_{x13}\sin(\varphi_2) + F_{cty} \end{cases} \quad (3.73)$$

Độ lớn của lực tại khớp  $O_3$  lúc này được tính như sau:

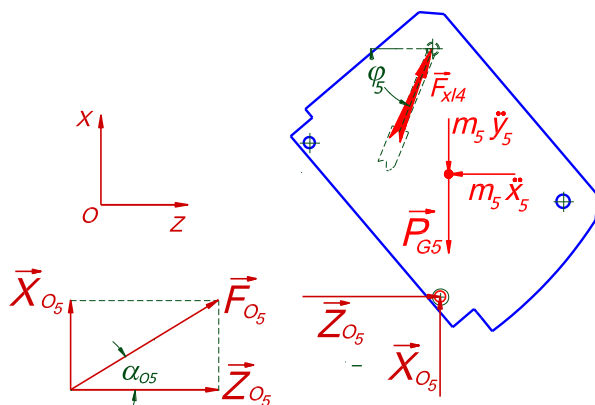
$$F_{O_3} = \sqrt{X_{O_3}^2 + Y_{O_3}^2} \quad (3.74)$$

với góc hợp với phương Ox:  $\alpha_{O_3} = \arccos\left(\frac{X_{O_3}}{F_{O_3}}\right)$

Tương tự khớp tại  $O_2$ , Ta thấy rằng ở đây lực  $\vec{F}_{O_3}$  ngoài việc phụ thuộc ảnh hưởng bởi khối lượng các khâu và các lực cản tác dụng lên răng gầu nó còn là 1 hàm liên tục biến đổi theo thời gian và phụ thuộc vào các biến tọa độ suy rộng  $q = [x, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4]$  cùng với vận tốc và gia tốc tương ứng của chúng.

### 3.4.3. Xác định lực tại khớp quay lật gầu $O_5$

Tính lực trong khớp  $O_5$ , thực hiện tương tự khi tính các lực  $O_2$  và  $O_3$



Hình 3.13. Sơ đồ tính toán lực tác dụng lên khớp quay lật gầu  $O_5$

Lúc này ta tách lực tại khớp  $O_5$  ra và thay thế bằng hai phản lực  $\vec{X}_{O_5}, \vec{Z}_{O_5}$ , xét cân bằng lực tác dụng lên cơ hệ lúc này là hệ gầu xúc, bao gồm các lực sau:  $\vec{X}_{O_5}, \vec{Z}_{O_5}, \vec{F}_{x14}$  và  $\vec{P}_{G5}, m_5\ddot{x}_5, m_5\ddot{z}_5$ . Chiếu hệ lực này lên 2 phương vuông góc Ox và Oy ta có:

$$\begin{cases} X_{O_5} - m_5\ddot{x}_5 - F_{x14}\cos(\theta_4) = 0 \\ Z_{O_5} - m_5\ddot{z}_5 - g(m_5) - F_{x14}\sin(\theta_4) = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X_{O_5} = m_5\ddot{x}_5 + F_{x14}\cos(\theta_4) \\ Z_{O_5} = m_5\ddot{z}_5 + g(m_5) + F_{x14}\sin(\theta_4) \end{cases} \quad (3.75)$$

Độ lớn của lực tại khớp  $O_5$  lúc này được tính như sau:

$$F_{O_5} = \sqrt{X_{O_5}^2 + Z_{O_5}^2} \quad (3.76)$$

với góc hợp với phương Ox:  $\alpha_{O_5} = \arccos\left(\frac{X_{O_5}}{F_{O_5}}\right)$

## 3.5. Kết quả khảo sát tính toán.

### 3.5.1. Các thông số đầu vào phục vụ tính toán

Các số liệu thông số hình học và kết cấu được cho như trong bảng 3.1.

Bảng 3.1. Các thông số động học phục vụ tính toán.

STT	Thông số cơ bản	Đơn vị tính	Giá trị
1	Chiều dài kết cấu, $l_1$	m	0,5

2	Chiều dài kết cấu, $l_2$	m	0,4
3	Chiều dài kết cấu, $l_3$	m	0,4
4	Chiều dài kết cấu, $a_1$	m	0,3
5	Chiều dài kết cấu, $a_2$	m	0,963
6	Chiều dài kết cấu, $a_3$	m	0,95
7	Chiều dài kết cấu, $a_4$	m	1
8	Khối thân lượng máy ( $m_1$ )	kg	5.858,4
9	Khối lượng giá quay TBCT ( $m_2$ )	kg	200
10	Khối lượng cần ( $m_3$ )	kg	885,6
11	Khối lượng giá gầu xúc ( $m_4$ )	kg	381
11	Khối lượng gầu xúc + ĐNM ( $m_5$ )	kg	675 + 900
12	Mô men khâu, $M_1$	Nm	-50
13	Mô men khâu, $M_2$	Nm	180
14	Mô men khâu, $M_3$	Nm	80
15	Mô men khâu, $M_4$	Nm	10
16	Mô men quán tính khâu, $J_{1y}$	Kg.m <sup>2</sup>	0
17	Mô men quán tính khâu, $J_{2x}$	Kg.m <sup>2</sup>	2200
18	Mô men quán tính khâu, $J_{2y}$	Kg.m <sup>2</sup>	2100
19	Mô men quán tính khâu, $J_{2z}$	Kg.m <sup>2</sup>	2000
20	Mô men quán tính khâu, $J_{3x}$	Kg.m <sup>2</sup>	1120
21	Mô men quán tính khâu, $J_{3y}$	Kg.m <sup>2</sup>	1100
22	Mô men quán tính khâu, $J_{3z}$	Kg.m <sup>2</sup>	1000

### 3.5.2. Điều kiện ban đầu.

Chu trình làm việc của máy xúc lật đổ bên được thực hiện theo trình tự sau: máy chuyên động tịnh tiến kết hợp nâng gầu xúc, quay gầu để tích vật liệu vào gầu; khi đã xúc đầy nâng cần và gầu kết hợp với di chuyển lùi; trong quá trình này  $\theta_1, \theta_4$  cố định. Sau khi nâng cần và di chuyển đến vị trí đổ ĐNM tiến hành quay thiết bị công tác về phía xe chở ĐNM; quá trình này chỉ  $\theta_1$  thay đổi còn  $x, \theta_2, \theta_3, \theta_4$  cố định. Quá trình đổ ĐNM được diễn ra sau khi quay TBCT đến vị trí đổ; trong quá trình này  $\theta_4$  thay đổi;  $x, \theta_1, \theta_2, \theta_3$  cố định. Để khảo sát chu trình làm việc của máy cần xác định các thông số ban đầu cho từng quá trình làm việc như sau.

### Quá trình tích và xúc ĐNM

Điều kiện xác định ở thời điểm  $t_0$ , thời gian khảo sát trong khoảng 20s. Để tích ĐNM vào gầu máy di chuyển tịnh tiến một khoảng  $x_0$  tương ứng  $L_{AG}=0,72m$ , với vận tốc trung bình  $V_{xtb}=0,1m/s$ ; trong thời gian  $t=7s$ , gia tốc sau khi xe chuyển động ấn gầu vào đồng ĐNM,  $a_0=0,03m/s$ , đạt vận tốc cực đại sau 5s,  $V_{x_0max}=0,5m/s$ . Giai đoạn làm đầy gầu bằng quay gầu và nâng cần; xe tiếp tục di chuyển  $x=0,97m$ ,  $t_0=13s$ ;  $V_{xtb}=0,075m/s$ ;  $a_0=0,0057m/s$ . Tương ứng với các góc quay như sau: góc quay giá thiết bị công tác  $\theta_{1_0} = \text{const}$ ;  $\dot{\theta}_{1_0} = 0$ ;  $\ddot{\theta}_{1_0} = 0$ ; góc quay nâng cần  $\theta_{2_0}$  thay đổi từ  $-7\pi/36$  đến  $\pi/30$ , tính theo trục  $O_2 X_2$ ;  $\dot{\theta}_{2_0} = 0,038 \text{ rad/s}$ ;  $\ddot{\theta}_{2_0} = 0,05 \text{ rad/s}^2$ ; góc quay gầu  $\theta_{3_0}$  thay đổi từ  $-23\pi/60$  đến  $-7\pi/36$ , tính theo trục  $O_3 X_3$ ,  $\dot{\theta}_{3_0} = 0,01 \text{ rad/s}$ ,  $\ddot{\theta}_{3_0} = 0,001 \text{ rad/s}^2$ ; góc lật gầu không thay đổi  $\theta_{4_0} = \text{const}$ ;  $\dot{\theta}_{4_0} = 0$ ;  $\ddot{\theta}_{4_0} = 0$ .

### Quá trình nâng cần và lùi máy

Điều kiện xác định ở thời điểm  $t_1$ , thời gian khảo sát trong khoảng 10s, là quá trình nối tiếp của quá trình xúc và tích ĐNM nên lúc này  $x_1=1,69m$ ,  $\dot{x}_1=0,2m/s$ ,  $\ddot{x}_1=0,0057 \text{ m/s}^2$ ;  $\theta_{1_1} = \text{const}$ ;  $\dot{\theta}_{1_1} = 0$ ;  $\ddot{\theta}_{1_1} = 0$ ;  $\theta_{2_1} = -\pi/30$ , tính theo trục  $O_2 X_2$ ;  $\dot{\theta}_{2_1} = 0,038 \text{ rad/s}$ ,  $\ddot{\theta}_{2_1} = 0,005 \text{ rad/s}^2$ ;  $\theta_{3_1} = -7\pi/36$ , tính theo trục  $O_3 X_3$ ,  $\dot{\theta}_{3_1} = 0,01 \text{ rad/s}$ ,  $\ddot{\theta}_{3_1} = 0,001 \text{ rad/s}^2$ ;  $\theta_{4_1} = \text{const}$ ;  $\dot{\theta}_{4_1} = 0$ ;  $\ddot{\theta}_{4_1} = 0$ ;

### Quá trình quay thiết bị công tác

Điều kiện xác định ở thời điểm  $t_2$ , thời gian khảo sát trong khoảng 3s, là quá trình nối tiếp của quá trình nâng cần và lùi máy; máy đứng yên và xoay TBCT đến vị trí đổ ĐNM trong gầu; các giá trị lúc này  $x_2=-2m$ ,  $\dot{x}_2=0$ ,  $\ddot{x}_2=0$ ;  $\theta_{1_2}$  thay đổi trong khoảng từ 0 đến  $\pi/4$ ;  $\dot{\theta}_{1_2} = 0,26 \text{ rad/s}$ ,  $\ddot{\theta}_{1_2} = 0,18 \text{ rad/s}^2$ ;  $\theta_{2_2} = -\pi/30$ , tính theo trục  $O_2 X_2$ ;  $\dot{\theta}_{2_2} = 0$ ;  $\ddot{\theta}_{2_2} = 0$ ;  $\theta_{3_2} = -7\pi/36$ , tính theo trục  $O_3 X_3$ ,  $\dot{\theta}_{3_2} = 0$ ;  $\ddot{\theta}_{3_2} = 0$ ,  $\theta_{4_2} = \text{const}$ ;  $\dot{\theta}_{4_2} = 0$ ;  $\ddot{\theta}_{4_2} = 0$ ;

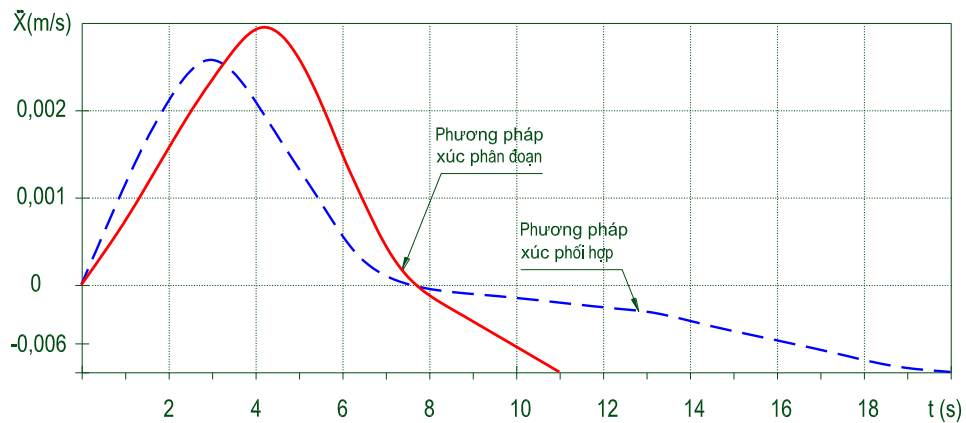
### Quá trình đổ ĐNM

Điều kiện xác định ở thời điểm  $t_3$ , thời gian khảo sát trong khoảng 5s, là quá trình nối tiếp của quá trình quay TBCT; các giá trị lúc này  $x_3 = -2\text{m}$ ,  $\dot{x}_3 = 0$ ,  $\ddot{x}_3 = 0$ ;  $\theta_{1_3} = \pi / 12$ ;  $\dot{\theta}_{1_3} = 0$ ;  $\ddot{\theta}_{1_3} = 0$ ;  $\theta_{2_3} = -\pi / 30$ , tính theo trục  $O_2 X_2$ ;  $\dot{\theta}_{2_3} = 0$ ;  $\ddot{\theta}_{2_3} = 0$ ;  $\theta_{3_3} = -7\pi / 36$ , tính theo trục  $O_3 X_3$ ,  $\dot{\theta}_{3_3} = 0$ ;  $\ddot{\theta}_{3_3} = 0$ ,  $\theta_{4_3}$  thay đổi trong khoảng từ 0 đến  $5\pi/18$ ,  $\dot{\theta}_{4_3} = 0,17 \text{ rad/s}$ ,  $\ddot{\theta}_{4_3} = 0,1 \text{ rad/s}^2$ .

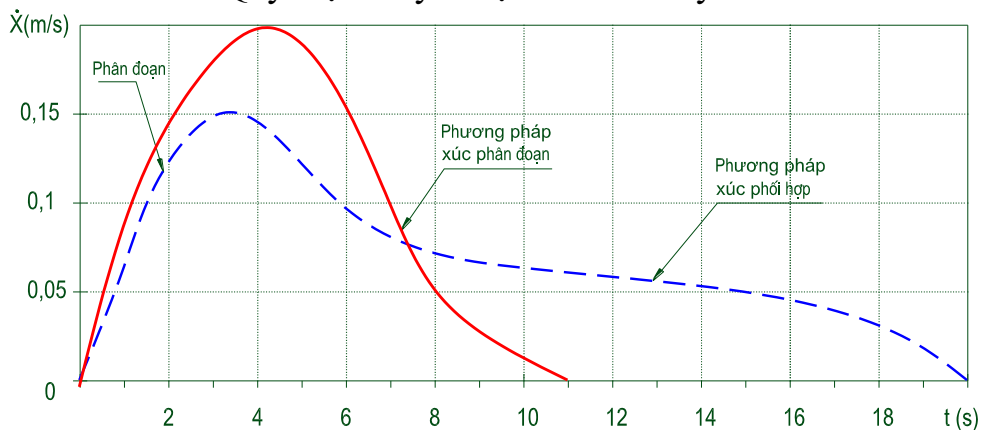
### 3.5.3. Kết quả khảo sát chuyển vị, vận tốc, gia tốc của các khâu khi xúc, đổ ĐNM

Trên cơ sở các thông số đầu vào và các công thức tính toán trình bày trong chương của luận án, kết hợp sử dụng chương trình tính toán matlab, đã đưa ra một số đồ thị như sau:

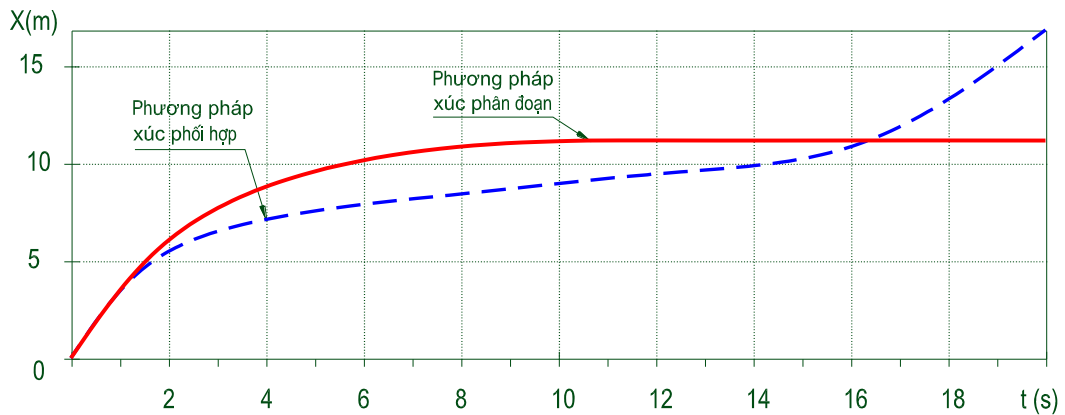
#### 3.5.3.1. Chuyển vị, vận tốc, gia tốc của thân máy



Hình 3.14. Quy luật chuyển vị của thân máy khi xúc ĐNM



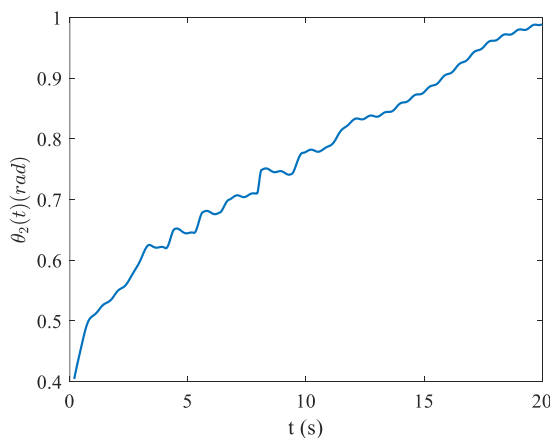
Hình 3.15. Quy luật thay đổi vận tốc của thân máy khi xúc ĐNM



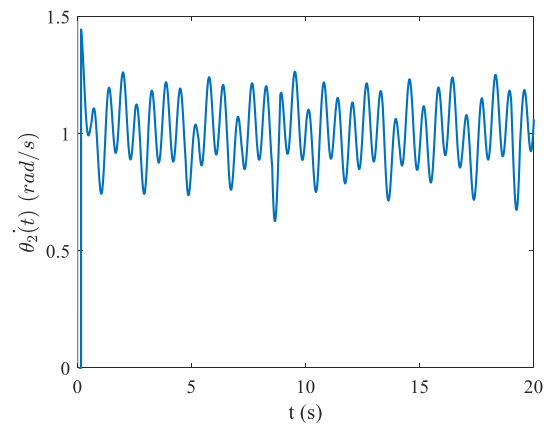
Hình 3.16. Quy luật thay đổi gia tốc của thân máy khi xúc ĐNM

Nhận xét, quy luật của các đồ thị cho thấy: quá trình xúc ĐNM bằng phương pháp phối hợp máy di chuyển trong suốt thời gian khảo sát từ  $t=0$  đến  $t=20s$ ; trong đó: khoảng thời gian từ  $t=0$  đến  $t=7$  là quá trình di chuyển tịnh tiến ấn gầu vào đồng ĐNM và khoảng thời gian từ  $t=8$  đến  $t=20$  là quá trình vừa di chuyển kết hợp nâng cần, quay gầu để làm đầy gầu; vận tốc và gia tốc cũng liên tục thay đổi theo nhưng với phương pháp xúc ĐNM bằng phương pháp phân đoạn máy chỉ di chuyển trong khoảng thời gian từ  $t=0$  đến  $t=11s$  sau đó máy dừng lại vì quá trình nâng cần và quay gầu của phương pháp này máy đứng yên không di chuyển; vận tốc và gia tốc cũng liên tục thay đổi; so sánh các giá trị cho thấy quá trình xúc ĐNM theo phương pháp phân đoạn tuy di chuyển ngắn nhưng có giá trị vận tốc và gia tốc lớn hơn.

### 3.5.3.2. Chuyển vị, vận tốc và gia tốc khâu nâng cần

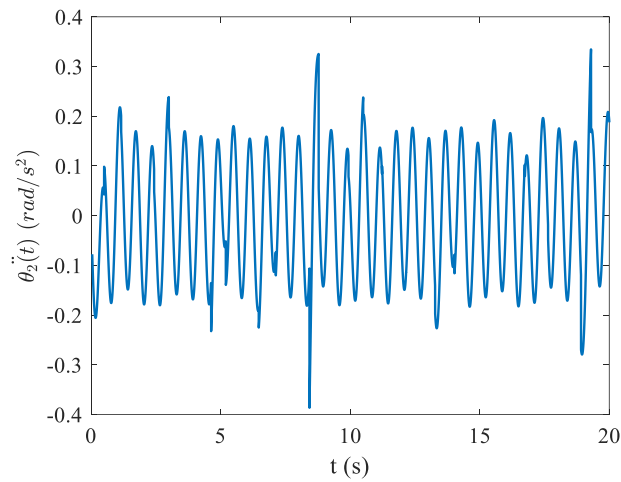


Hình 3.17. Quy luật biến đổi của góc  $\theta_2$  theo thời gian



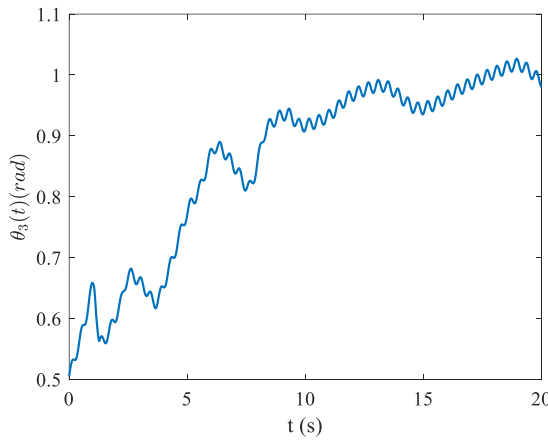
Hình 3.18. Quy luật biến đổi của vận tốc góc  $\dot{\theta}_2$  theo thời gian



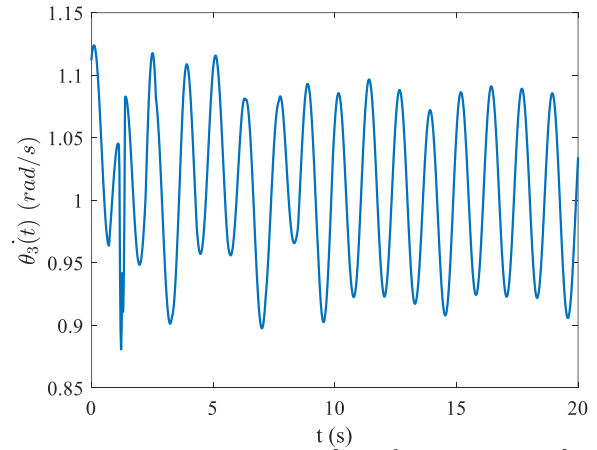


Hình 3.19. Quy luật biến đổi của gia tốc góc  $\ddot{\theta}_2$  theo thời gian

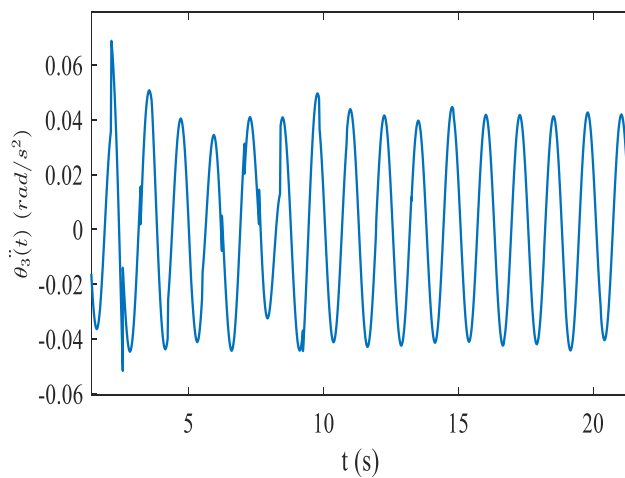
### 3.5.3.3. Chuyển vị, vận tốc và gia tốc gầu xúc



Hình 3.20. Quy luật biến đổi của góc  $\theta_3$  theo thời gian

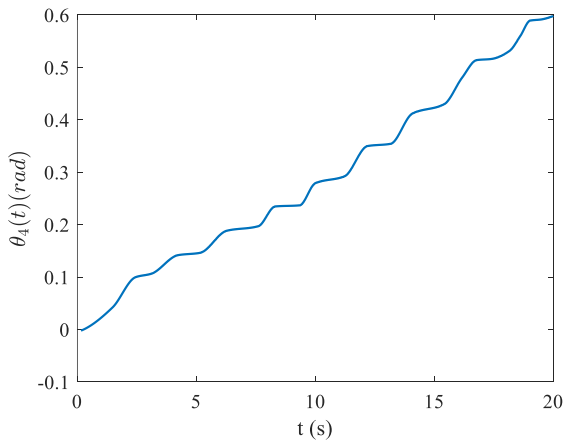


Hình 3.21. Quy luật biến đổi của vận tốc góc  $\dot{\theta}_3$  theo thời gian

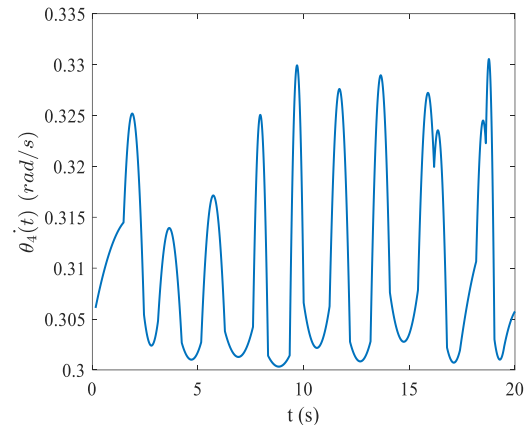


Hình 3.22. Quy luật biến đổi của gia tốc góc  $\ddot{\theta}_3$  theo thời gian

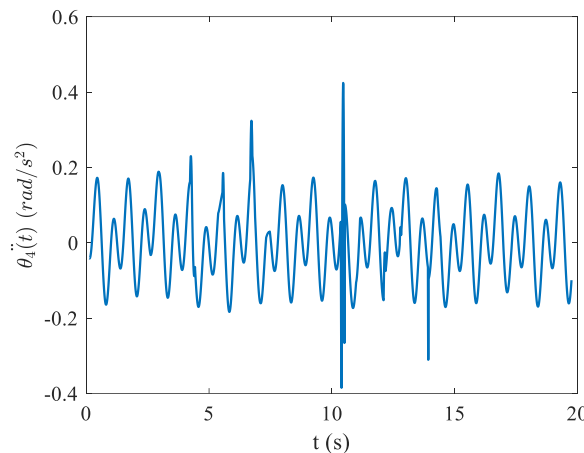
### 3.5.3.4. Chuyển vị, vận tốc và gia tốc góc lật gầu



Hình 3.23. Quy luật biến đổi của góc  $\theta_4$  theo thời gian



Hình 3.24. Quy luật biến đổi của vận tốc góc  $\dot{\theta}_4$  theo thời gian



Hình 3.25. Quy luật biến đổi của gia tốc góc  $\ddot{\theta}_4$  theo thời gian

Nhận xét, kết quả đồ thị chuyển vị góc, vận tốc góc và gia tốc góc của khâu nâng cân, quay gầu, lật gầu từ đồ thị Hình 3.17 đến Hình 3.25 cho thấy:

- Giá trị của các quy luật này liên tục thay đổi theo thời gian khảo sát, mặc dù điều khiển máy ở chế độ nâng cân, quay gầu hoặc lật gầu và công suất động cơ ở vị trí cố định. Điều này chứng tỏ giá trị lực tác dụng lên máy xúc lật là liên tục thay đổi;

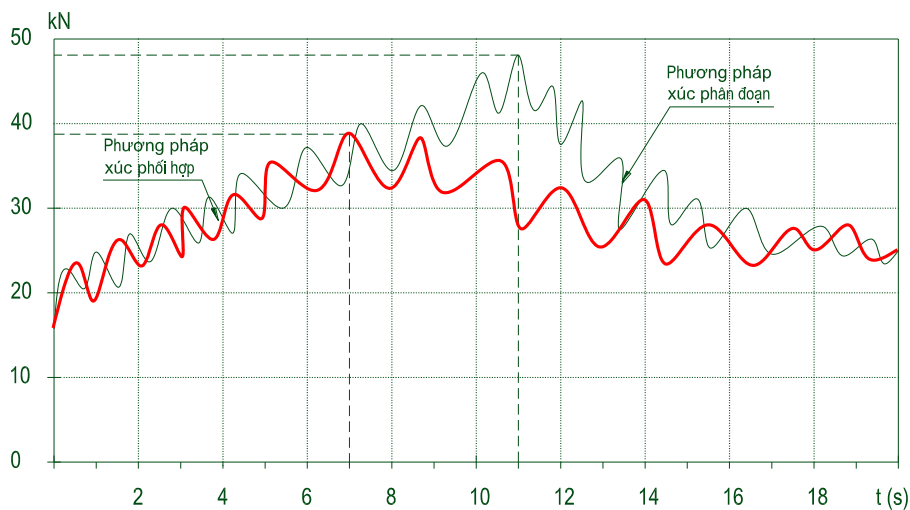
- Chuyển vị góc  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ ,  $\theta_4$  thay đổi liên tục từ giá trị ban đầu cho tới khi hết hành trình di chuyển của xi lanh. Ở kết quả này, luận án đang khảo sát quá trình nâng cân, quay gầu lên và lật gầu – tương ứng với quá trình xúc và đổ ĐNM. Các giá trị này trước khi đạt tới giá trị lớn nhất chúng liên tục thay đổi sau đó mới ổn định dần do khi vận hành có lực tác động

lên máy xúc liên tục thay đổi tác dụng lên các xy lanh, lúc này ta coi các xi lanh như 1 hệ lò xo – cản nhớt;

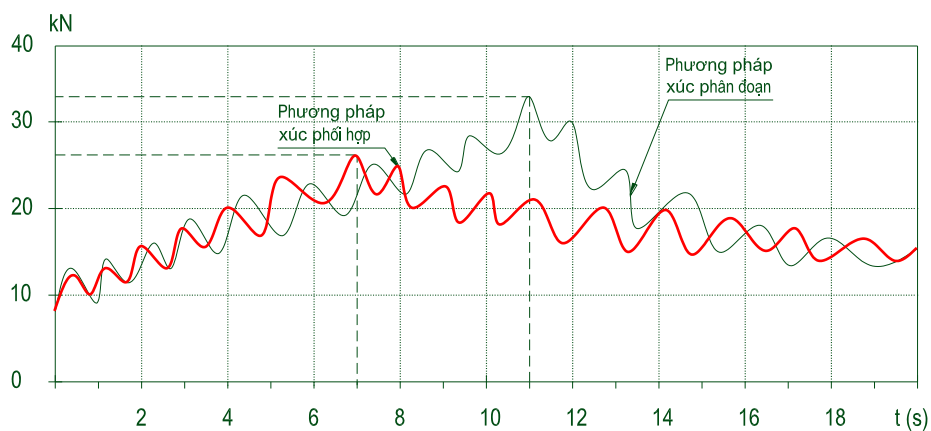
- Lực tác dụng lên các xi lanh liên tục thay đổi giảm tăng dần tới giá trị cực đại (hành trình của xy lanh bắt đầu dịch chuyển làm cho gầu quay trong đồng ĐNM và khi ĐNM đầy ở trong gầu) và giảm dần cho tới giá trị nhỏ nhất (hết hành trình di chuyển của xy lanh lúc này gầu tách khỏi đồng ĐNM và ĐNM đã được đổ hết lên xe goong, chỉ còn lại khối lượng bản thân của gầu xúc);

- Quy luật thay đổi của vận tốc và gia tốc góc của góc nâng cần, quay gầu và lật gầu thay đổi với quy luật phức tạp hơn giá trị chuyển vị góc. Tần số và biên độ của chúng liên tục thay đổi theo thời gian.

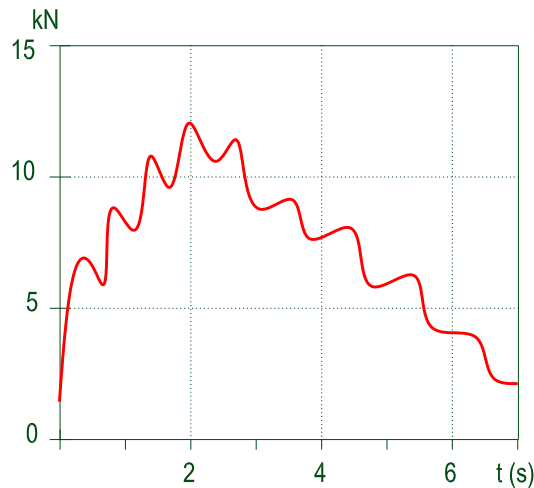
### 3.5.4. Kết quả lực tác dụng lên các khớp làm việc theo thời gian



Hình 3.26. Đồ thị lực tại khớp  $O_2$  theo thời gian



Hình 3.27. Đồ thị lực tại khớp  $O_3$  theo thời gian



Hình 3.28. Đồ thị lực tại khớp  $O_5$  theo thời gian

Nhận xét đồ thị lực thấy rằng, giá trị lực tác dụng lên các khớp  $O_2$ ,  $O_3$  và  $O_5$  liên tục thay đổi theo thời gian làm việc của máy, ở đây là thay đổi cả về biên độ và tần số cụ thể như sau:

Đối với khớp  $O_2$ , lực tác dụng lớn nhất lên khớp này là 48,5 kN tại thời điểm  $t=13$  s, ứng với cuối giai đoạn ấn sâu gầu vào đồng ĐNM và đầu giai đoạn quay gầu làm đầy, của quá trình xúc ĐNM bằng phương pháp phân đoạn truyền thống. Lúc này giá trị của các lực bao gồm: lực cản răng gầu, lực cản trước tác dụng lên máy, lực cản bên là lớn nhất, làm cho phản lực tác dụng lên khớp  $O_2$  đạt giá trị max, các giá trị lực sau đó giảm dần và ổn định khi gầu xúc không tiếp xúc với đồng ĐNM trong quá trình nâng cần và quay gầu để làm đầy gầu, trong khi máy đứng yên; làm cho lực tại khớp  $O_2$  giảm theo. Tương tự quá trình xúc ĐNM bằng phương pháp phối hợp mà luận án đề xuất trong chương 2; giá trị lực tác dụng lên khớp  $O_2$  đạt giá trị lớn nhất là 39kN, tại thời điểm  $t=7$ s, sau đó giảm dần; ứng với giai đoạn này là ấn sơ bộ gầu xúc vào trong đồng ĐNM với chiều sâu ấn  $L_{AG}=0,9L_{SG}$ . Quá trình làm đầy gầu của phương pháp này ngoài nâng cần, quay gầu còn có sự kết hợp của di chuyển máy.

Khớp  $O_3$  liên kết với khớp  $O_2$  qua cần nâng bởi vậy quy luật thay đổi lực tác dụng trên khớp  $O_3$ , tại các thời điểm và các phương pháp xúc có nét tương đồng với khớp  $O_2$ ; tuy nhiên giá trị lực trên khớp này có giá trị nhỏ hơn, tại  $t=7$  và  $t=13$  có giá trị lớn nhất là 33kN và 25,5 kN.

Xét tổng thể tại hai khớp với hai phương pháp xúc ta nhận thấy rằng, giá trị lực lớn nhất tại các khớp và quy luật thay đổi lực của phương pháp xúc phân đoạn lớn hơn khoảng 19% và thay đổi nhanh hơn so với phương pháp xúc phối hợp. nguyên nhân của sự sai khác giữa hai phương pháp này là do khi xúc ĐNM bằng phương pháp phối hợp, giá trị  $L_{AG}$  nhỏ hơn và khi nâng cần, quay gầu, đồng thời kết hợp với di chuyển tịnh tiến của xe;

Đối với khớp  $O_5$ . Lúc đầu, khi khớp chưa làm việc, nó chỉ chịu một phản lực tĩnh, do quá trình giữ chôt tạo ra. Khi bắt đầu chuyển sang giai đoạn lật gầu để đổ vật liệu lên xe goong, lực tác dụng lên khớp  $O_5$  tăng dần lên cho đến khi đạt giá trị cực đại rồi giảm dần do vật liệu di chuyển ra khỏi gầu xúc.

### Kết luận chương 3

1. Trên cơ sở phân tích đặc điểm kết cấu, nguyên lý, điều kiện làm việc, mô hình ĐLH trong luận án được xây dựng với các giả thiết cho trường hợp MXLDB VMC E500-1 khi xúc và đổ ĐNM trong đường hầm có không gian chật hẹp. Sử dụng phương trình Lagrange loại II với các kết quả tính toán động năng, thế năng, hàm hao tán và các lực suy rộng thiết lập được hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của cơ hệ;

2. Bằng phương pháp tích phân số trực tiếp Runge – Kutta 4, với các điều kiện đầu vào về kích thước hình học, thông số động học quá trình xúc, đổ ĐNM; kết quả nhận được là các chuyển vị, vận tốc, gia tốc và các lực, mômen động trong các khâu khớp cần, gầu của máy xúc lật, khi xúc và đổ ĐNM trong từng trường hợp, điều kiện cụ thể;

3. So sánh các giá trị lực lớn nhất tại các khớp  $O_2$ ,  $O_3$  và  $O_5$  cho thấy, lực tác dụng lên các khớp  $O_2$ , và  $O_3$  có giá trị lớn nhất là 48,5 kN và 33kN, tại thời điểm  $t = 13s$ ; 39kN và 25,5 kN, tại thời điểm  $t = 7s$  ứng với chiều sâu ấn gầu  $L_{AG}=0,9L_{SG}$  và  $L_{AG}=1,1L_{SG}$  của quá trình xúc ĐNM bằng phương pháp phân đoạn truyền thống và phương pháp phối hợp mà luận án đề xuất trong chương 2

cho thấy rằng, giá trị lực lớn nhất tại các khớp và quy luật thay đổi lực của phương pháp xúc phân đoạn lớn hơn khoảng 19% và thay đổi nhanh hơn so với phương pháp xúc phối hợp, đồng thời lớn hơn bốn lần lực lớn nhất tác dụng lên khớp quay  $O_5$  ( $F_{O_2, \max} = 48,5 \text{ kN}$ ;  $F_{O_5, \max} = 12 \text{ kN}$ ); điều này chỉ ra rằng khi tính toán kiểm bền chi tiết, ta chỉ cần xét cho quá trình tích ĐNM bằng phương pháp phân đoạn.

4. Các kết quả khảo sát ĐLH là căn cứ chính để thực hiện các khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến tải trọng động tác dụng lên các bộ phận máy xúc lật, đồng thời là cơ sở kiểm chứng, so sánh tính hợp lý, hiệu quả khi xúc ĐNM trong đường hầm không gian chật hẹp bằng phương pháp phối hợp so với các phương pháp xúc khác mà luận án đã trình bày trong chương 2; Ngoài ra các thông số ĐLH tìm được cũng chính là cơ sở để giải các bài toán khác về động lực học máy, độ bền và tối ưu kết cấu của MXLDB VMC E500-1.

## Chương 4: NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

### 4.1. Cơ sở, mục đích, đối tượng và các thông số nghiên cứu thực nghiệm

#### 4.1.1. Cơ sở, mục đích nghiên cứu thực nghiệm

##### *Cơ sở nghiên cứu thực nghiệm*

Khi máy xúc thực hiện quá trình xúc ĐNM trong điều kiện thi công đường hầm bằng phương pháp khoan nổ, có kích thước đa dạng phân bố rải rác trên mặt nền mấp mô, quá trình tương tác giữa răng gầu xúc với ĐNM diễn ra khá phức tạp, nên việc xác định lực cản tác dụng lên răng gầu và lực tác động lên các khớp theo công thức lý thuyết có thể cho kết quả chưa thật tin cậy; mặt khác khi tính toán ĐLH cần có các số liệu điều kiện ban đầu; vì vậy cần phải tiến hành thực nghiệm để kiểm nghiệm lại kết quả tính toán theo lý thuyết với số liệu đo đạc thực nghiệm cũng như có số liệu đầu vào để phục vụ quá trình tính toán.

##### *Mục đích nghiên cứu thực nghiệm.*

- Xác định một số thông số bằng thực nghiệm để làm bộ dữ liệu đầu vào phục vụ quá trình tính toán, khảo sát;

- Sử dụng kết quả thực nghiệm so sánh với kết quả tính toán lý thuyết để làm cơ sở khoa học minh chứng tính đúng đắn, độ tin cậy của các mô hình và các công thức tính toán lý thuyết.

#### 4.1.2. Đối tượng và điều kiện thực nghiệm

##### 4.1.2.1. Đối tượng thực nghiệm

MXLDB VMC E500-1 do Công ty Cổ phần chế tạo máy- Vinacumin, Tập đoàn Công nghiệp Than-Khoáng sản Việt Nam chế tạo Hình 2.1 với các thông số kỹ thuật được trình bày trong phụ lục 1.

##### 4.1.2.2. Điều kiện thực nghiệm.

Sử dụng đá sau khoan nổ mìn được lấy trực tiếp trong đường hầm, của các lần khoan nổ về bãi thử nghiệm của Nhà máy Hình 4.1.



a) Điều kiện thử nghiệm của máy      b) Môi trường làm việc thực tế của máy  
 Hình 4.1. Điều kiện thử nghiệm và môi trường làm việc thực tế của máy

#### 4.1.3. Các thông số thực nghiệm cần đo

- Bộ thông số đo làm dữ liệu đầu vào phục vụ quá trình tính toán gồm: Áp suất, lưu lượng của các xi lanh và mô tơ thủy lực; tốc độ di chuyển của máy trong chu trình làm việc khép kín;

- Xác định lực tác dụng lên các khớp trong quá trình làm việc của máy.

#### 4.2. Trang thiết bị thí nghiệm.

Các trang thiết bị, dụng cụ để phục quá trình thử nghiệm bao gồm:

- Đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13      - Đầu đo áp suất OCM-511;
- Đầu đo lưu lượng R4S-7HD;                      - Cảm biến đo khoảng cách H7;
- Cảm biến đo vận tốc GSS25;                      - Tenzo đo biến dạng
- Thiết bị xử lý tín hiệu NI;                              - Thiết bị xử lý tín hiệu Spider 8
- Máy tính cài phần mềm xử lý tín hiệu DaSyLab 11 và catman.

##### 4.2.1. Đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13

Tốc độ vòng quay của bánh sao chủ động được đo bằng đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13, Hình 4.2. Thiết bị này có thể xuất tín hiệu dạng analog sang các bộ xử lý tín hiệu khác, phục vụ việc ghi dữ liệu và đồng bộ với các thiết bị đo khác. Các thông số kỹ thuật của đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13 được ghi trong Bảng 4.1.





Hình 4.2. Đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13

Bảng 4.1. Thông số kỹ thuật của đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13.

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị	Ghi chú
1	Kiểu hiển thị			Màn hình LCD 5 số
2	Dải đo	$5 \div 2 \times 10^5$	v/ph	
3	Độ chính xác	$\pm 0,01$	%	
4	Công suất laser	1	mW	
5	Bước sóng laser	650	nm	
6	Chùm tia phân kỳ	$< 1,5$	mrad	
7	Kích thước chùm tia	4x7	mm	Ở khoảng cách 2m
8	Cổng kết nối	3,5	mm	
9	Khoảng cách đo tối đa	7,62	m	
10	Góc đo tối đa	70	Độ	
11	Tuổi thọ bóng laser	8000	giờ	
12	Nhiệt độ môi trường	$5 \div 40$	$^{\circ}\text{C}$	
13	Độ ẩm	80	%	Ở nhiệt độ $31^{\circ}\text{C}$
14	Điện áp sử dụng	3	V	(02 pin AA)
15	Kích thước DxRxC	176x61x41	mm	
16	Trọng lượng	210	g	

#### 4.2.2. Đầu đo lưu lượng R4S-7HD.

Đề đo lưu lượng, sử dụng đầu đo R4S7HD25, R4S7HD50, R4S7HD100 như Hình 4. 3 Các thông số kỹ thuật cơ bản cho trong Bảng 4. 2.



Hình 4. 3. Các đầu đo lưu lượng: R4S7HD25, R4S7HD50, R4S7HD100

Bảng 4. 2. Các thông số cơ bản của đầu đo lưu lượng R4S-7HD-25, R4S-7HD-50 R4S-7HD-100

TT	Thông số	Giá trị đầu đo			Ghi chú
		R4S-7HD-25	R4S-7HD-50	R4S-7HD-100	
1	Nhiệt độ môi trường (C <sup>0</sup> )	-10÷116	-10÷116	-10÷116	
2	Điện áp nguồn đầu vào (V)	12÷-35	12÷-35	12÷-35	
3	Điện áp tín hiệu đầu ra (V)	0÷5	0÷5	0÷5	
4	Dòng tín hiệu ra (mA)	4÷20	4÷20	4÷20	
5	Tần số (Hz)	0÷2000	0÷2000	0÷2000	
6	Lưu lượng (Lít/phút)	0,2÷96	0,2÷192	0,2÷384	
7	Khoảng áp suất làm việc (Bar)	0÷410	0÷410	0÷410	

#### 4.2.3. Đầu đo áp suất OCM-511.

Đầu đo cảm biến áp suất OCM-511 do hãng Huba Control của Thụy Sĩ chế tạo dùng để đo áp suất tiêu chuẩn của chất lỏng trên các thiết bị công nghiệp, hệ thống thủy lực, thiết bị điều khiển áp suất... Đầu đo này được nối với đường ống dẫn dầu vào các vị trí cần đo. Các thông số cơ bản của đầu đo trong bảng: và hình dạng bên ngoài như Hình 4. 4.



Hình 4. 4. Đầu đo cảm biến áp suất OCM-511

Bảng 4. 3. Thông số kỹ thuật Đầu đo cảm biến áp suất OCM-511

STT	Thông số kỹ thuật	Giá trị	Đơn vị	Ghi chú
1	Nhiệt độ làm việc	40 ÷ 150 <sup>0</sup>	C <sup>0</sup>	
2	Khoảng đo	0 ÷ 400	Bar	
3	Điện áp nguồn	1 ÷ 5	V	
4	Dòng điện tương ứng	4 ÷ 20	mA	

#### 4.2.4. Cảm biến đo khoảng cách H7



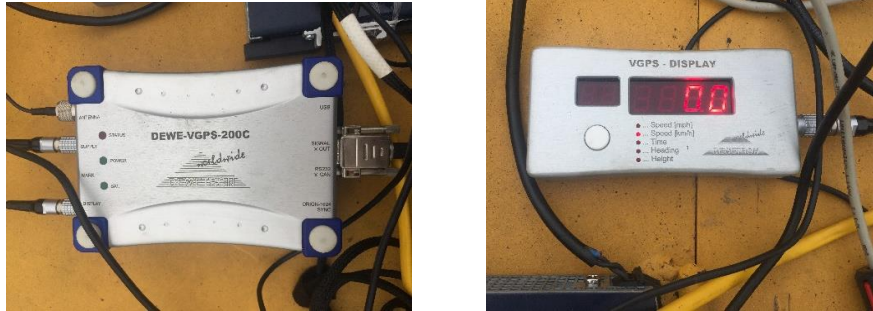
Hình 4.5. Cảm biến đo khoảng cách H7.

Cảm biến H7 được dùng để đo khoảng cách từ vị trí của nó đến điểm phản chiếu theo nguyên tắc tương quan quang học. Đây là loại cảm biến đo không tiếp xúc Hình 4.5, do hãng DATRON Cộng hoà Áo sản xuất. Tín hiệu ra tỷ lệ thuận với giá trị đo. Cảm biến được thiết kế gọn, nhẹ, dễ tháo lắp và sử dụng. Trong quá trình thí nghiệm, nó được kết nối với bộ thu thập dữ liệu NDAQ và vào máy tính thông qua cổng BNC vào. Các thông số kỹ thuật của cảm biến H7 được ghi trong Bảng 4.4

Bảng 4.4. Các thông số kỹ thuật của cảm biến H7.

TT	Thông số	Giá trị	Ghi chú
1	Kích thước (D x R x C)	150×40×136	
2	Khối lượng	0,53kg	
3	Góc lắp đặt	± 20°	
4	Khoảng đo	0÷500mm	
5	Sai số tuyến tính	± 1%	
6	Điện áp đầu ra	1÷10V DC	
7	Vị trí lắp trên máy cách mặt đường	300÷800mm	
8	Điện áp nguồn	10÷30V DC	
9	Nhiệt độ môi trường làm việc	5÷50°C	

#### 4.2.5. Cảm biến đo vận tốc GSS25.



Hình 4. 6. Lắp Thiết bị định GPS lên máy.

GSS25 là cảm biến vận tốc không tiếp xúc, Hình 4.7 có thể hoạt động trong mọi điều kiện địa hình, thời tiết, gồm hai phiên bản là kênh đơn và kênh đôi. Đầu ra với tín hiệu xung xác định quãng đường, đầu ra tín hiệu tương tự để xác định vận tốc di chuyển của máy, giao tiếp dữ liệu qua RS-232;

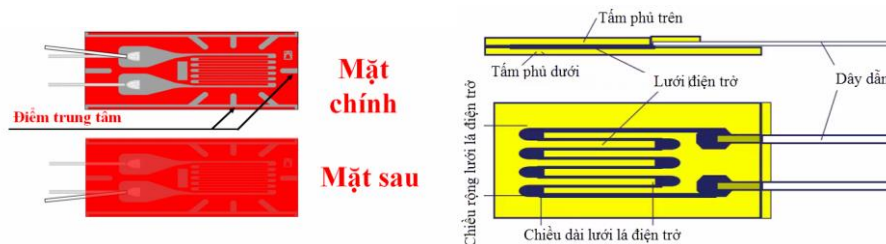


Hình 4.7 Cảm biến đo tốc độ GSS25

Các thông số kỹ thuật của cảm biến GSS25 được cho trong bảng Bảng 4.5  
Bảng 4.5. Các thông số kỹ thuật cảm biến đo tốc độ GSS25.

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Sử dụng công nghệ Radar Doppler	24	GHz
2	Độ trễ tín hiệu	< 10	ms
3	Phạm vi hoạt động	0,1 ÷ 300	km/h

#### 4.2.6. Tenzo đo biến dạng



Hình 4. 8 Tenzo đo biến dạng

Thực nghiệm đã sử dụng tenzô đo biến dạng của hãng Tokyo Kenkyujo Co. Ltd (Nhật bản) để đo lực thông qua biến dạng, các thông số kỹ thuật cho trong Bảng 4.6.

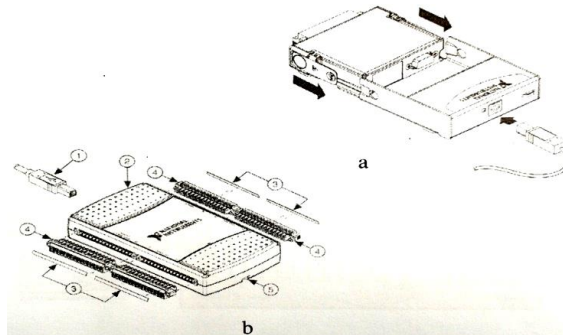
Bảng 4.6 Thông số kỹ thuật của Tenzo FCA -5-11

Thông số	Đơn vị tính	Giá trị	Ghi chú
Chiều dài	mm	5	
Điện trở	$\Omega$	120	
Hệ số tỷ lệ		2.13	

#### 4.2.7. Thiết bị ghi và xử lý tín hiệu.

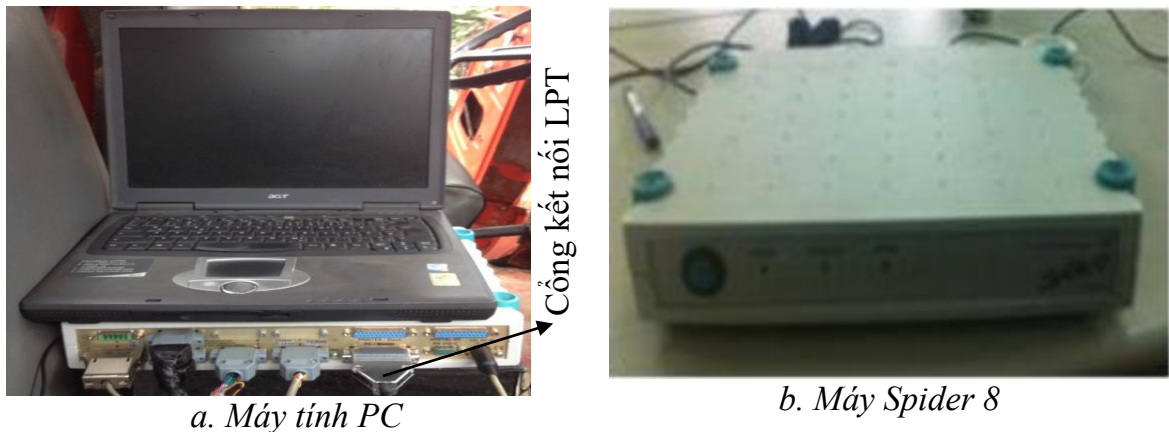
##### 4.2.7.1. Thiết bị ghi và xử lý tín hiệu NI.

- Thiết bị NI được thể hiện trên Hình 4. 9. Do hãng nationan Instruments của Mỹ chế tạo, có chức năng nhận tín hiệu từ thiết bị đo và chuyển lên máy tính.



Hình 4. 9. Thiết bị chuyển đổi tín hiệu NI 6003, 6009

##### 4.2.7.2. Thiết bị ghi và xử lý tín hiệu Spider 8.



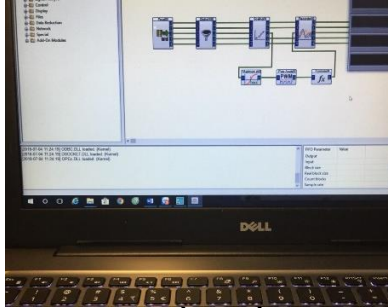
a. Máy tính PC

b. Máy Spider 8

Hình 4.8. Máy tính PC và máy đo Spider 8

## 4.2.8. Máy tính và phần mềm xử lý số liệu

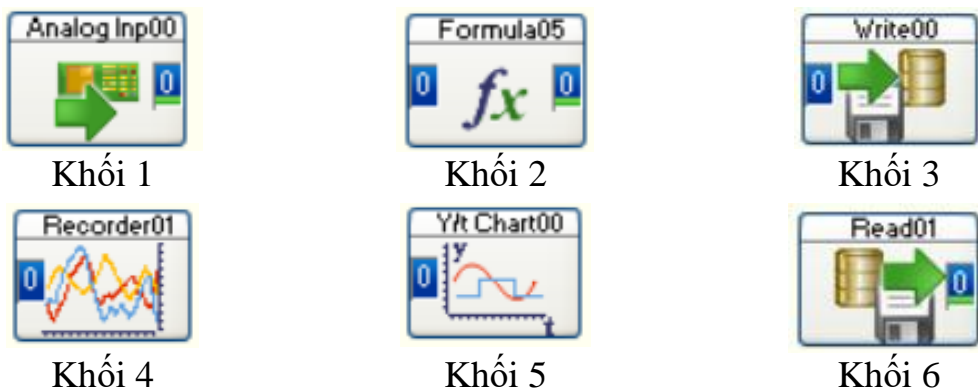
### 4.2.8.1. Phần mềm xử lý số liệu DasyLab 11



Hình 4. 10. Máy tính Dell có cài phần mềm DaSyLab 11

Máy tính DELL có cài phần mềm DaSyLab 11, Hình 4. 10. DasyLab 11 là phần mềm nhận và xử lý số liệu đa năng, làm việc trong môi trường Windows, giao diện của phần mềm thuận tiện, dễ sử dụng. Các phép tính, hay thuật toán được tích hợp trên các mô-đun, người sử dụng chỉ việc lấy ra từ thư viện và kết nối chúng với nhau thành một chuỗi các mô-đun (gọi là Worksheet). Đây là một trong những phần tiên tiến với rất nhiều mô-đun có sẵn, cho phép thiết kế các bài thí nghiệm dạng mở và rất linh hoạt. Các ưu điểm của phần mềm là cho phép xử lý dữ liệu trực tuyến theo thời gian thực, các thông số (đại lượng vật lý) có thể được xử lý sau khi thí nghiệm mà vẫn không làm thay đổi bản chất của quá trình.

Trước khi tiến hành thí nghiệm, cần xây dựng chương trình đo bằng phần mềm DasyLab 11 để nhận và xử lý dữ liệu đo đạc. Chương trình đo bao gồm 5 khối chính như thể hiện trên Hình 4.11.



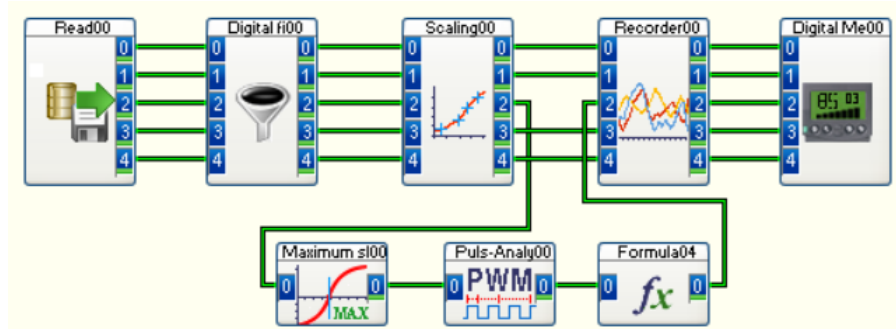
Hình 4.11. Các khối mô-đun của phần mềm DasyLab 11.

- Khối 1: Tiếp nhận dữ liệu;
- Khối 2: Phân tích tính toán;
- Khối 3: Lưu trữ kết quả;
- Khối 4.5: Hiển thị kết quả dạng đồ thị;
- Khối 6: Đọc kết quả.

Để chuyển đổi tín hiệu từ cảm biến đến thiết bị xử lý có các mô đun sau:

- Mô đun nhận tín hiệu từ cảm biến đo áp suất từ đầu đo áp suất OCM-511
- Mô đun nhận tín hiệu từ cảm biến đo lưu lượng từ đầu đo lưu lượng R4S7HD25
- Mô đun nhận tín hiệu từ cảm biến đo vận tốc di chuyển của máy GSS25, công thức chuyển đổi là  $IN(0)/100[\text{km/h}]$ .
- Mô đun nhận tín hiệu từ cảm biến đo tốc độ vòng quay bánh sao chủ động HHT13, công thức chuyển đổi là  $IN/30[\text{v/p}]$ .
- Mô đun lọc tín hiệu trong dải thấp tần cho các kênh.
- Mô đun WriteFile để ghi lại kết quả vào tập tin lưu trữ dữ liệu.

Mô đun của phần mềm DasyLab 11 được xây dựng trên 5 kênh, bố trí như Hình 4. 12:



Hình 4. 12. Sơ đồ cấu trúc hệ thống đo trên DaSyLab 11.

- Kênh 1, Đo áp suất của cụm 1;
- Kênh 2, Đo lưu lượng của cụm 1;
- Kênh 3, Đo tốc độ bánh sao chủ động;
- Kênh 4, Đo áp suất của cụm 2;
- Kênh 5, Đo lưu lượng của cụm 2.

#### 4.2.8.2. Phần mềm Catman

Phần mềm xử lý số liệu được sử dụng trong thực nghiệm là phần mềm Catman. Phần mềm này có giao diện trực quan thông qua các đồ thị và các bảng số liệu, đạt mức sai số cho phép của các phép đo.

### 4.3. Công tác chuẩn bị thực nghiệm

Quá trình thực nghiệm được tiến hành tại Công ty Cổ phần chế tạo máy Vinacumin (nơi chế tạo ra máy này); Địa chỉ: 486 đường Trần Phú, Phường Cẩm Thủy, Thành phố Cẩm Phả, Quảng Ninh Hình 4.13, hình ảnh các nhà khoa học và chuyên gia tại vị trí thực nghiệm.



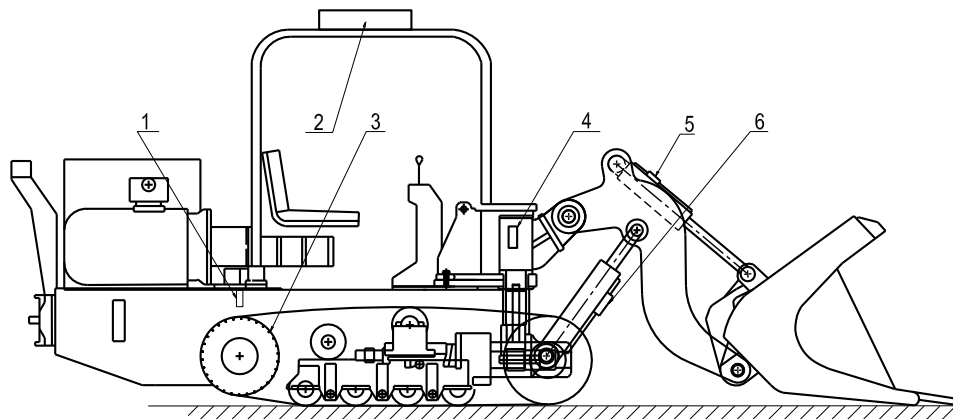
Hình 4.13. Các nhà khoa học và chuyên gia tại vị trí thực nghiệm.

- Phương tiện thử nghiệm: Sử dụng 01 Máy xúc lật đổ bên VMC E500-1 mới xuất xưởng do Công ty VMC sản xuất;
- Trang thiết bị cần thiết phục vụ đo kiểm đầy đủ theo phương án thử nghiệm và hoạt động tốt;
- Vị trí thử nghiệm: Mặt bằng công nghiệp phía tây Nhà No1, Phân xưởng Máy mỏ 1 - Công ty VMC;
- Môi trường - điều kiện làm việc của máy: Sử dụng đá sau khoan nổ mìn lấy ngẫu nhiên trong đường hầm.

#### 4.3.1. Lắp ráp thiết bị đo kiểm vào các hệ thống và TBCT của máy

Lắp ráp, gắn kết các thiết bị đo kiểm chuyên dụng vào hệ thống thủy lực của máy xúc VMC E500-1 theo phương án đã chọn.

*Sơ đồ bố trí thiết bị đo trên các thiết bị công tác của máy xúc lật*

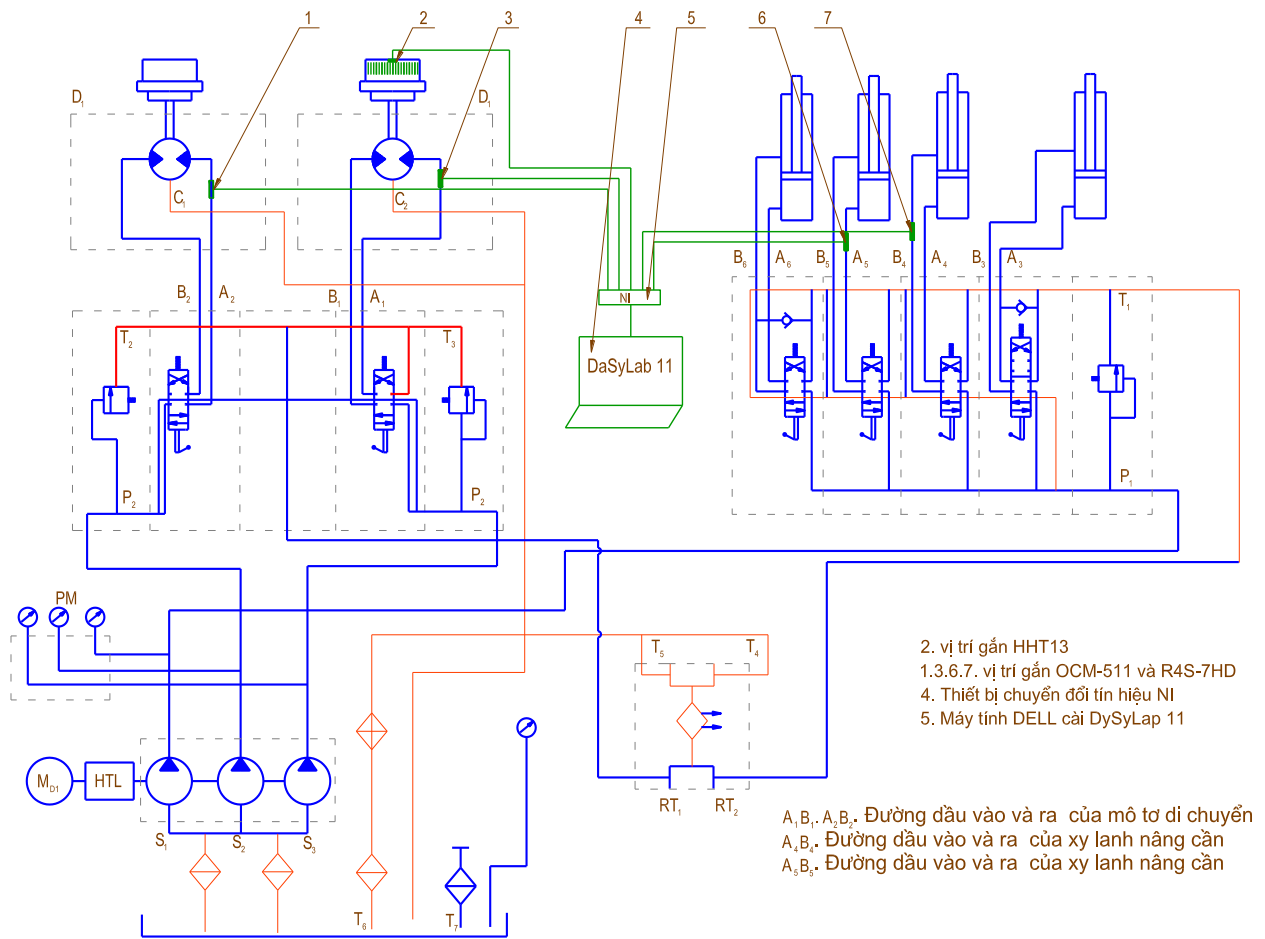


Hình 4.14. Sơ đồ bố trí chung hệ thống thiết bị đo.

1-Thiết bị HTH13; 2-Thiết bị định vị GPS; 3-Miếng dán cảm quang; 4,5,6 - Đầu đo OCM-511 và R4S-7HD đo áp suất và lưu lượng.



*Sơ đồ bố trí chung các thiết bị đo trong hệ thống thủy lực*

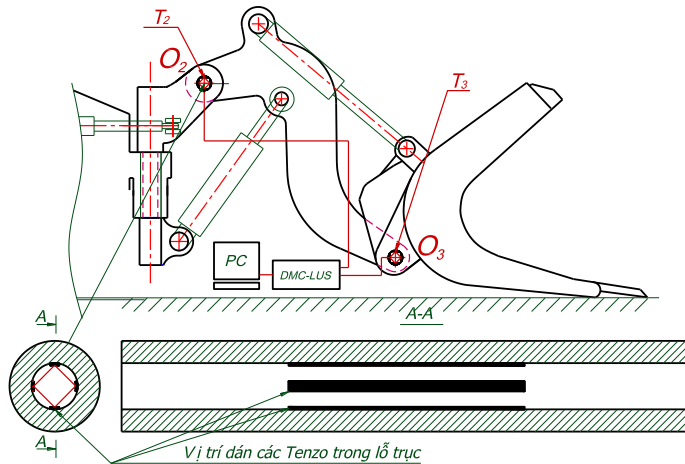


Các thiết bị đo được kết nối trực tiếp vào hệ thống thủy lực của máy như Hình 4.14; khi máy làm việc, các bơm thủy lực hoạt động, dầu được hút từ thùng dầu qua bơm tạo thành dòng dầu có áp suất cao và đi vào hệ thống thủy lực. Do các đầu đo lưu lượng và đo áp suất được lắp trên đường ra của van phân phối đến các xi lanh nên sẽ xác định được giá trị lưu lượng, áp suất tức thời của bơm cấp cho các xi lanh. Tín hiệu của đầu đo lưu lượng, đầu đo áp suất và tốc độ vòng quay được truyền đến thiết bị chuyển đổi tín hiệu NI sau đó chuyển vào máy tính ở dạng tín hiệu điện.

*Sơ đồ bố trí các Tenzo xác định lực tác dụng lên khớp.*

Xác định các thành phần lực tác dụng lên khâu khớp được xác định nhờ các biến dạng của tenzo bố trí trên thiết bị công tác của máy, vị trí dán tenzo được chọn tại các điểm cần đo như hình Hình 4.15, đánh sạch bề mặt vị trí

dán tenzo đạt độ bóng V7, lau sạch bằng cồn và dán bằng keo chuyên dụng, các dây dẫn là loại dây chống nhiễu.



Hình 4.15. Sơ đồ bố trí các Tenzo xác định lực tác dụng lên khâu khớp khi xúc ĐNM

#### 4.3.1.1. Lắp đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13.

Đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13 được gắn vào khung máy phía trên bánh sao chủ động máy xúc lật, do tốc độ của bánh sao chủ động khá chậm nên trên chu vi phía ngoài của bánh sao có gắn 30 miếng cảm quang để quá trình đo được chính xác hơn Hình 4.16.



Hình 4.16. Lắp đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13 và dán miếng cảm quang vào bánh sao chủ động máy xúc.

Mục đích lắp đồng hồ đo tốc độ vòng quay HHT13 để đo tốc độ vòng quay của bánh sao chủ động Hình 4.16; Trong quá trình di chuyển và tích ĐNM, có thời điểm lực cản tăng, lực bám giảm khi đó bánh sao chủ động vẫn quay nhưng máy đứng yên không di chuyển nên cần có thiết bị đo HHT13, để đối chiếu với số liệu đo của thiết bị đo GSS25.

#### 4.3.1.2 Lắp đầu đo lưu lượng R4S-7HD, đầu đo cảm biến áp suất OCM-511.

Gắn thiết bị đo áp suất, đo lưu lượng vào đường ống thủy lực của xi lanh nâng cần, xi lanh quay gầu và mô tơ di chuyển phía sau van phân phối Hình 4.17.



Hình 4.17. Lắp đầu đo lưu lượng R4S-7HD, đầu đo cảm biến áp suất OCM-511

Mục đích lắp đầu đo lưu lượng R4S-7HD, đầu đo cảm biến áp suất OCM-511 vào hệ thống thủy lực của máy xúc để đo áp suất, lưu lượng của xi lanh nâng cần, xi lanh quay gầu và mô tơ di chuyển để lấy số liệu trong các trường hợp điều khiển máy di chuyển, tích ĐNM vào gầu bằng các phương pháp khác nhau.

#### 4.3.1.3. Thiết bị định vị GPS.



Hình 4.18. Gắn thiết bị định vị GPS trên máy xúc

Gắn thiết bị định vị GPS trên máy xúc hình Hình 4.18, với mục đích để đo vận tốc di chuyển thực tế của máy.

#### 4.3.2. Kết nối thiết bị ghi, xử lý tín hiệu và hiệu chuẩn thiết bị

Trước khi tiến hành thí nghiệm, cần xây dựng chương trình đo bằng phần mềm DasyLab 11 để nhận và xử lý dữ liệu đo đạc. Chương trình đo bao gồm 5 khối chính như thể hiện trên Hình 4.11; kết nối các đầu đo với bộ xử lý tín hiệu NI 6003 và máy tính DELL có cài phần mềm DaSyLab 11, theo các phương án thử nghiệm đã được tập thể các Thầy hướng dẫn và các chuyên gia thống nhất.



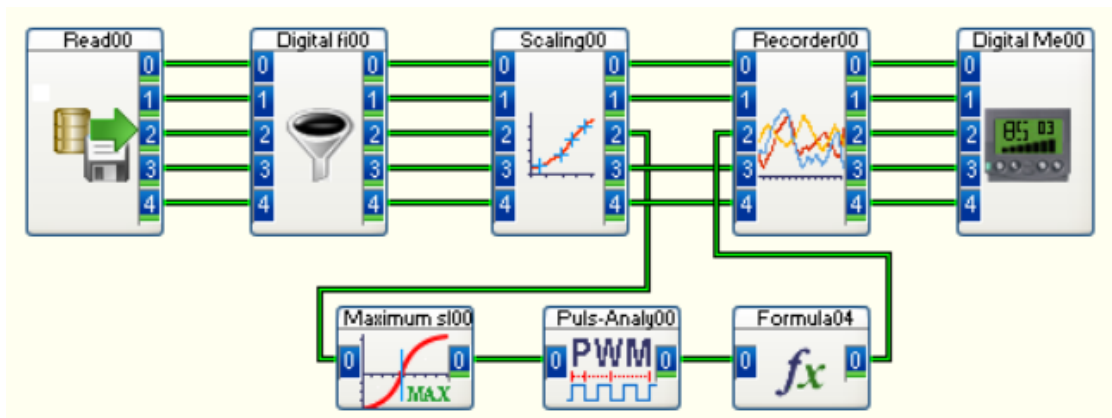
Hình 4.19. Kết nối thiết bị đo với bộ xử lý và máy tính

Kết nối thiết bị đo với bộ xử lý và máy tính, mục đích để lấy tín hiệu từ các cảm biến qua bộ chuyển đổi và hiển thị thông số cần đo trên màn hình bao gồm: Tín hiệu từ cảm biến đo áp suất từ đầu đo áp suất OCM-511; tín hiệu từ cảm biến đo lưu lượng từ đầu đo lưu lượng R4S7HD25; tín hiệu từ cảm biến đo vận tốc di chuyển của máy GSS25; tín hiệu từ cảm biến đo tốc độ vòng quay bánh sao chủ động HHT13.

\* *Thiết lập sơ đồ kênh đo.*

Để nhận, xử lý và lưu trữ các kết quả đo, cần thiết lập sơ đồ các kênh đo trước khi tiến hành thực nghiệm. Mô đun của phần mềm DasyLab 11 được xây dựng trên 5 kênh, bố trí như Hình 4.20:

- Kênh 1 – Đo áp suất của cụm 1;
- Kênh 2 – Đo lưu lượng của cụm 1;
- Kênh 3 – Đo tốc độ bánh sao chủ động;
- Kênh 4 – Đo áp suất của cụm 2;
- Kênh 5 – Đo lưu lượng của cụm 2;



Hình 4.20. Sơ đồ cấu trúc hệ thống đo trên DaSyLab 11

### 4.3.3. Chọn số lần và phương pháp đánh giá sai số thực nghiệm

Chọn số lần thực nghiệm: Số lần thực nghiệm liên quan đến độ tin cậy của các kết quả đo. Theo lý luận về phương pháp quy hoạch thực nghiệm [16], có thể đặt ra yêu cầu về độ tin cậy trước, sau đó xác định số lần thực nghiệm, cũng có thể chọn trước số lần thực nghiệm rồi sau đó xác định độ tin cậy của kết quả đo. Theo đó, quan hệ giữa số lần thực nghiệm và độ tin cậy được thể hiện qua công thức:

$$n_t = \frac{Dt^2\alpha}{\Delta^2} \quad (4.1)$$

Trong đó  $n_t$  – số lần thực nghiệm,  $D$  – độ rời rạc thống kê,  $t$  - hệ số tra cứu,  $\alpha$  - hệ số độ tin cậy,  $\Delta$  - sai số cho phép của phép đo.

Theo kinh nghiệm thực nghiệm đối với thiết bị công tác máy làm đất, hệ số độ tin cậy  $\alpha$  thường nằm trong khoảng  $0,8 \div 0,95$  (trong luận án chọn  $\alpha = 0,95$ ) và sai số thời gian tích ĐNM  $\Delta = 2s$ . Chọn sơ bộ số lần thực nghiệm  $n_t = 5$ , tra bảng liên quan trong [10] thì tìm được  $t = 2,36$  và  $D = 3,45$ . Thay các giá trị này vào (4.1) ta tính được  $n_t = 4,8$ . Theo đó, để đảm bảo độ tin cậy trong tính toán, số lần thực nghiệm cần thiết không nhỏ hơn 5. Ta chọn số lần thực nghiệm là 5.

Phương pháp đánh giá sai số thực nghiệm : Việc đánh giá sai số kết quả đo được thực hiện theo lý thuyết xác suất và thống kê toán học. Theo đó, nếu gọi giá trị đo được của đại lượng khảo sát sau  $n_t$  lần đo là  $x_1, x_2, \dots, x_{n_t}$  và giá trị kỳ vọng (giá trị tin cậy) là  $\bar{x}$  thì tổng bình phương sai lệch của các lần đo là:

$$f = (x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_{n_t} - \bar{x})^2 \quad (4.2)$$

Giá trị  $\bar{x}$  được tìm bằng cách cực tiểu hóa tổng bình phương sai lệch của các lần đo. Kết quả:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{n_t}}{n_t} = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} x_i \quad (4.3)$$

Phương sai (sai lệch trung bình bình phương)  $\sigma$  thể hiện độ chính xác của phép đo được tính theo công thức:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.4)$$

Do cách đo của tất cả các tham số thực nghiệm là như nhau nên phương pháp đánh giá sai số của chúng cũng như nhau. Để đánh giá sai số của phép đo đối với đại lượng  $x$  nào đó, ta thực hiện các công việc theo trình tự sau:

- Thực hiện  $n_t$  lần đo và ghi lại các kết quả đo  $x_1, x_2, \dots, x_{n_t}$ .
- Tính giá trị kỳ vọng  $\bar{x}$  theo công thức (4.3).
- Tính giá trị sai lệch trung bình bình phương  $\sigma$  theo (4.4) để nhận được sai số về giá trị thực của đại lượng cần đo.

#### 4.4. Tổ chức thực nghiệm

Nội dung đo đạc được thực hiện bởi các chuyên gia, cán bộ kỹ thuật của Bộ môn Xe máy Công binh, Khoa Động lực và cơ quan Kỹ thuật của Công ty Cổ phần chế tạo máy VINACUMIN, Tập đoàn Than-Khoáng sản Việt Nam.

- Sử dụng 01 MXLDB VMC E500-1, bố trí mặt bằng làm việc, cung cấp đầy đủ các trang thiết bị cần thiết phục vụ hoạt động của máy;

- Gắn kết các thiết bị đo kiểm chuyên dùng vào máy như: Bộ NI tích hợp với máy tính, bộ đo VGPS, thiết bị đo vật tốc quay, đầu đo lưu lượng - áp suất thủy lực.

- Khởi động máy xúc và thực hiện các thao tác của máy đảm bảo máy hoạt động tốt theo chức năng đồng thời kiểm tra các tín hiệu phản hồi của thiết bị đo kiểm về máy tính, hiệu chỉnh đồng bộ hệ thống.

##### 4.4.1. Đo áp suất, lưu lượng dầu thủy lực đi vào xi lanh nâng cần và mô tơ di chuyển

- Gắn thiết bị đo áp suất, đo lưu lượng vào các đường ống thủy lực của xi lanh nâng cần và mô tơ di chuyển phía sau van phân phối. Đo áp suất xi lanh nâng cần và mô di chuyển trong trường hợp điều khiển tích ĐNM vào gầu bằng phương pháp di chuyển máy kết hợp nâng cần nâng. Lúc này xi lanh quay gầu không hoạt động

- Cho máy di chuyển tốc độ trung bình, tải trung bình.

- Cho máy di chuyển tốc độ nhanh có gia tốc, tải lớn
- Cho máy di chuyển và tạo cản lớn tới ngưỡng bánh xích quay trơn.

#### **4.4.2. Đo áp suất, lưu lượng dầu thủy lực đi vào xi lanh quay gầu và mô tơ di chuyển**

- Gắn thiết bị đo áp suất, đo lưu lượng vào đường ống thủy lực của xi lanh quay gầu và mô tơ di chuyển phía sau van phân phối. Đo áp suất xi lanh quay gầu và mô di chuyển trong trường hợp điều khiển tích ĐNM vào gầu bằng phương pháp di chuyển máy kết hợp quay gầu xúc. Lúc này xi lanh nâng cần không hoạt động.

- Cho máy di chuyển tốc độ trung bình, tải trung bình.
- Cho máy di chuyển tốc độ nhanh có gia tốc, tải lớn
- Cho máy di chuyển và tạo cản lớn tới ngưỡng bánh xích quay trơn.

#### **4.4.3. Đo áp suất xi lanh nâng cần, xi lanh quay gầu và mô tơ di chuyển**

- Gắn thiết bị đo áp suất, đo lưu lượng vào đường ống thủy lực của xi lanh nâng cần, quay gầu và mô tơ di chuyển phía sau van phân phối. Đo áp suất xi lanh nâng cần, quay gầu và mô di chuyển trong trường hợp điều khiển tích ĐNM vào gầu bằng phương pháp di chuyển máy kết hợp quay gầu xúc. Lúc này xi lanh nâng cần, quay gầu và mô tơ di chuyển đều hoạt động.

- Cho máy di chuyển tốc độ trung bình kết hợp điều khiển nâng cần và quay gầu xúc.
- Cho máy di chuyển tốc độ nhanh kết hợp điều khiển nâng cần và quay gầu xúc.
- Cho máy di chuyển kết hợp điều khiển nâng cần, quay gầu xúc và tạo cản lớn tới ngưỡng bánh xích quay trơn.

#### **4.4.4. Đo áp suất mô tơ di chuyển trong các trường hợp**

- Gắn thiết bị đo áp suất, đo lưu lượng vào đường ống thủy lực của xi lanh nâng cần, quay gầu và mô tơ di chuyển phía sau van phân phối. Đo áp suất xi lanh nâng cần, quay gầu và mô tơ di chuyển trong trường hợp điều khiển tích ĐNM vào gầu bằng phương pháp di chuyển máy kết hợp quay gầu xúc. Lúc này xi lanh nâng cần, quay gầu và mô tơ di chuyển đều hoạt động.

- Cho máy di chuyển ấn gầu xúc vào trong đống ĐNM với chiều sâu ấn tăng dần;

- Tạo cản lớn phía trước tới mức máy không di chuyển được nhưng không quay tron;
- Tạo cản lớn phía trước tới mức máy không di chuyển được và quay tron xích;
- Xúc ĐNM đầy gầu nâng lên đến vị trí đổ tải và di chuyển;
- Cho máy chạy không có ĐNM trong gầu xúc tốc độ tối đa;
- Cho máy di chuyển tốc độ nhanh có gia tốc.

#### **4.4.5. Xác định lực tác dụng lên khâu khớp TBCT, khi xúc ĐNM**

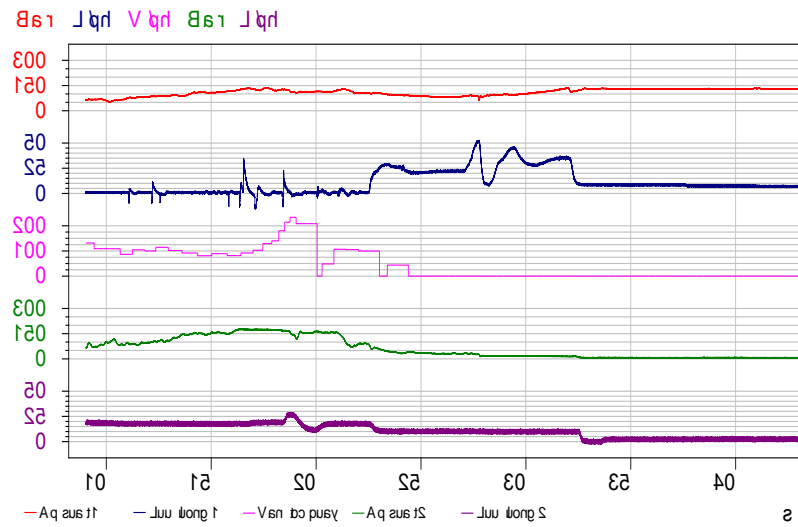
Trong phần nghiên cứu chương 2, khi nghiên cứu quá trình tương tác giữa gầu với ĐNM, đã xác định các thành phần lực cản xúc của máy MXLDB bằng lý thuyết và trình bày các kết quả nghiên cứu xác định lực cản khi gầu xúc di chuyển trong đồng ĐNM. Do không thể đo trực tiếp các trị số của các lực tác dụng lên TBCT, nên phải đo gián tiếp các lực thành phần lực trên các khâu khớp. Cơ sở để tiến hành thực nghiệm xác định lực tại các khớp, dựa trên các phương trình cân bằng tĩnh học ta có thể xác định các thông số lực tại các khớp  $O_2$ ,  $O_3$  và  $O_5$  được trình bày trong 3.4

Thực hiện làm đầy gầu bằng phương pháp quay gầu xúc trong đồng ĐNM sau khi đã ấn sơ bộ gầu vào trong đồng ĐNM, khi gầu đầy nâng cần nâng theo phương thẳng đứng, khi gầu ra khỏi đồng ĐNM dừng lại để xác định các giá trị đo, sau đó đổ ĐNM trong gầu ra và chuẩn bị cho lần đo tiếp theo. Số lần làm thực nghiệm là 5 lần sau khi đã loại bỏ những lần xúc gặp chướng ngại vật, kiểm tra kết quả đo và in ra, Tiến hành đo đồng thời 3 thông số trên cùng trục thời gian: - Kênh  $CH_1$  đo lực tác dụng lên khớp quay nâng cần  $O_2$ ; Kênh  $CH_2$  đo lực tác dụng lên khớp quay gầu  $O_3$ ; Kênh  $CH_3$  đo lực tác dụng lên khớp quay lật gầu  $O_5$ . Các tín hiệu thu được từ các vị trí đo đưa trực tiếp vào máy, lưu trữ các số liệu đo được vào các file số liệu, chuyển sang máy tính và được xử lý bằng phần mềm CATMAN, và DasyLab 11; lưu, xuất kết quả ở dạng tệp dữ liệu và đồ thị.

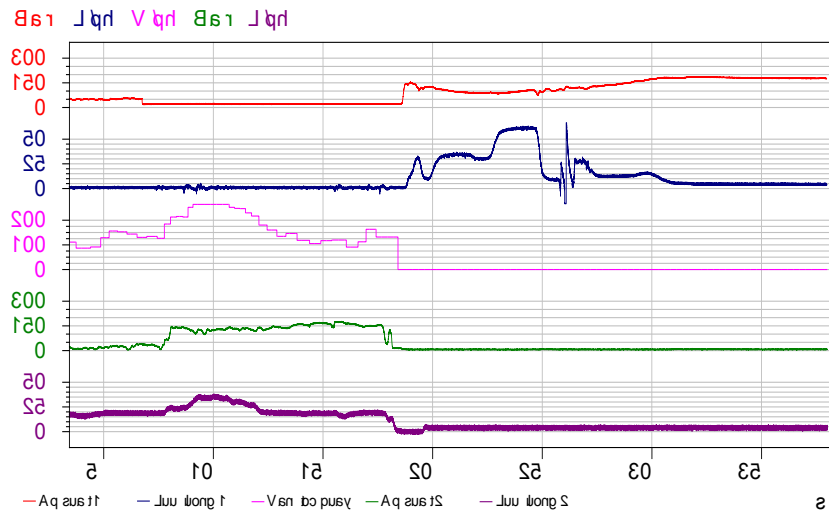
### **4.5. Kết quả thực nghiệm**

**4.5.1. Đo áp suất, lưu lượng dầu thủy lực đi vào xi lanh nâng cần và mô tơ di chuyển**

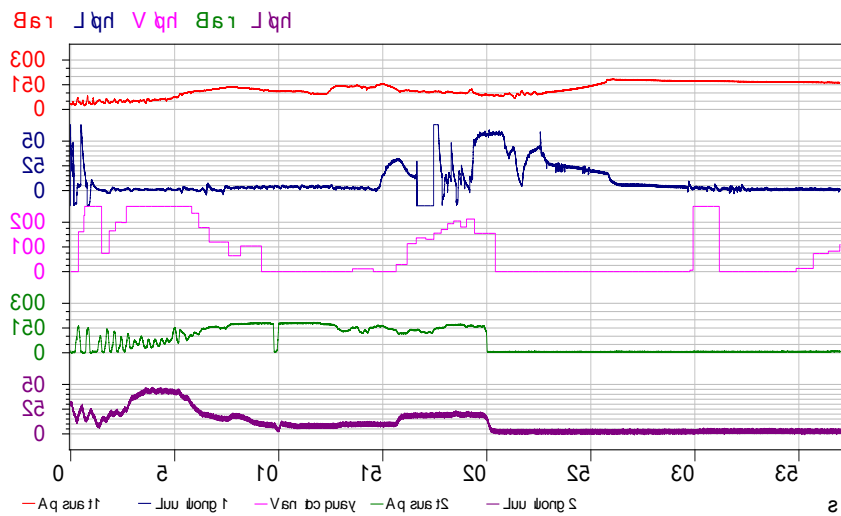




a) Kết quả đo khi máy di chuyển tốc độ trung bình, tải trung bình

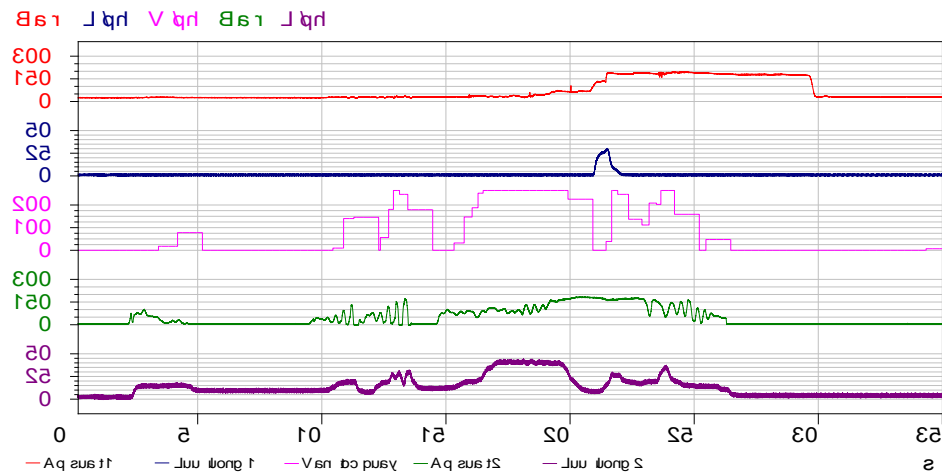


b) Kết quả đo khi máy di chuyển tốc độ nhanh có gia tốc, tải lớn.

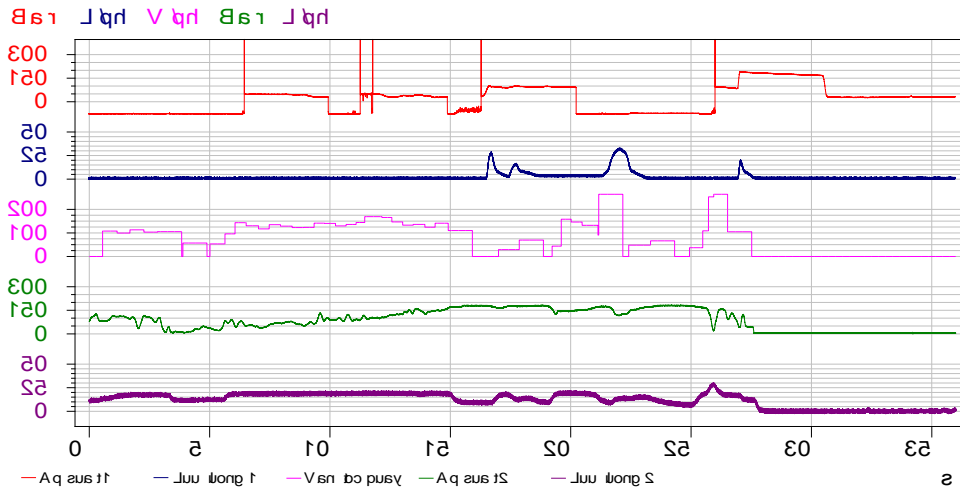


c) Kết quả đo khi máy di chuyển và tạo cản lớn tới ngưỡng bánh xích quay trơn.

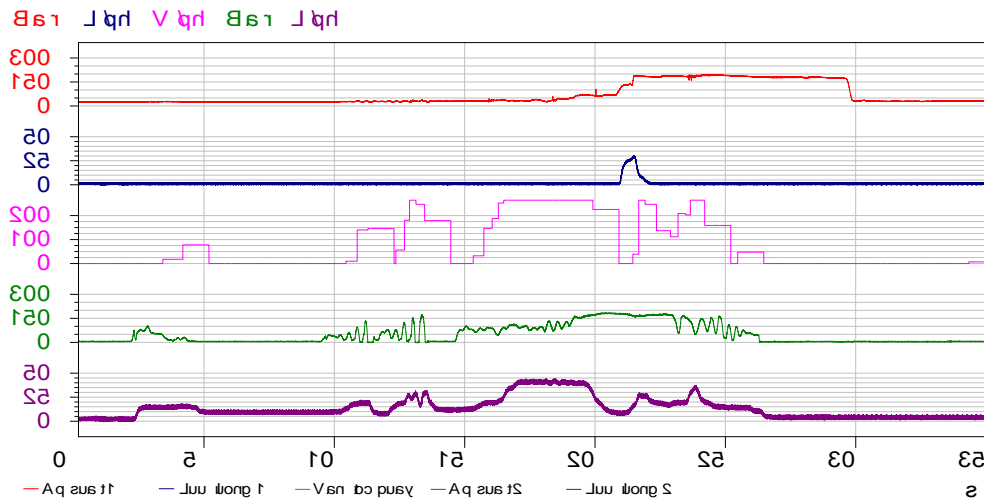
#### 4.5.2. Đo áp suất, lưu lượng dầu thủy lực đi vào xi lanh quay gầu và mô tơ di chuyển



a) Kết quả đo khi máy di chuyển tốc độ trung bình, tải trung bình

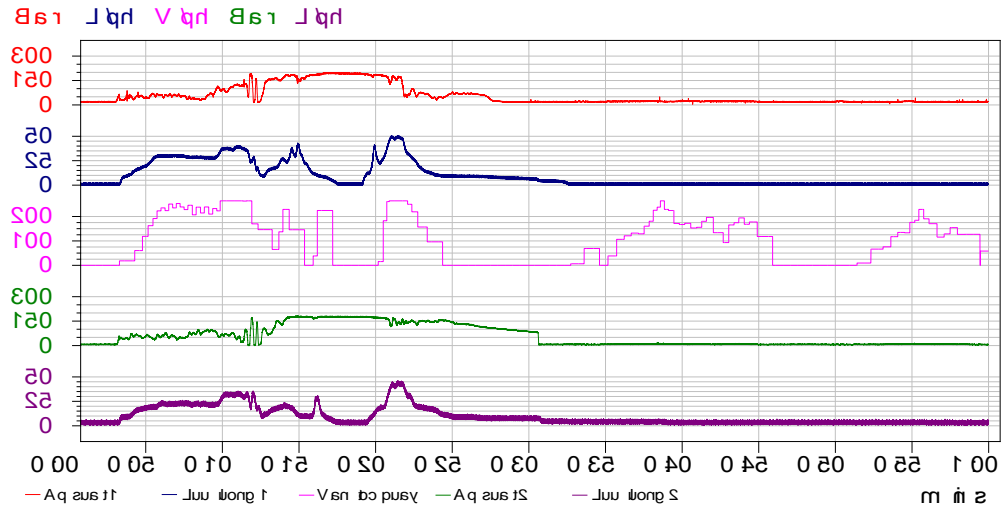


b) Kết quả đo khi máy di chuyển tốc độ nhanh có gia tốc, tải lớn.

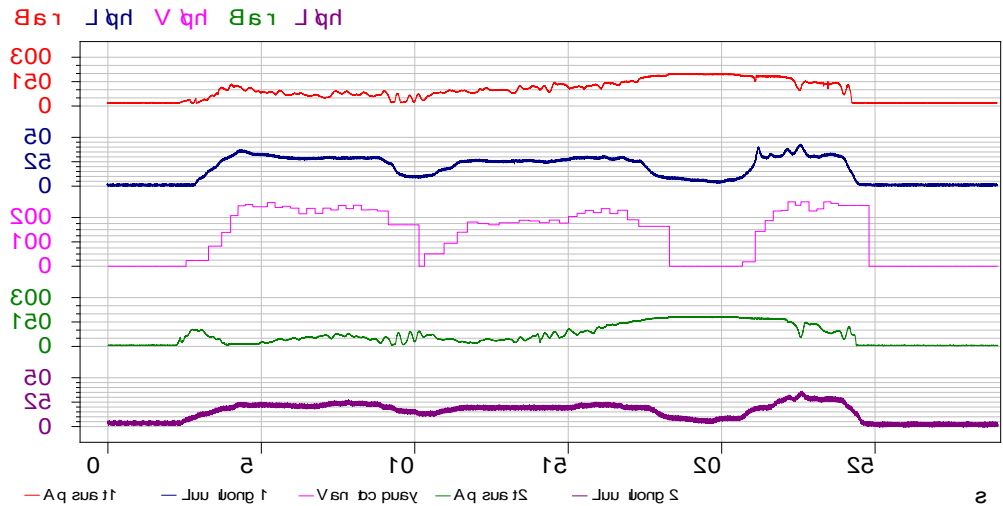


c) Kết quả đo khi máy di chuyển và tạo cản lớn tới ngưỡng bánh xích quay tròn.

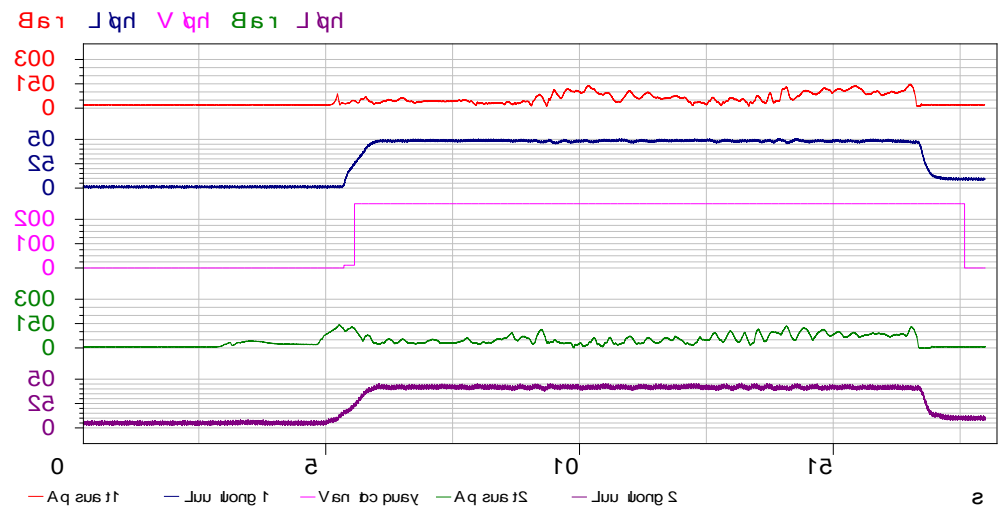
### 4.5.3. Đo áp suất của hai mô tơ di chuyển trong các trường hợp



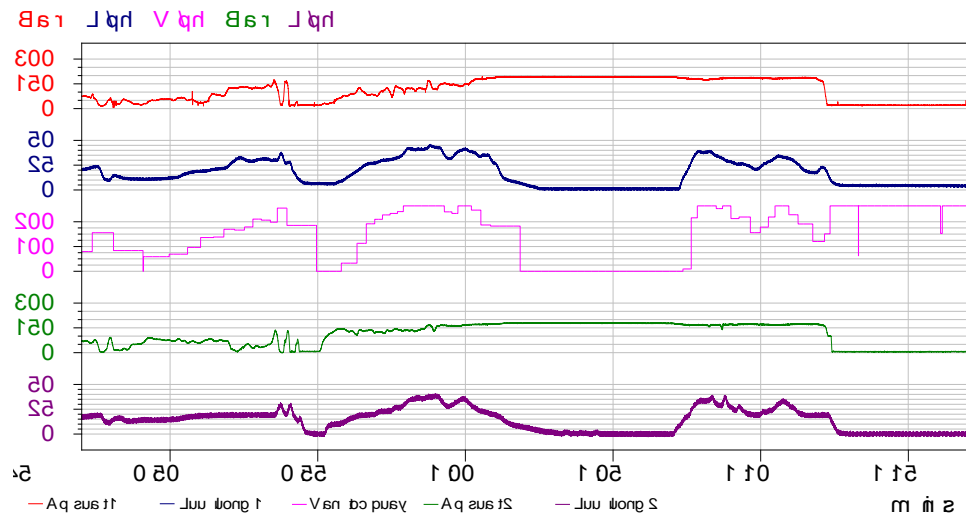
a) Kết quả đo khi ấn gàu xúc vào trong đồng ĐNM



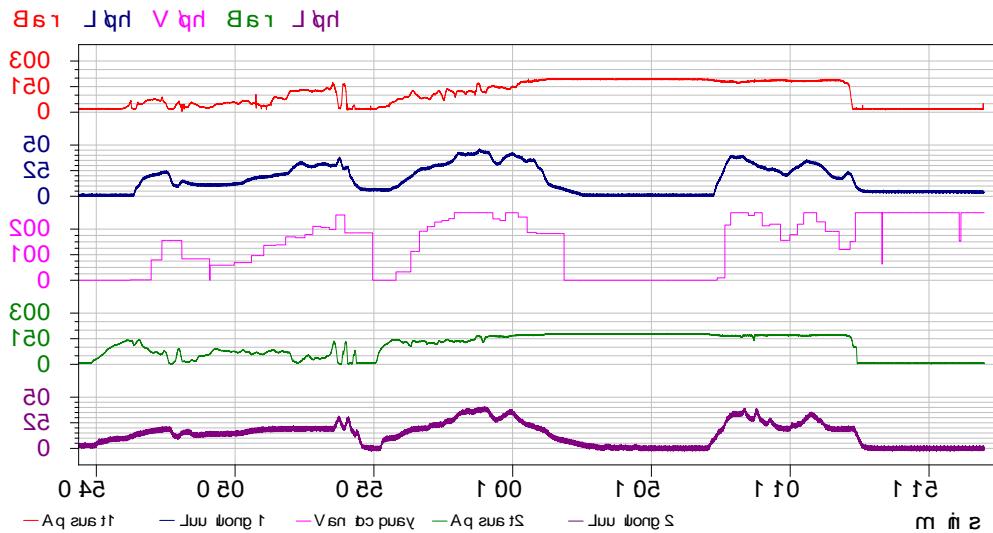
b) Kết quả đo khi cần lớn máy không di chuyển được nhưng không quay tron.



c) Kết quả đo khi cần lớn máy không di chuyển được và quay tron xích



d) Kết quả đo khi xúc ĐNM đầy gầu di chuyển nâng lên đến vị trí đồ tải

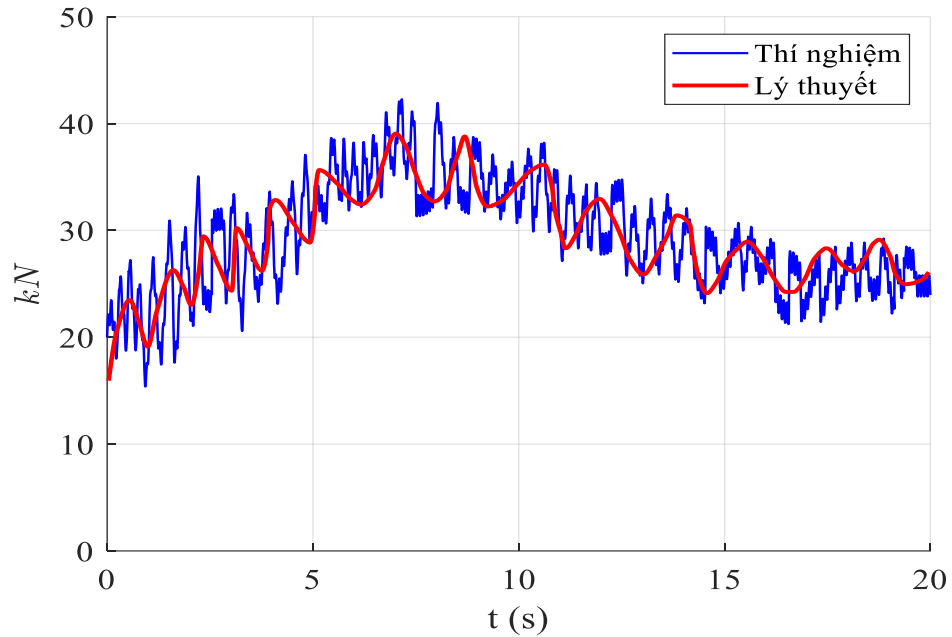


e) Kết quả đo khi máy chạy không có ĐNM trong gầu xúc tốc độ tối đa;

#### 4.6. Kết quả so sánh giữa nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm

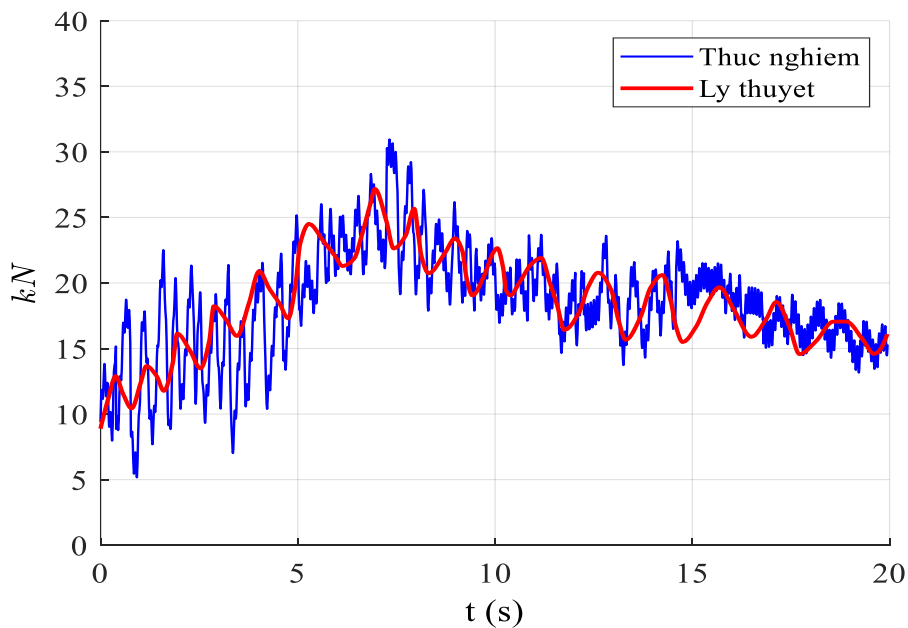
Kết quả so sánh thực nghiệm nhằm đánh giá đúng quá trình vận hành và khai thác của máy xúc lật đổ bên khi làm việc trong điều kiện thực tế kỹ thuật. Thông qua thực nghiệm sẽ đưa ra các hệ số hiệu chỉnh, dữ kiện đầu vào, các điều kiện làm việc thực tế của máy v.v.. để chính xác hóa lại lý thuyết. Các kết quả so sánh được thể hiện như các hình dưới đây:

#### 4.6.1. Kết quả so sánh lực tại khớp quay nâng cần



Hình 4.21. Đồ thị lực tại khớp quay nâng cần O<sub>2</sub> khi xúc ĐNM bằng phương pháp phối hợp theo lý thuyết và thực nghiệm

#### 4.6.2. Kết quả so sánh lực tại khớp của khâu 3



Hình 4.22. Đồ thị lực tại khớp O<sub>3</sub> của khâu 3 theo lý thuyết và thực nghiệm

#### 4.6.1. Nhận xét kết quả so sánh lực tại các khớp

Từ Hình 4.21 kết quả của lực tại khớp của khâu 2 cho ta thấy sự tương đồng giữa 2 phương pháp lý thuyết và thực nghiệm. Giá trị lực chênh lệch lớn

nhất của 2 phương pháp khoảng 7 kN tương ứng khoảng 22%. Sự sai khác về hình dáng và biên độ lực giữa lý thuyết so với thực nghiệm, có thể giải thích như sau: Quá trình tính toán lý thuyết, bài toán đã đưa ra các giả thiết nhằm đơn giản và tối ưu quá trình tính toán, giá trị tải được cho là liên tục thay đổi theo quy luật cho trước. Còn trong quá trình thực nghiệm đã kể đến hầu hết các yếu tố tác dụng trực tiếp lên quá trình làm việc của máy, bao gồm cả yếu tố ảnh hưởng ngẫu nhiên và các sai số trong phép đo đạc. Tuy nhiên xét về giá trị trung bình của độ lớn lực thì kết quả giữa lý thuyết và thực nghiệm là tương đồng nhau;

Từ Hình 4.22 ta thấy rằng, kết quả lực giữa lý thuyết và thực nghiệm của khớp O<sub>3</sub> tương tự như khớp O<sub>2</sub>; đồ thị lực của hai khớp quay này khá giống nhau về tần số và hình dạng. Tuy nhiên về giá trị độ lớn của lực tại các vị trí lớn nhất kết quả lý thuyết đang lớn hơn kết quả thực nghiệm khoảng 17%; xét về mặt tổng thể thì sự sai khác này có thể chấp nhận được.

#### Kết luận chương 4

1. Quá trình thực nghiệm có sự phối hợp giữa Công ty Cổ phần chế tạo máy Vinacumin (nhà sản xuất), Học viện Kỹ thuật quân sự (cơ sở nghiên cứu) và một số đơn vị quân đội (đơn vị thi công đường hầm) đã đánh giá được khá chính xác khả năng làm việc, của MXLDB VMC E500-1 trong thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ cả về lý luận và thực tiễn;

2. Các số liệu thực nghiệm thu được, thông qua các thiết bị đo, được gắn trực tiếp lên máy bao gồm: áp suất, lưu lượng dầu thủy đi vào các xi lanh, mô tơ thủy lực, vận tốc di chuyển của máy đã phản ánh sát điều kiện làm việc thực tế của máy đồng thời là số liệu đầu vào phục vụ quá trình tính toán lý thuyết;

3. Bằng phương pháp đo trực tiếp, quá trình nghiệm cứu thực nghiệm đã xác định được lực tác động lên các khâu, khớp TBCT trong với các trường hợp làm việc đặc trưng của máy; kết quả khảo sát cho thấy lực tác động lên các khớp

quay cần  $O_2$  và quay gầu  $O_3$  về quy luật và giá trị khá phù hợp với kết quả tính toán lực cản tác động lên TBCT của chương 2 và lực kéo của chương 3 của quá trình xúc ĐNM bằng phương pháp phối hợp; với sai số không lớn giữa kết quả tính toán tính toán lý thuyết và thực nghiệm khoảng 17% - 22%; là cơ sở khoa học khẳng định tính đúng đắn của các mô hình và các công thức tính toán lý thuyết;

4. Các trang thiết bị, dụng cụ đo kiểm, phương tiện kỹ thuật và gia công các chi tiết để kết nối giữa máy thực nghiệm và thiết bị đo kiểm bảo đảm tốt các phương án thực nghiệm, phản ánh đúng điều kiện làm việc thực tế MXLDB VMC E500-1 xúc, đổ ĐNM trong đường hầm không gian chật hẹp. Các số liệu thu thập được xử lý trên máy tính bằng các phần mềm ứng dụng có thể xuất ra dưới các dạng hiển thị khác nhau như đồ thị hoặc bảng số liệu. So sánh kết quả thực nghiệm với các kết quả nghiên cứu lý thuyết đồng thời đối chiếu với các thông số của máy sát điều kiện làm việc thực tế là cơ sở khoa học để điều chỉnh các thông số của máy xúc được sản xuất theo phương pháp thực nghiệm trước đây chính xác và tối ưu hơn.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. Kết luận

1. So với các loại máy bóc xúc truyền thống, cho thấy máy xúc lật đổ bên VMC E 500-1 là thiết bị phù hợp, hiệu nhất trong việc xúc, đổ ĐNM ở đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ; với kết quả khảo sát: chiều cao tối đa gầu xúc,  $H_{gx,max} = 2,8m < \text{chiều cao tối thiểu cửa hầm}, H_{ch,min} = 3,05m$  và chiều cao tối thiểu gầu xúc  $H_{gx,min} = 1,6m > \text{chiều cao tối đa xe goong}, H_{xg,max} = 1,3m$  cho thấy MXLDB VMC E500-1 làm việc hiệu quả trong đường hầm, kể cả vị trí mặt cắt nhỏ nhất có  $b \times h = 2,3m \times 3,5m$ ;

2. Khi xúc vật liệu hoặc ĐNM mỗi loại sẽ có quỹ đạo xúc hợp lý khác nhau, phụ thuộc vào các thông số:  $\alpha$  - góc xoắn tự nhiên ( $\alpha_{vl} = 46^0$ ),  $\varphi$  - góc ma sát trong (với đá nổ mìn  $\varphi = 46^0$ ),  $d_{tb}$  - kích thước hạt trung bình của ĐNM ( $d_{tb} \approx 0,3m$ ),  $L_{AG}$  - chiều sâu ấn gầu (với phương pháp xúc phối hợp  $L_{AG} = 0,72m$ ) và  $H_{min}$  - chiều cao tối thiểu của đồng ĐNM ( $H_{min} = 1,75m$ ). Quỹ đạo này được xác định bằng sự thay đổi của các khâu dẫn: góc quay nâng cần  $\theta_2$  ( $\theta_2$  thay đổi trong khoảng từ  $-7\pi/36$  đến  $-\pi/30$ , tính theo trục  $O_2 X_2$ ), quay gầu xúc  $\theta_3$  ( $\theta_3$  thay đổi trong khoảng từ  $-23\pi/60$  đến  $-7\pi/36$ , tính theo trục  $O_3 X_3$ ) và chuyển động tịnh tiến của máy x (x khoảng di chuyển của máy là  $1,69m$ );

3. Lực tác dụng lên các khớp quay cần  $O_2$ , quay gầu  $O_3$  có các giá trị lớn nhất là  $48,5\text{ kN}$  và  $33\text{ kN}$ ;  $39\text{ kN}$  và  $25,5\text{ kN}$ , ứng với chiều sâu ấn gầu  $L_{AG} = 0,9L_{SG}$  và  $L_{AG} = 1,1L_{SG}$  cho thấy rằng, giá trị lực lớn nhất tại các khớp và quy luật thay đổi lực của phương pháp xúc phân đoạn lớn hơn khoảng 19% và thay đổi nhiều hơn so với phương pháp xúc phối hợp. Điều này chứng tỏ rằng khi xúc ĐNM trong đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ bằng phương pháp xúc phối hợp mà luận án đề xuất hợp lý hơn so với phương pháp xúc phân đoạn truyền thống.



4. Kết quả thực nghiệm xác định lực tác động lên khâu, khớp TBCT của MXLDB E 500-1, với các trường hợp làm việc đặc trưng của máy: quá trình xúc ĐNM bằng phương pháp phối hợp với sai số không lớn giữa kết quả tính toán tính toán lý thuyết và thực nghiệm khoảng 17%-22%; là cơ sở khoa học khẳng định tính đúng đắn của các mô hình và các công thức tính toán lý thuyết.

## 2. Kiến nghị

Mặc dù luận án đã giải quyết được một cách căn bản những nhiệm vụ đặt ra, nhưng vẫn còn vấn đề cần tiếp tục giải quyết đó là:

1. Bằng phương pháp động học ngược luận án đã đưa ra quy luật thay đổi của các khâu dẫn gồm: chuyển động tịnh tiến của máy (x), góc quay nâng cần ( $\theta_2$ ) và góc quay gầu ( $\theta_2$ ) để tạo ra quỹ đạo chuyển động hợp lý của gầu xúc như mong muốn; là nội dung cần tiếp tục nghiên cứu để làm cơ sở, thiết kế chế tạo bộ điều khiển tự động quá trình vận hành, khi MXLDB làm việc trong những điều kiện đặc biệt, nguy hiểm trong đường hầm hoặc tự động hóa trong các chu trình làm việc của máy theo yêu cầu của thực tiễn đặt ra.

2. Các kết quả khảo sát ĐLH cho thấy, các giá trị lực lớn nhất tác dụng lên các khớp quay nâng cần  $O_2$ ,  $F_{O_2} = 48,5$  kN và khớp quay gầu  $O_3$ ,  $F_{O_3} = 33$  kN được xác định bằng tính toán lý thuyết kết hợp với đo bằng thực nghiệm là cơ sở để tiếp tục nghiên cứu giải các bài toán khác về động lực học máy, độ bền và tối ưu kết cấu của MXLDB VMC E500-1.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. **Tạ Văn Huy**, Lê Văn Dưỡng , Nguyễn Văn Thắng, “*Phân tích động lực học của máy xúc lật khi làm việc trên địa hình không bằng phẳng*”, Câu lạc bộ Cơ khí - Động lực Hội nghị khoa học lần thứ IX. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số đặc biệt, 9-2016.
2. **Tạ Văn Huy**, Chu Văn Đạt, “*Phương pháp xác định lực momen tác động vào răng gầu trong quá trình đào và tích ĐNM của máy xúc lật*” Hội nghị khoa học và công nghệ lần thứ X Câu lạc bộ Cơ khí - Động lực; Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng, tập 11 số 04/07-2017.
3. **Tạ Văn Huy**, Chu Văn Đạt, “*Nghiên cứu động học thiết bị công tác MXLDB trong thi công đường hầm*”, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật - Số 185/8-2017 - Học viện KTQS.
4. **Van Huy Ta, Van Dat Chu**, “*Determination of the expedient motion trajectory of the bucket on the side dump bucket loader MVC E500-1 during the digging and filling materials*” Applied Mechanics and Materials, ISSN: 1662-7482, Trans Tech Publications, Switzerland 2019 (**Q4, H-index = 29**)
5. **Van Huy Ta, Van Dat Chu** “*Dynamic research of scooping process on the side dump bucket loader MCV E500-1 for tunnel construction by the drill and blast method*” Hội nghị toàn quốc về kỹ thuật cơ khí và chế tạo năm 2019 – NCMME 2019.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

**1. Tiếng Việt.**

- [1]. Bộ tư lệnh Công binh, *Sổ tay kỹ thuật*, Cục kỹ thuật- Bộ tư lệnh Công binh, Hà Nội, 2002.
- [2]. Công ty cổ phần chế tạo máy –VINACUMIN, *Tài liệu hướng dẫn sử dụng máy xúc lật hông VMC E500-1*, lưu hành nội bộ, 2016.
- [3]. Nguyễn Đức Chiến, Vũ Quý Điềm, Phạm Văn Tuân, Đỗ Lê Phú, *Giáo trình Cảm biến*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [4]. Vũ Liêm Chính, Phan Nguyên Di, Nguyễn Văn Khang, *Giáo trình Động lực học máy*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2001. (tài liệu biên dịch).
- [5]. Lê Văn Cường, *Nghiên cứu động lực học máy đào một gầu dẫn động thủy lực Luận án TS kỹ thuật*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà nội, 2010.
- [6]. Chu Văn Đạt, Phan Nguyên Di, *Phương pháp số trong động học, động lực học hệ nhiều vật. Học viện kỹ thuật quân sự*, Hà Nội, 2000.
- [7]. Chu Văn Đạt, *Ứng dụng mô hình siêu phân tử động lực học trong động lực học hệ nhiều vật đàn hồi phẳng. Luận án TS kỹ thuật*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà nội, 2001.
- [8]. Phan Nguyên Di, *Cơ học hệ nhiều vật*, Học viện kỹ thuật Quân sự, Hà Nội 1996.
- [9]. Phạm Hữu Đông, Hoa Văn Ngữ, Lưu Bá Thuận, *Máy làm đất, Nhà xuất bản xây dựng*, Hà Nội, 2004.
- [10]. Nguyễn Văn Hòa, Bùi Đăng Thành, Hoàng Sỹ Hồng, *Đo lường điện và cảm biến đo lường, NXB Giáo dục*, Hà Nội 2008.
- [11]. Nguyễn Văn Khang *Động lực học hệ nhiều vật*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2007).
- [12]. Vũ Thế Lộc, Vũ Thanh Bình, *Máy làm đất*, Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội, 1997.
- [13]. Bùi Mạnh Hùng, Đoàn Đình Điệp, *Máy và thiết bị thi công công trình ngầm*, Nhà xuất bản Xây dựng, Năm 2011.

- [14]. Nguyễn Việt Tân, *Xác định các thông số tối ưu của gầu xúc máy bốc xúc sử dụng trong thi công đường hầm khẩu độ vừa và nhỏ*, Luận án TS kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà nội, 2010.
- [15]. Lưu Bá Thuận, *Tính toán máy thi công đất*, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội, 2005.
- [16]. Nguyễn Minh Tuyển, *Quy hoạch thực nghiệm*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2005.

## 2. Tiếng Anh

- [17]. Ahmad Hemami, *Modelling, analysis and preliminary studies for automatic scooping/loading in a mechanical loader*, International Journal of Surface Mining and Reclamation 6 (1992): 151-159.
- [18]. Bekker M.G, *Introduction to Terrain-Vehicle Systems*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press, 1969.
- [19]. C. J. Coetzee, D. N. J. Els, *Modelling Excavator Bucket Filling with DEM// Fifth World Congress on Computational Mechanics*, July 7–12, 2002, Vienna, Austria.
- [20]. Denavit J., Hartenberg R.S, *A Kinematic Notation for Lower-Pair Mechanism Based on Matrices*, J. Applied Mechanics, 215-221, 1955.
- [21]. Helgesson. *Optimization of Bucket Design for Underground Loaders// Master's Thesis in the Master's programme Product Development*. 2010.
- [22]. Wills B.M.D, *The Measurement of Soil Shear Strength and Deformation Moduli and a Comparison of the Actual and Theoretical Performance of a Family of Rigid Tracks*, Journal of Agricultural Engineering Research, 1963.
- [23]. Wong J.Y, *Theory of ground vehicles*, Canada, 2001.
- [24]. Wong J.Y. and Preston-Thomas J, *On the Characterization of the Shear Stress-Displacement Relationship of Terrain*, Journal of Terramechanics, 1983
- [25]. Y. Li and W. Liu, *Spatial kinematics modeling and simulation of wheel loader*, J Model Simul Identify Control, vol. 1, 2013, pp. 78-88.

### 3. Tiếng Nga

- [26]. Абрамов СВ. *Фронтальные погрузчики: Учебное пособие*, Карагандинский политехнический институт, Караганда, 1990.
- [27]. Абрамов СВ., Мещеряков В.И. *Фронтальные погрузчики: Учеб. пособие*. СибАДИ, Омск, 1997.
- [28]. Абрамов С.В., *Диссертация на соискание ученой степени кандидата естественных наук*, Диссертация, 2002.
- [29]. Агиенко, Д.М., *Исследование динамики рабочего процесса гидравлического фронтального погрузчика*, Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04, Омск, 1976.
- [30]. Базанов, А.Ф., Забегалов Г.В., *Самоходные погрузчики*, Машиностроение, Москва, 1979.
- [31]. Баловнев В.И, Хмара Л.А, *Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве*, Транспорт, Москва, 1993.
- [32]. Бояркина И.В., *Задача Шарля Кулона о надвигании пластины на грунтовый массив*, Всероссийской научнотехнической конференции.– СибАДИ, Омск, 2006.
- [33]. Бояркина И.В., *Механика взаимодействия рабочего оборудования строительных машин с разрабатываемой средой*.
- [34]. Бояркина И.В., *Технологическая механика одноковшовых фронтальных погрузчиков: монография*, СибАДИ, Омск, 2011.
- [35]. Волков Д.П., *Динамика и прочность одноковшовых экскаваторов*.– Машиностроение, Москва, 1965.
- [36]. Волков, Д.П. и др., *Машины для земляных работ: учебник для вузов*, Машиностроение, Москва, 1992.
- [37]. Гинзбург, Ю.В. и др., *Промышленные тракторы*, Машиностроение, Москва, 1986.
- [38]. Гоберман Л. А., Степанян К. В., Яркин А. А., Заленский В. С., *Теория, конструкции и расчет строительных и дорожных машин*, Машиностроение, Москва, 1979.

- [39]. Домбровский Н.Г., Гальперин М.И., *Строительные машины: учеб. для студентов вузов, Высш. школа, Москва, 1985.*
- [40]. Зеленин, А.Н. и др., *Машины для земляных работ: учебное пособие для вузов, Машиностроение, Москва, 1975.*
- [41]. Иванов О.П. *Исследование влияния веса породопогрузочных машин на их рабочие качества и основные параметры: Автореф. дис. канд. техн. наук. Новочеркасск, 1951.*
- [42]. Калмыков С.Г., *Определение сцепного веса погрузочной машины с катящейся рукоятью. Горный журнал №6, 1948.*
- [43]. Козлов, М.В., *Оптимизация параметров энергосберегающей гидросистемы привода стрелы экскаватора: дис. ...канд. техн. наук: 05.05.04, СибАДИ, Омск, 1988.*
- [44]. Костылев А.Д., *Исследование процесса черпания скальных пород с целью усовершенствования геометрии ковшей породопогрузочных машин: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. Новосибирск, 1968.*
- [45]. Лукин, А.М., *Оптимизация процесса черпания сыпучего материала фронтального погрузчика: дис. ...канд. техн. наук: 05.05.04, СибАДИ, Омск, 1984.*
- [46]. Михирев П.А., *Исследование процесса наполнения ковшей погрузочных машин: Автореф. дис. .канд. техн. наук. Новосибирск, 1958.*
- [47]. Михирев, П.А., *Основы теории ковшевых автоматизированных погрузочных органов, Наука, Новосибирск, 1986.*
- [48]. Подэрни Р.Ю., *Механическое оборудование карьеров: учеб. для вузов, Изд-во Московского государственного горного университета, Москва, 2003.*
- [49]. Позин, Б.М. и др., *Влияние конструктивной схемы колесного фронтального погрузчика с шарнирно-сочлененной рамой на эффективность его работы, Строительные и дорожные машины №5, 2008.*
- [50]. Родионова Г.В., *Погрузочные машины для сыпучих и кусковых материалов: (Конструкция, теория и расчет). Машгиз, Москва, 1967.*

- [51]. Родионов Г.В., *Усилия, действующие на ковш при черпании 437 скальных пород*, Транспортный горный геологический институт, Новосибирск, 1957.
- [52]. Стогов В.Н., Плюхин Д.С., Ефимов Г.П., *Погрузочно - разгрузочные машины. - 3-е изд., перераб.* Транспорт, Москва, 1977.
- [53]. Баумана В.А., Лапира Ф.А., *Строительные машины: Справочник. Том 1*, Машиностроение, Москва, 1976.
- [54]. Раннев А.В., Корелин В.Ф., Жаворонков А.В. и др., *Строительные машины: справочник: в 2 т. Т.1. Машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог*, Машиностроение, Москва, 1991.
- [55]. Тарасов В.Н., *Динамика систем управления рабочими процессами землеройно-транспортных машин*, Сиб. кн. изд-во. Омск, 1975.
- [56]. Тарасов В.Н. *Механика копания грунтов, основанная на теории предельных касательных напряжений* В.Н. Тарасов, М.В. Коваленко, *Строительные и дорожные машины*, 2003.
- [57]. Тарасов В.Н., Глебов В.Д. и др., *Гидропривод механизма подъема погрузчика*, Оpubл. Б.И. №3, СССР, 1977.
- [58]. Ульянов Н.А. *Колесные движители строительных и дорожных машин. (Теория и расчет)*. - М.: Машиностроение, 1981. - 279 с.
- [59]. Ульянов Н.А. *Теория самоходных колесных землеройно - транспортных машин*. - М.: Машиностроение, 1969. - 520 с.
- [60]. Фисенко, Н.И., *Исследование рабочего оборудования одноковшового фронтального погрузчика: дис. ...канд. техн. наук: 05.05.04*, Омск, 1976.
- [61]. Фохт Л.Г., *Одноковшовый погрузчик*, Стройиздат, Москва, 1986.
- [62]. Фохт, Л.Г., *Машины и оборудование для погрузочно-разгрузочных работ*, Стройиздат, Москва, 1982.
- [63]. Чебанов Л.С., *Эффективность применения погрузчиков в строительстве*, Будивельник, Киев, 1987.

## PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Thông số kỹ thuật cơ bản của máy xúc lật VMC E500-1.

STT	Thông số cơ bản	Đơn vị tính	Giá trị
<b>I</b>	<b>Thông số kỹ thuật</b>		
1	Dung tích gầu xúc định mức	m <sup>3</sup>	0,5
2	Chiều rộng gầu xúc	mm	1.530
3	Độ cao dỡ tải lớn nhất	mm	1.550
4	Góc dỡ tải lớn nhất	Độ	50°
5	Khe hở cách đất nhỏ nhất	mm	180
6	Độ sâu đào lớn nhất	mm	600
7	Góc dốc làm việc	Độ	±16°
8	Mức độ tiếng ồn	dB(A)	90
9	Kích thước ngoại hình (bao)	mm	4.080×1.480×2.100
10	Trọng lượng máy	kg	8.000
11	Lực kéo định mức	kN	35
12	Lực kéo lớn nhất	kN	50
13	Tốc độ di chuyển	Km/h	2,2
14	Chiều rộng xích	mm	260
15	Áp suất riêng tiếp đất	MPa	0,07
<b>II</b>	<b>Hệ thống thủy lực</b>		
1	Áp suất động cơ di chuyển	MPa	210
2	Áp suất xi lanh công tác	MPa	210
3	Hành trình xi lanh nâng cần	mm	336
4	Hành trình xi lanh quay gầu	mm	425
5	Hành trình xi lanh lật gầu	mm	390
<b>III</b>	<b>Hệ thống điện</b>		
1	Nguồn điện sử dụng	V	1140/660
2	Mã hiệu động cơ		YBK2 200L-4
3	Công suất động cơ	kW	50
4	Dòng điện định mức động cơ	A	57.6
5	Tốc độ quay động cơ	Vòng/phút	1.470
6	Khởi động từ chân không phòng nổ an toàn dùng trong mỏ		QJZ-120/1140(660)V



Phụ lục 2.1. Ma trận chuyển thuần nhất cho các khâu

$$A_0^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_1^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & a_1\cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & a_1\sin\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2^3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & a_2\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & a_2\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3^4 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & a_3\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & a_3\sin\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4^5 = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & -\cos\alpha_4 \sin\theta_4 & \sin\alpha_4 \sin\theta_4 & a_4\cos\theta_4 \\ \sin\theta_4 & \cos\alpha_4 \cos\theta_4 & -\sin\alpha_4 \cos\theta_4 & a_4\sin\theta_4 \\ 0 & \sin\alpha_4 & \cos\alpha_4 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Phụ lục 2.2. Ma trận vị trí các khâu so với tọa độ cố định

$$A_0^2 = A_0^1 A_1^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & a_1 \cos\theta_1 + x \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & a_1 \sin\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_0^3 = A_0^1 A_1^2 A_2^3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 \cos\theta_2 & -\cos\theta_1 \sin\theta_2 & \sin\theta_1 & a_2 \cos\theta_1 \cos\theta_2 + a_1 \cos\theta_1 + x \\ \sin\theta_1 \cos\theta_2 & -\sin\theta_1 \sin\theta_2 & -\cos\theta_1 & \sin\theta_1 (a_2 \cos\theta_2 + a_1) \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & a_2 \sin\theta_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_1, B_2, B_3, \text{ được xác định: } B_1 = \cos\theta_1 [a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos\theta_2 + a_1] + x$$

$$B_2 = \sin\theta_1 [-a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos\theta_2 + a_1]; B_3 = [a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \sin\theta_2 + d_1]$$

$$A_0^5 = A_0^1 A_1^2 A_2^3 A_3^4 A_4^5 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 C_{234} & -\cos\theta_1 S_{234} & \sin\theta_1 & B_{11} \\ \sin\theta_1 C_{234} & -\sin\theta_1 S_{234} & -\cos\theta_1 & B_{22} \\ S_{234} & C_{234} & 0 & B_{33} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_{234} = \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4), S_{234} = \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

$B_{11}, B_{22}, B_{33}$  được xác định:

$$B_{11} = \cos\theta_1 [a_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos\theta_2 + a_1] + x + d_1 \sin\theta_1$$

$$B_{22} = \sin\theta_1 [a_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos\theta_2 + a_1] - d_1 \cos\theta_1$$

$$B_{33} = [a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \sin\theta_2 + d_1]$$

## Phụ lục 2.3. Tọa độ tuyệt đối của điểm H và điểm L

Điểm H có tọa độ tuyệt đối:

$$\begin{aligned}
x_H &= (\sin(\alpha_4) \sin(\theta_4) \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) \\
&\quad - \sin(\alpha_4) \sin(\theta_4) \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) \sin(\theta_3) + \sin(\alpha_4) \cos(\theta_4) \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) \sin(\theta_3) \\
&\quad + \sin(\alpha_4) \cos(\theta_4) \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) \cos(\theta_3) + \sin(\theta_1) \cos(\alpha_4)) l_5 + \\
&\quad + a_4 \cos(\theta_4) \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) - a_4 \cos(\theta_4) \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) \sin(\theta_3) \\
&\quad - a_4 \sin(\theta_4) \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) \sin(\theta_3) - a_4 \sin(\theta_4) \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) \cos(\theta_3) + \sin(\theta_1) d_4 \\
&\quad + a_4 \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) a_3 \cos(\theta_3) - \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) a_3 \sin(\theta_3) \\
&\quad + \cos(\theta_1) a_2 \cos(\theta_2) + a_1 \cos(\theta_1) + x \\
y_H &= (\sin(\alpha_4) \sin(\theta_4) \sin(\theta_1) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) \\
&\quad - \sin(\alpha_4) \sin(\theta_4) \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) \sin(\theta_3) + \sin(\alpha_4) \cos(\theta_4) \sin(\theta_1) \cos(\theta_2) \sin(\theta_3) \\
&\quad + \sin(\alpha_4) \cos(\theta_4) \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) \cos(\theta_3) - \cos(\theta_1) \cos(\alpha_4)) l_5 \\
&\quad + a_4 \cos(\theta_4) \sin(\theta_1) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) - a_4 \cos(\theta_4) \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) \sin(\theta_3) \\
&\quad - a_4 \sin(\theta_4) \sin(\theta_1) \cos(\theta_2) \sin(\theta_3) - a_4 \sin(\theta_4) \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) \cos(\theta_3) - \cos(\theta_1) d_4 \\
&\quad + \sin(\theta_1) \cos(\theta_2) a_3 \cos(\theta_3) - \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) a_3 \sin(\theta_3) + \cos(\theta_1) a_2 \cos(\theta_2) + a_1 \cos(\theta_1) \\
z_H &= (-\sin(\alpha_4) (\cos(\theta_4) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) - \cos(\theta_4) \sin(\theta_2) \sin(\theta_3)) l_5 \\
&\quad + a_4 \cos(\theta_4) \sin(\theta_2) \cos(\theta_3) + a_4 \cos(\theta_4) \cos(\theta_2) \sin(\theta_3) \\
&\quad + a_4 \sin(\theta_4) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) - a_4 \sin(\theta_4) \sin(\theta_2) \sin(\theta_3) \\
&\quad + \sin(\theta_2) a_3 \cos(\theta_3) + \cos(\theta_2) a_3 \sin(\theta_3) + a_2 \sin(\theta_2) + d_1
\end{aligned}$$

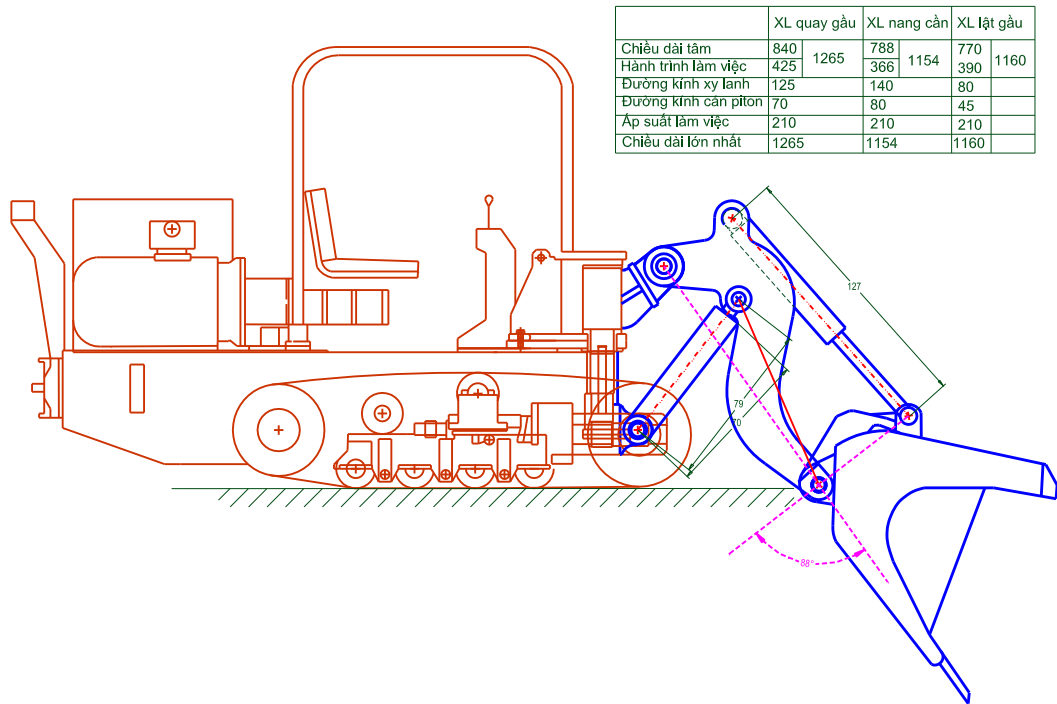
Điểm L có tọa độ tuyệt đối:

$$\begin{aligned}
x_L = & (-\cos(\alpha_4)\sin(\theta_4)\cos(\theta_1)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) \\
& + \cos(\alpha_4)\sin(\theta_4)\cos(\theta_1)\sin(\theta_2)\sin(\theta_3) - \cos(\alpha_4)\cos(\theta_4)\cos(\theta_1)\cos(\theta_2)\sin(\theta_3) \\
& - \cos(\alpha_4)\cos(\theta_4)\cos(\theta_1)\sin(\theta_2)\cos(\theta_3) + \sin(\theta_1)\sin(\alpha_4)) \\
& l_6\cos(\delta_6) + (\sin(\alpha_4)\sin(\theta_4)\cos(\theta_1)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) \\
& - \sin(\alpha_4)\sin(\theta_4)\cos(\theta_1)\sin(\theta_2)\sin(\theta_3) + \sin(\alpha_4)\cos(\theta_4)\cos(\theta_1)\cos(\theta_2)\sin(\theta_3) \\
& + \sin(\alpha_4)\cos(\theta_4)\cos(\theta_1)\sin(\theta_2)\cos(\theta_3) + \sin(\theta_1)\cos(\alpha_4)) \\
& (b-15)l_6\sin(\delta_6) + a_4\cos(\theta_4)\cos(\theta_1)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) \\
& - a_4\cos(\theta_4)\cos(\theta_1)\sin(\theta_2)\sin(\theta_3) - a_4\sin(\theta_4)\cos(\theta_1)\cos(\theta_2)\sin(\theta_3) \\
& - a_4\sin(\theta_4)\cos(\theta_1)\sin(\theta_2)\cos(\theta_3) + \sin(\theta_1)d_4 \\
& + \cos(\theta_1)\cos(\theta_2)a_3\cos(\theta_3) - \cos(\theta_1)\sin(\theta_2)a_3\sin(\theta_3) \\
& + \cos(\theta_1)a_2\cos(\theta_2) + a_1\cos(\theta_1) + x
\end{aligned}$$

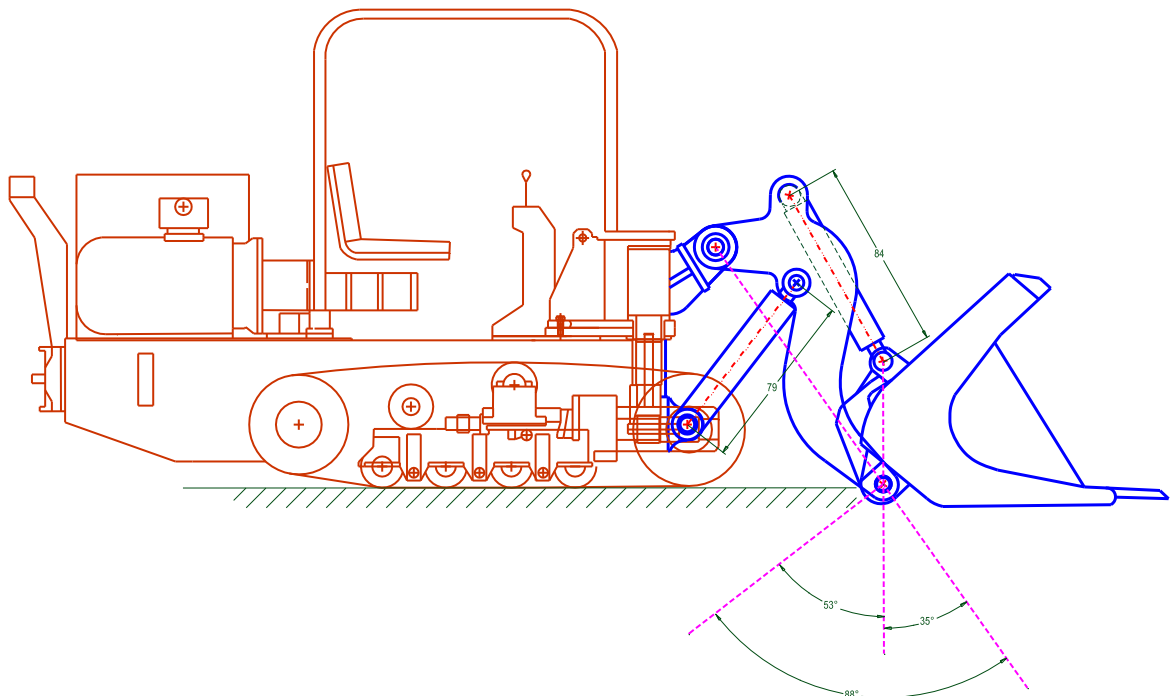
$$\begin{aligned}
y_L = & (-\cos(\alpha_4)\sin(\theta_4)\sin(\theta_1)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) \\
& + \cos(\alpha_4)\sin(\theta_4)\sin(\theta_1)\sin(\theta_2)\sin(\theta_3) - \cos(\alpha_4)\cos(\theta_4)\sin(\theta_1)\cos(\theta_2)\sin(\theta_3) \\
& - \cos(\alpha_4)\cos(\theta_4)\sin(\theta_1)\sin(\theta_2)\cos(\theta_3) - \cos(\theta_1)\sin(\alpha_4)) \\
& l_6\cos(\delta_6) + (\sin(\alpha_4)\sin(\theta_4)\sin(\theta_1)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) \\
& - \sin(\alpha_4)\sin(\theta_4)\sin(\theta_1)\sin(\theta_2)\sin(\theta_3) + \sin(\alpha_4)\cos(\theta_4)\sin(\theta_1)\cos(\theta_2)\sin(\theta_3) \\
& + \sin(\alpha_4)\cos(\theta_4)\sin(\theta_1)\sin(\theta_2)\cos(\theta_3) - \cos(\theta_1)\cos(\alpha_4)) \\
& (b-15)\sin(\delta_6) + a_4\cos(\theta_4)\sin(\theta_1)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) \\
& - a_4\cos(\theta_4)\sin(\theta_1)\sin(\theta_2)\sin(\theta_3) - a_4\sin(\theta_4)\sin(\theta_1)\cos(\theta_2)\sin(\theta_3) \\
& - a_4\sin(\theta_4)\sin(\theta_1)\sin(\theta_2)\cos(\theta_3) - \cos(\theta_1)d_4 \\
& + \sin(\theta_1)\cos(\theta_2)a_3\cos(\theta_3) - \sin(\theta_1)\sin(\theta_2)a_3\sin(\theta_3) \\
& + \sin(\theta_1)a_2\cos(\theta_2) + a_1\sin(\theta_1)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
z_L = & \cos(\alpha_4)(\cos(\theta_4)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) - \cos(\theta_4)\sin(\theta_2)\sin(\theta_3) \\
& - \sin(\theta_4)\cos(\theta_2)\sin(\theta_3) - \sin(\theta_4)\sin(\theta_2)\cos(\theta_3)l_6\cos(\delta_6) \\
& - \sin(\alpha_4)((\cos(\theta_4)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) - \cos(\theta_4)\sin(\theta_2)\sin(\theta_3) \\
& - \sin(\theta_4)\cos(\theta_2)\sin(\theta_3) + \sin(\theta_4)\sin(\theta_2)\cos(\theta_3))(b-15)\sin(\delta_6) \\
& + a_4\cos(\theta_4)\sin(\theta_2)\cos(\theta_3) + a_4\cos(\theta_4)\cos(\theta_2)\sin(\theta_3) \\
& + a_4\cos(\theta_4)\sin(\theta_2)\cos(\theta_3) - a_4\sin(\theta_4)\sin(\theta_2)\sin(\theta_3) \\
& + a_4\sin(\theta_4)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) - a_4\sin(\theta_4)\sin(\theta_2)\sin(\theta_3) \\
& + \sin(\theta_2)a_3\cos(\theta_3) + \cos(\theta_2)a_3\sin(\theta_3) + a_2\sin(\theta_2) + d_1
\end{aligned}$$

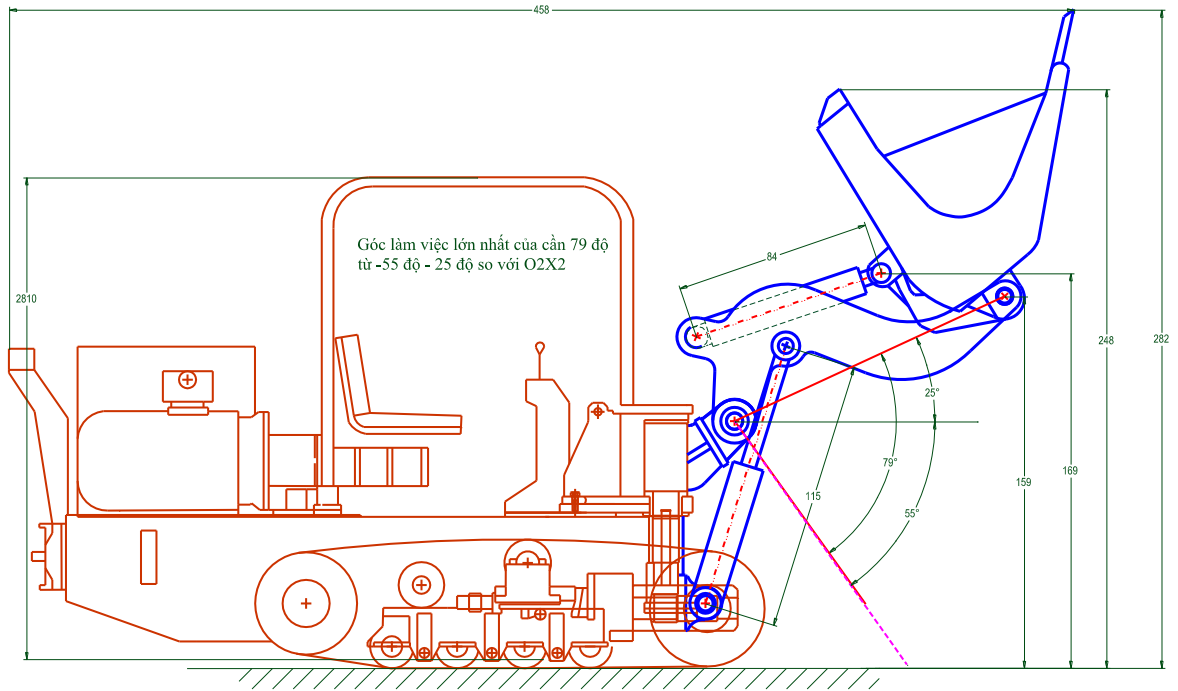
Phụ lục 2.4 Các vị trí đặc biệt của thiết bị công tác MXL VMC E500-1



Vị trí làm việc khi xi lanh gầu ở vị trí dài nhất và xi lanh nâng cần ở vị trí dài nhất

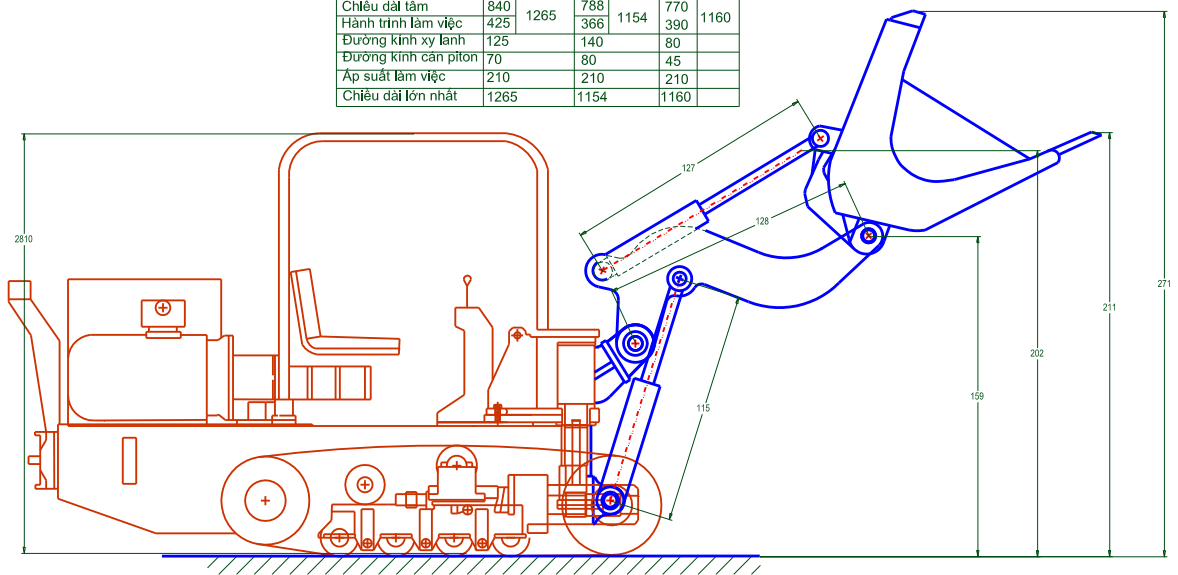


Vị trí làm việc khi xi lanh gầu ở vị trí ngắn nhất và xi lanh nâng cần ở vị trí ngắn nhất



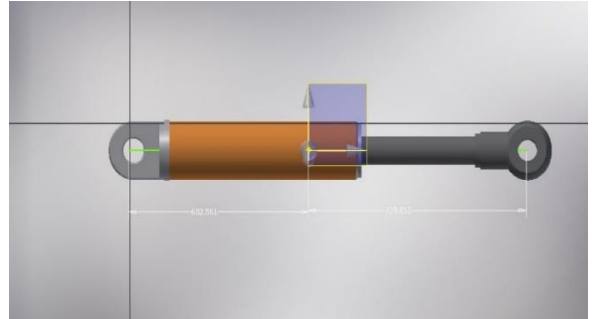
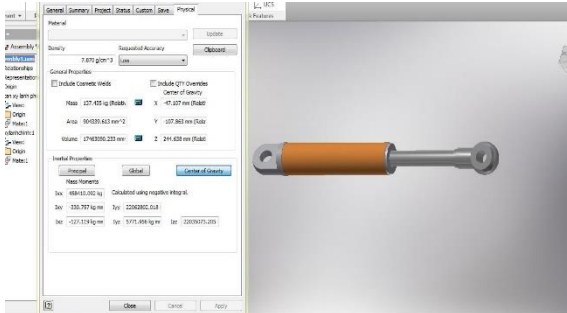
Vị trí làm việc khi xi lanh gầu ở vị trí ngắn nhất và xi lanh nâng cần ở vị trí dài nhất

	XL quay gầu	XL nâng cần	XL lật gầu
Chiều dài tâm	840	788	770
Hành trình làm việc	425	366	390
Đường kính xy lanh	125	140	80
Đường kính cần piston	70	80	45
Áp suất làm việc	210	210	210
Chiều dài lớn nhất	1265	1154	1160



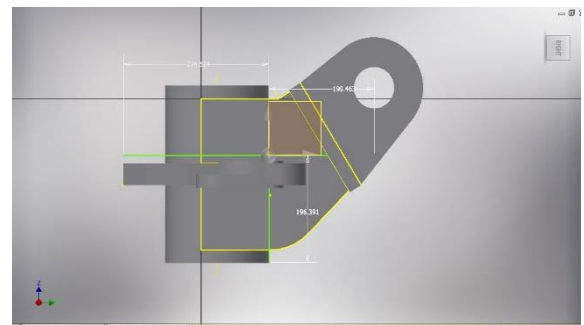
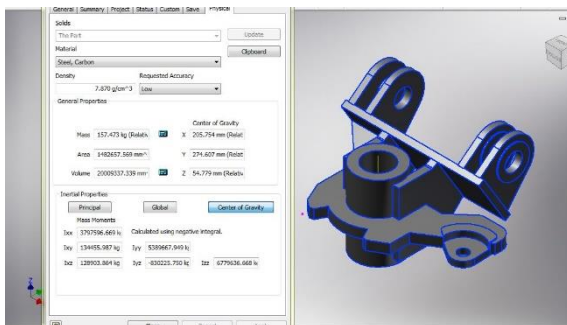
Vị trí làm việc khi xi lanh gầu ở vị trí dài nhất và xi lanh nâng cần ở vị trí dài nhất

Phụ lục 3.1. Giá trị, thông số, vị trí trọng tâm của các chi tiết.



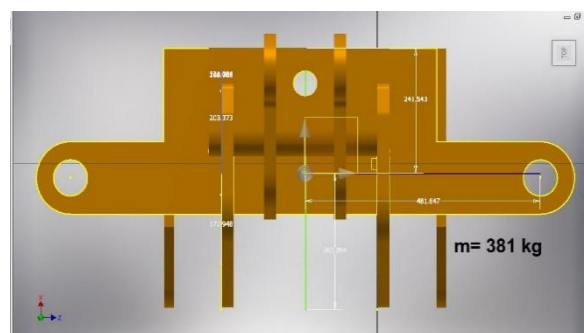
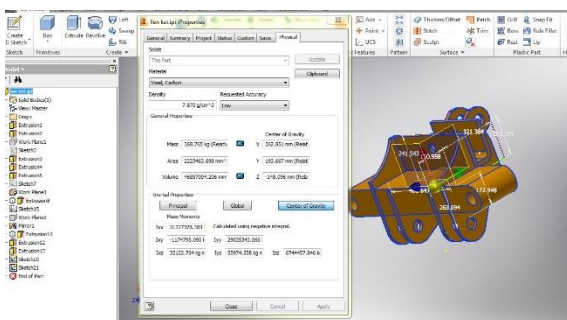
Khối lượng, mô men quán tính của xi lanh lực

Vị trí trọng tâm của xi lanh lực



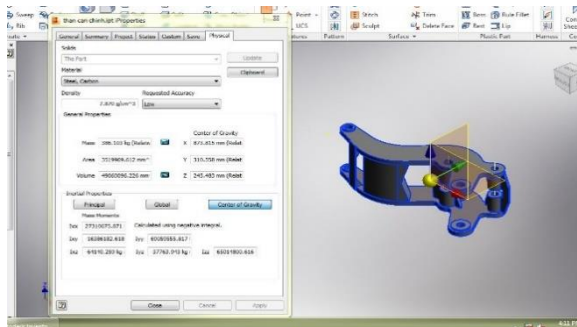
Khối lượng, mô men quán tính của giá quay thiết bị công tác

Vị trí trọng tâm của xy giá quay thiết bị công tác

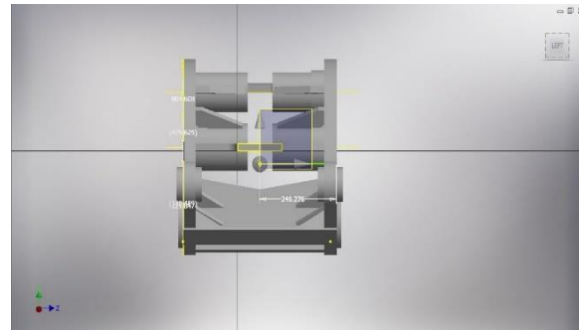


Khối lượng, mô men quán tính của giá gầu xúc

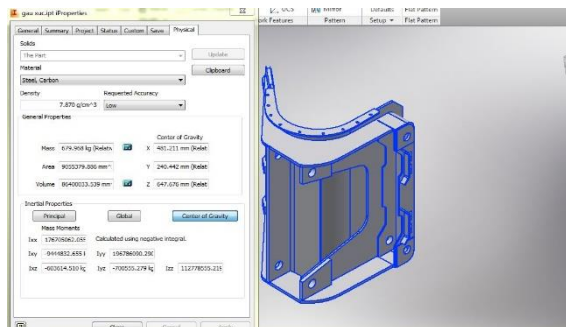
Vị trí trọng tâm của giá gầu xúc



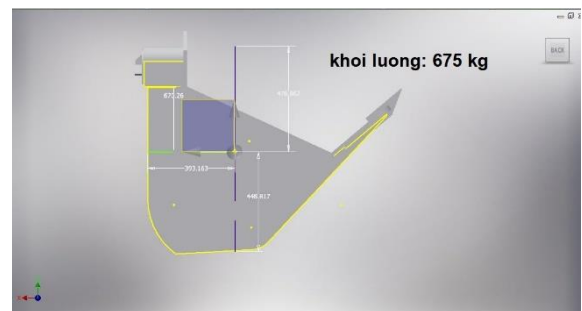
Khối lượng, mô men quán tính của tay cân



Vị trí trọng tâm của tay cân



Khối lượng, mô men quán tính của gầu xúc



Vị trí trọng tâm của gầu xúc



## Phụ lục 3.2 : Tính toán động năng

$$T_1 = \frac{1}{2} m_1 (\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2) \quad (3.30)$$

$$T_2 = \frac{1}{2} m_2 (\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2 + \dot{z}_2^2) + \frac{1}{2} J_2 \omega_2^2 \quad (3.31)$$

$$T_3 = \frac{1}{2} m_3 (\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2 + \dot{z}_3^2) + \frac{1}{2} J_3 \omega_3^2 + \frac{1}{2} J_{3x} \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_2 + \frac{1}{2} J_{3y} \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_2 + \frac{1}{2} J_{3z} \theta_2^2 \quad (3.32)$$

$$T_4 = \frac{1}{2} m_4 (\dot{x}_4^2 + \dot{y}_4^2 + \dot{z}_4^2) + \frac{1}{2} J_4 \omega_4^2 \quad (3.34)$$

$$+ \frac{1}{2} J_{4x} \dot{\theta}_1^2 \sin^2 (\theta_2 + \theta_3) + \frac{1}{2} J_{4y} \dot{\theta}_1^2 \cos^2 (\theta_2 + \theta_3) + \frac{1}{2} J_{4z} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2$$

$$T_3 = \frac{1}{2} m_3 \left[ \begin{aligned} & L_3^2 \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_1 C_{2\delta_2}^2 + L_3^2 \dot{\theta}_2^2 \cos^2 \theta_1 S_{2\delta_2}^2 \\ & + a_3^2 \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_1 \cos^2 \theta_2 + a_3^2 \dot{\theta}_2^2 \sin^2 \theta_2 \cos^2 \theta_1 + a_2^2 \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_1 + \dot{x}^2 + \dots \\ & + 2L_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{2\delta_2} L_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_1 S_{2\delta_2} + 2L_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{2\delta_2} a_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \cos \theta_2 + \\ & + 2L_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{2\delta_2} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1 + 2L_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{2\delta_2} a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \\ & - 2L_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{2\delta_2} \dot{x} + 2L_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_1 S_{2\delta_2} a_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \cos \theta_2 \\ & + 2L_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_1 S_{2\delta_2} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1 + 2L_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_1 S_{2\delta_2} a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \\ & - 2L_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_1 S_{2\delta_2} \dot{x} + 2a_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \cos \theta_2 a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta \\ & + 2a_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \cos \theta_2 a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 - 2a_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \cos \theta_2 \dot{x} \\ & + a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1 a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 + a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1 \dot{x} - a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \dot{x} + \dots \\ & L_3^2 \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_1 C_{2\delta_2}^2 + L_3^2 \dot{\theta}_2^2 \sin^2 \theta_1 S_{2\delta_2}^2 \\ & + a_3^2 \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_1 \cos^2 \theta_2 + a_3^2 \dot{\theta}_2^2 \sin^2 \theta_2 \sin^2 \theta_1 + a_1^2 \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_1 \\ & - 2L_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{2\delta_2} L_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_1 S_{2\delta_2} - 2L_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{2\delta_2} a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \cos \theta_2 \\ & + 2L_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{2\delta_2} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 - 2L_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{2\delta_2} a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \\ & + 2L_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_1 S_{2\delta_2} a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - 2L_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_1 S_{2\delta_2} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 \\ & + 2L_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_1 S_{2\delta_2} a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 - 2a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \cos \theta_2 a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 \\ & + 2a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \cos \theta_2 a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 - 2a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + \dots \\ & + L_3^2 \dot{\theta}_2^2 C_{2\delta_2}^2 + a_3^2 \dot{\theta}_2^2 \cos^2 \theta_2 + 2L_3 \dot{\theta}_2 C_{2\delta_2} a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \end{aligned} \right] + \dots$$

$$+ \frac{1}{2} J_{3x} \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_2 + \frac{1}{2} J_{3y} \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_2 + \frac{1}{2} J_{3z} \theta_2^2$$

$$\begin{aligned}
T_4 = \frac{1}{2} m_4 & \left[ \begin{aligned}
& L_4^2 \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_1 C_{23\delta_3}^2 + L_4^2 (\dot{z})^2 \cos^2 \theta_1 S_{23\delta_3}^2 + a_4^2 \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_1 C_{23}^2 \\
& - a_4^2 (\dot{z})^2 \cos^2 \theta_1 S_{23}^2 - a_4^2 \dot{\theta}_2^2 \sin^2 \theta_2 \cos^2 \theta_1 + a_4^2 \dot{\theta}_2^2 \cos^2 \theta_2 \sin^2 \theta_1 \\
& + a_1^2 \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_1 + \dot{x}^2 + 2L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23\delta_3} L_4 \dot{z} \cos \theta_1 S_{23\delta_3} + 2L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23\delta_3} a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23} \\
& + 2L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23\delta_3} a_4 \dot{z} \cos \theta_1 S_{23} + 2L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23\delta_3} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta \\
& + 2L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23\delta_3} a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \sin \theta + 2L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23\delta_3} a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \\
& - 2L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23\delta_3} \dot{x} + 2L_4 \dot{z} \cos \theta_1 S_{23\delta_3} a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23} + 2L_4 (\dot{z})^2 \cos \theta_1 S_{23\delta_3} a_4 \cos \theta_1 S_{23} \\
& + 2L_4 \dot{z} \cos \theta_1 S_{23\delta_3} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta + 2L_4 \dot{z} \cos \theta_1 S_{23\delta_3} a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \sin \theta \\
& + 2L_4 \dot{z} \cos \theta_1 S_{23\delta_3} a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 - 2L_4 \dot{z} \cos \theta_1 S_{23\delta_3} \dot{x} \\
& + 2a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23} a_4 \dot{z} \cos \theta_1 S_{23} + 2a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta \\
& + 2a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23} a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \sin \theta + 2a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23} a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \\
& - 2a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23} \dot{x} + 2a_4 \dot{z} \cos \theta_1 S_{23} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta \\
& + 2a_4 \dot{z} \cos \theta_1 S_{23} a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \sin \theta + 2a_4 \dot{z} \cos \theta_1 S_{23} a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \\
& - 2a_4 \dot{z} \cos \theta_1 S_{23} \dot{x} + 2a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \sin \theta \\
& + 2a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 - 2a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta \dot{x} + 2a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \sin \theta a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \\
& - 2a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \sin \theta \dot{x} - 2a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \dot{x} + L_4^2 \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_1 C_{23\delta_3}^2 + L_4^2 (\dot{z})^2 \sin^2 \theta_1 S_{23\delta_3}^2 \\
& + a_4^2 \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_1 C_{23}^2 - a_4^2 (\dot{z})^2 \sin^2 \theta_1 S_{23}^2 + a_3^2 \dot{\theta}_2^2 \sin^2 \theta_2 \sin^2 \theta_1 \\
& + a_3^2 \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_2 \cos^2 \theta_1 + a_1^2 \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_1 - 2L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23\delta_3} L_4 \dot{z} \sin \theta_1 S_{23\delta_3} \\
& - 2L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23\delta_3} a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23} + 2L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23\delta_3} a_4 \dot{z} \sin \theta_1 S_{23} \\
& + 2L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23\delta_3} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 - 2L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23\delta_3} a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \cos \theta_1 \\
& - 2L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23\delta_3} a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + 2L_4 \dot{z} \sin \theta_1 S_{23\delta_3} a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23} \\
& - 2L_4 \dot{z} \sin \theta_1 S_{23\delta_3} a_4 \dot{z} \sin \theta_1 S_{23} - 2L_4 \dot{z} \sin \theta_1 S_{23\delta_3} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 \\
& + 2L_4 \dot{z} \sin \theta_1 S_{23\delta_3} a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \cos \theta_1 + 2L_4 \dot{z} \sin \theta_1 S_{23\delta_3} a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \\
& - 2a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23} a_4 \dot{z} \sin \theta_1 S_{23} - 2a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 \\
& + 2a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23} a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \cos \theta_1 + 2a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23} a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \\
& + 2a_4 \dot{z} \sin \theta_1 S_{23} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 - 2a_4 \dot{z} \sin \theta_1 S_{23} a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \cos \theta_1 \\
& - 2a_4 \dot{z} \sin \theta_1 S_{23} a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + 2a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \cos \theta_1 \\
& + 2a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + 2a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \cos \theta a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \\
& + L_4^2 (\dot{z})^2 C_{23\delta_3}^2 + a_4^2 (\dot{z})^2 C_{23}^2 + a_3^2 \dot{\theta}_2^2 \cos^2 \theta_2 \\
& - 2L_4 (\dot{z})^2 C_{23\delta_3} a_4 C_{23} - 2L_4 \dot{z} C_{23\delta_3} a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 + 2a_4 \dot{z} C_{23} a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2
\end{aligned} \right] + \dots \\
& + \frac{1}{2} J_{4x} \dot{\theta}_1^2 S_{23}^2 + \frac{1}{2} J_{4y} \dot{\theta}_1^2 C_{23}^2 + \frac{1}{2} J_{4z} (\dot{z})^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left[ \begin{aligned}
& \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_1 (L_5 \cos \delta_4 C_{234} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} + a_5 C_{234} + a_4 C_{23} + a_3 \cos \theta_2 + a_1)^2 \\
& + \cos^2 \theta_1 (-L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} + \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} - \dot{2}\dot{3}\dot{4} a_5 S_{234} - a_4 \dot{2}\dot{3} - S_{23} - a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2)^2 \\
& + (L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5)^2 \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_1 + \dot{x}^2 \\
& - 2\dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \left( \begin{array}{l} L_5 \cos \delta_4 C_{234} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} \\ + a_5 C_{234} + a_4 C_{23} + a_3 \cos \theta_2 + a_1 \end{array} \right) \cos \theta_1 \left( \begin{array}{l} -L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} - a_4 \dot{2}\dot{3} - a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \\ \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} - \dot{2}\dot{3}\dot{4} a_5 S_{234} - C_{23} \end{array} \right) \\
& - 2\dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \left( \begin{array}{l} L_5 \cos \delta_4 C_{234} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} + \dots \\ a_5 C_{234} + a_4 C_{23} + a_3 \cos \theta_2 + a_1 \end{array} \right) (L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \dot{\theta}_1 \cos \theta - \\
& - 2\dot{\theta}_1 \sin \theta_1 (L_5 \cos \delta_4 C_{234} + a_3 \cos \theta_2 + a_1 + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} + a_5 C_{234} + a_4 C_{23}) \dot{x} \\
& + 2 \cos \theta_1 \left( \begin{array}{l} -L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} - a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} \\ - S_{23} - \dot{2}\dot{3}\dot{4} a_5 S_{234} - a_4 \dot{2}\dot{3} \end{array} \right) (L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \dot{\theta}_1 \cos \theta \\
& + 2 \cos \theta_1 \left( \begin{array}{l} -L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} + \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} + \\ - \dot{2}\dot{3}\dot{4} a_5 S_{234} - a_4 \dot{2}\dot{3} - S_{23} - a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \end{array} \right) \dot{x} + 2(L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \dot{x} + \\
& + \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_1 (L_5 \cos \delta_4 C_{234} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} + a_5 C_{234} + a_4 C_{23} + a_3 \cos \theta_2 + a_1)^2 \\
& + \sin^2 \theta_1 (-L_5 \dot{2}\dot{3} \cos \delta_4 S_{234} + \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} - \dot{2}\dot{3}\dot{4} a_5 S_{234} - a_4 \dot{2}\dot{3} - S_{23} - a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2)^2 \\
& + (L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5)^2 \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_1 + \\
& + 2\dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \left( \begin{array}{l} L_5 \cos \delta_4 C_{234} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} \\ + a_5 C_{234} + a_4 C_{23} + a_3 \cos \theta_2 + a_1 \end{array} \right) \sin \theta_1 \left( \begin{array}{l} -L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} - \dot{2}\dot{3}\dot{4} a_5 S_{234} - a_4 \dot{2}\dot{3} \\ + \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} - a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 - S_{23} \end{array} \right) \\
& + 2\dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \left( \begin{array}{l} L_5 \cos \delta_4 C_{234} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} + \\ a_5 C_{234} + a_4 C_{23} + a_3 \cos \theta_2 + a_1 \end{array} \right) (L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \dot{\theta}_1 \sin \theta \\
& + 2 \sin \theta_1 \left( \begin{array}{l} -L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} + \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} + \dots \\ - \dot{2}\dot{3}\dot{4} a_5 S_{234} - a_4 \dot{2}\dot{3} - S_{23} - a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \end{array} \right) (L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \dot{\theta}_1 \sin \theta \\
& + L_5^2 (\dot{2}\dot{3}\dot{4})^2 \cos^2 \delta_4 C_{234}^2 + L_5^2 (\dot{2}\dot{3}\dot{4})^2 \sin^2 \delta_4 \cos^2 \alpha_4 S_{234}^2 + a_5^2 (\dot{2}\dot{3}\dot{4})^2 C_{234}^2 \\
& + a_4^2 (\dot{2}\dot{3})^2 C_{23}^2 + a_3^2 \dot{\theta}_2^2 \cos^2 \theta_2 + 2L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 C_{234} L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} \\
& + 2L_5 (\dot{2}\dot{3}\dot{4})^2 \cos \delta_4 C_{234} a_5 C_{234} + 2L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 C_{234} a_4 \dot{2}\dot{3} C_{23} + 2L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 C_{234} a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \\
& + 2L_5 (\dot{2}\dot{3}\dot{4})^2 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} a_5 C_{234} + 2L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} a_4 \dot{2}\dot{3} C_{23} \\
& + 2L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 + 2a_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} C_{234} a_4 \dot{2}\dot{3} C_{23} \\
& + 2a_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} C_{234} a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 + 2a_4 \dot{2}\dot{3} C_{23} a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2
\end{aligned} \right] + \dots \\
& + \frac{1}{2} J_{4y} \dot{\theta}_1^2 C_{234}^2 + \frac{1}{2} J_{4z} (\dot{2}\dot{3}\dot{4})^2
\end{aligned}$$

Trong đó:

$$\begin{aligned}
C_{234} &= \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4); S_{234} = \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4); C_{234}^2 = \cos^2(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4); S_{234}^2 = \sin^2(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4); \\
C_{23} &= \cos(\theta_2 + \theta_3); S_{23} = \sin(\theta_2 + \theta_3); C_{23\delta_3} = \cos(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3); S_{23\delta_3} = \sin(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3); \\
C_{23\delta_3}^2 &= \cos^2(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3); S_{23\delta_3}^2 = \sin^2(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3); C_{23}^2 = \cos^2(\theta_2 + \theta_3); S_{23}^2 = \sin^2(\theta_2 + \theta_3); \\
\dot{2}\dot{3} &= \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3; (\dot{2}\dot{3})^2 = (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2; \dot{2}\dot{3}\dot{4} = \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4; (\dot{2}\dot{3}\dot{4})^2 = (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)^2.
\end{aligned}$$

## Phụ lục 3.3 : Tính toán các đạo hàm riêng

$$\text{Khâu 1: } \frac{\partial T_1}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial T_1}{\partial \theta_1} = 0; \quad \frac{\partial T_1}{\partial \theta_2} = 0; \quad \frac{\partial T_1}{\partial \theta_3} = 0; \quad \frac{\partial T_1}{\partial \theta_4} = 0$$

$$\text{Khâu 2: } \frac{\partial T_2}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial T_2}{\partial \theta_1} = -2\dot{x}\dot{\theta}_1(1_{12} + a_1)\cos\theta_1$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial \theta_1} = \frac{1}{2}m_2 \left\{ \begin{array}{l} 2. \left[ \begin{array}{l} -L_2\dot{\theta}_1 \cos\theta_1 C_{\theta_2\delta_2} + L_2\dot{\theta}_2 \sin\theta_2 S_{\theta_2\delta_2} - \\ -a_2\dot{\theta}_1 \cos\theta_1 \cos\theta_2 + a_2\dot{\theta}_2 \sin\theta_2 \sin\theta_1 - a_1\dot{\theta}_1 \cos\theta_1 \end{array} \right] \times \dots \\ \left[ \begin{array}{l} -L_2\dot{\theta}_1 \sin\theta_1 C_{\theta_2\delta_2} - L_2\dot{\theta}_2 \cos\theta_2 S_{\theta_2\delta_2} - \\ -a_2\dot{\theta}_1 \sin\theta_1 \cos\theta_2 - a_2\dot{\theta}_2 \sin\theta_2 \cos\theta_1 - a_1\dot{\theta}_1 \sin\theta_1 + \dot{x} \end{array} \right] + \dots \\ 2. \left[ \begin{array}{l} -L_2\dot{\theta}_1 \sin\theta_1 C_{\theta_2\delta_2} - L_2\dot{\theta}_2 \cos\theta_2 S_{\theta_2\delta_2} + \\ +a_2\dot{\theta}_1 \sin\theta_1 \cos\theta_2 + a_2\dot{\theta}_2 \sin\theta_2 \cos\theta_1 - a_1\dot{\theta}_1 \sin\theta_1 \end{array} \right] \times \dots \\ \left[ \begin{array}{l} L_2\dot{\theta}_1 \cos\theta_1 C_{\theta_2\delta_2} - L_2\dot{\theta}_2 \sin\theta_2 S_{\theta_2\delta_2} - \\ -a_2\dot{\theta}_1 \cos\theta_1 \cos\theta_2 + a_2\dot{\theta}_2 \sin\theta_2 \sin\theta_1 - a_1\dot{\theta}_1 \cos\theta_1 \end{array} \right] \end{array} \right\}$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial \theta_2} = 0; \quad \frac{\partial T_2}{\partial \theta_3} = 0; \quad \frac{\partial T_2}{\partial \theta_4} = 0$$

$$\text{Khâu 3: } \frac{\partial T_3}{\partial x} = 0;$$

$$\frac{\partial T_3}{\partial \theta_1} = \frac{1}{2}m_3 \left\{ \begin{array}{l} 2. \left[ \begin{array}{l} -L_3\dot{\theta}_1 \cos\theta_1 C_{\theta_2\delta_2} + L_3\dot{\theta}_2 \sin\theta_2 S_{\theta_2\delta_2} - a_3\dot{\theta}_1 \cos\theta_1 \cos\theta_2 + \dots \\ a_3\dot{\theta}_2 \sin\theta_2 \sin\theta_1 - a_1\dot{\theta}_1 \cos\theta_1 \end{array} \right] \times \dots \\ \left[ \begin{array}{l} -L_3\dot{\theta}_1 \sin\theta_1 C_{\theta_2\delta_2} - L_3\dot{\theta}_2 \cos\theta_2 S_{\theta_2\delta_2} - a_3\dot{\theta}_1 \sin\theta_1 \cos\theta_2 - \dots \\ a_3\dot{\theta}_2 \sin\theta_2 \cos\theta_1 - a_1\dot{\theta}_1 \sin\theta_1 + \dot{x} \end{array} \right] + \dots \\ 2. \left[ \begin{array}{l} -L_3\dot{\theta}_1 \sin\theta_1 C_{\theta_2\delta_2} - L_3\dot{\theta}_2 \cos\theta_2 S_{\theta_2\delta_2} + a_3\dot{\theta}_1 \sin\theta_1 \cos\theta_2 + \dots \\ a_3\dot{\theta}_2 \sin\theta_2 \cos\theta_1 - a_1\dot{\theta}_1 \sin\theta_1 \end{array} \right] \times \dots \\ \left[ \begin{array}{l} L_3\dot{\theta}_1 \cos\theta_1 C_{\theta_2\delta_2} - L_3\dot{\theta}_2 \sin\theta_2 S_{\theta_2\delta_2} - a_3\dot{\theta}_1 \cos\theta_1 \cos\theta_2 + \dots \\ a_3\dot{\theta}_2 \sin\theta_2 \sin\theta_1 - a_1\dot{\theta}_1 \cos\theta_1 \end{array} \right] \end{array} \right\}$$

$$\frac{\partial T_3}{\partial \theta_2} = \frac{1}{2} m_3 \left\{ \begin{array}{l} 2. \left[ L_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 S_{\theta_2 \delta_2} - L_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_1 C_{\theta_2 \delta_2} + a_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \sin \theta_2 - a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \cos \theta_1 \right] \times \dots \\ \left[ -L_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{\theta_2 \delta_2} - L_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_1 S_{\theta_2 \delta_2} - a_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \cos \theta_2 - \dots \right] + \dots \\ \left[ a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1 - a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 + \dot{x} \right] \end{array} \right\} + \dots$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot \sin(2\theta_2) \cdot \dot{\theta}_1^2 \cdot (J_x - J_y)$$

$$\frac{\partial T_3}{\partial \theta_3} = 0; \quad \frac{\partial T_3}{\partial \theta_4} = 0$$

Trong đó:

$$C_{23\delta_3} = \cos(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3); S_{23\delta_3} = \sin(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3); C_{23} = \cos(\theta_2 + \theta_3);$$

$$S_{\theta_2 \delta_2} = \sin(\theta_2 + \theta_3); C_{23\delta_3}^2 = \cos^2(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3); S_{23\delta_3}^2 = \sin^2(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3);$$

$$C_{23}^2 = \cos^2(\theta_2 + \theta_3); S_{23}^2 = \sin^2(\theta_2 + \theta_3); \dot{2}\dot{3} = \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3; (\dot{2}\dot{3})^2 = (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2$$

**Khâu 4:**  $\frac{\partial T_4}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial T_4}{\partial \theta_4} = 0$

$$\frac{\partial T_4}{\partial \theta_1} = \frac{1}{2} m_4 \left\{ \begin{array}{l} 2. \left[ -L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23\delta_3} + L_4 \dot{2}\dot{3} \sin \theta_1 S_{23\delta_3} - a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23} + a_4 \dot{2}\dot{3} \sin \theta_1 C_{23} + \dots \right] \times \dots \\ \left[ a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 - a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \cos \theta_1 - a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \right] \end{array} \right\} + \dots$$

$$\left[ -L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23\delta_3} - L_4 \dot{2}\dot{3} \cos \theta_1 S_{23\delta_3} - a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23} - a_4 \dot{2}\dot{3} \cos \theta_1 S_{23} - \dots \right] + \dots$$

$$\left[ a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1 - a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \sin \theta_1 - a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 + \dot{x} \right]$$

$$2. \left[ L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23\delta_3} + L_4 \dot{2}\dot{3} \cos \theta_1 S_{23\delta_3} - a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23} - a_4 \dot{2}\dot{3} \cos \theta_1 S_{23} - \dots \right] \times \dots$$

$$\left[ a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1 - a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \sin \theta_1 - a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \right]$$

$$\left[ -L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23\delta_3} + L_4 \dot{2}\dot{3} \sin \theta_1 S_{23\delta_3} + a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23} - a_4 \dot{2}\dot{3} \sin \theta_1 S_{23} - \dots \right] + \dots$$

$$\left[ a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 + a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \cos \theta_1 + a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \right]$$

$$\frac{\partial T_4}{\partial \theta_2} = \frac{1}{2} m_4 \left\{ \begin{array}{l} 2. \left[ \begin{array}{l} L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 S_{23\delta_3} - L_4 \dot{2}\dot{3} \cos \theta_1 C_{23\delta_3} + a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 S_{23} - a_4 \dot{2}\dot{3} \cos \theta_1 C_{23} \\ - a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \cos \theta_1 + a_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_2 \sin \theta_1 \end{array} \right] \times \dots \\ \left[ \begin{array}{l} -L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23\delta_3} - L_4 \dot{2}\dot{3} \cos \theta_1 S_{23\delta_3} - a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23} - a_4 \dot{2}\dot{3} \cos \theta_1 S_{23} \\ - a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1 - a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \sin \theta_1 - a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 + \dot{x} \end{array} \right] + \dots \\ 2. \left[ \begin{array}{l} L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 S_{23\delta_3} + L_4 \dot{2}\dot{3} \sin \theta_1 C_{23\delta_3} - a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 S_{23} - a_4 \dot{2}\dot{3} \sin \theta_1 C_{23} \\ - a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \sin \theta_1 - a_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_2 \cos \theta_1 \end{array} \right] \times \dots \\ \left[ \begin{array}{l} -L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23\delta_3} + L_4 \dot{2}\dot{3} \sin \theta_1 S_{23\delta_3} + a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23} - a_4 \dot{2}\dot{3} \sin \theta_1 S_{23} \\ - a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 + a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \cos \theta_1 + a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \end{array} \right] + \dots \\ 2. \left[ L_4 \dot{2}\dot{3} S_{23\delta_3} - a_4 \dot{2}\dot{3} S_{23} - a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \right] \left[ -L_4 \dot{2}\dot{3} C_{23\delta_3} + a_4 \dot{2}\dot{3} S_{23} + a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \right] \end{array} \right\} + \dots$$

$$+ \frac{1}{2} \sin(2\theta_2 + 2\theta_3) \dot{\theta}_2^2 (J_x - J_y)$$

$$\frac{\partial T_4}{\partial \theta_3} = \frac{1}{2} m_4 \left\{ \begin{array}{l} 2. \left[ \begin{array}{l} L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 S_{23\delta_3} - L_4 \dot{2}\dot{3} \cos \theta_1 C_{23\delta_3} + a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 S_{23} - a_4 \dot{2}\dot{3} \cos \theta_1 C_{23} \\ -L_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23\delta_3} - L_4 \dot{2}\dot{3} \cos \theta_1 S_{23\delta_3} - a_4 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 C_{23} - a_4 \dot{2}\dot{3} \cos \theta_1 S_{23} - \dots \end{array} \right] \times \dots \\ \left[ \begin{array}{l} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1 - a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \sin \theta_1 - a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 + \dot{x} \end{array} \right] + \dots \\ 2. \left[ \begin{array}{l} L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 S_{23\delta_3} + L_4 \dot{2}\dot{3} \sin \theta_1 C_{23\delta_3} - a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 S_{23} - a_4 \dot{2}\dot{3} \sin \theta_1 C_{23} \\ -L_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23\delta_3} + L_4 \dot{2}\dot{3} \sin \theta_1 S_{23\delta_3} + a_4 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 C_{23} - a_4 \dot{2}\dot{3} \sin \theta_1 S_{23} - \dots \end{array} \right] \times \dots \\ \left[ \begin{array}{l} a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 + a_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \cos \theta_1 + a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \end{array} \right] + \dots \\ 2. \left[ L_4 \dot{2}\dot{3} S_{23\delta_3} - a_4 \dot{2}\dot{3} S_{23} \right] \left[ -L_4 \dot{2}\dot{3} C_{23\delta_3} + a_4 \dot{2}\dot{3} C_{23} + a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \right] \end{array} \right\} + \dots$$

$$+ \frac{1}{2} \sin(2\theta_2 + 2\theta_3) \dot{\theta}_2^2 (J_x - J_y)$$

Trong đó:

$$C_{23\delta_3} = \cos(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3); S_{23\delta_3} = \sin(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3); C_{23} = \cos(\theta_2 + \theta_3);$$

$$S_{\theta_2\delta_2} = \sin(\theta_2 + \theta_3); C_{23\delta_3}^2 = \cos^2(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3); S_{23\delta_3}^2 = \sin^2(\theta_2 + \theta_3 - \delta_3);$$

$$C_{23}^2 = \cos^2(\theta_2 + \theta_3); S_{23}^2 = \sin^2(\theta_2 + \theta_3); \dot{2}\dot{3} = \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3; (\dot{2}\dot{3})^2 = (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2$$

**Khâu 5:**  $\frac{\partial T_5}{\partial x} = 0;$

$$\frac{\partial T_5}{\partial \theta_1} = \frac{1}{2} m_4 \{ 2K_1^{5-1} K_2^{5-1} + 2K_3^{5-1} K_4^{5-1} \}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{K}_1^{5-1} &= \begin{bmatrix} -\dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \left( L_5 \cos \delta_4 C_{123} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{123} + \dots \right) - \dots \\ \sin \theta_1 \left( -L_5 \dot{2}3\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} + \dot{2}3\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{123} \right) - \dots \\ (L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \end{bmatrix} \\
\mathbf{K}_2^{5-1} &= \begin{bmatrix} -\dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \left( L_5 \cos \delta_4 C_{123} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{123} + \dots \right) + \dots \\ \cos \theta_1 \left( -L_5 \dot{2}3\dot{4} \cos \delta_4 S_{123} + \dot{2}3\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{123} + \dots \right) + \dots \\ (L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + \dot{x} \end{bmatrix} \\
\mathbf{K}_3^{5-1} &= \begin{bmatrix} -\dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \left( L_5 \cos \delta_4 C_{123} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{123} + \dots \right) + \dots \\ \cos \theta_1 \left( -L_5 \dot{2}3\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} + \dot{2}3\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{123} + \dots \right) + \dots \\ (L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \end{bmatrix} \\
\mathbf{K}_4^{5-1} &= \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \left( L_5 \cos \delta_4 C_{123} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{123} + \dots \right) + \dots \\ \sin \theta_1 \left( -L_5 \dot{2}3\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} + \dot{2}3\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} + \dots \right) + (L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \end{bmatrix} \\
\frac{\partial T_5}{\partial \theta_2} &= \frac{1}{2} m_4 \{ 2\mathbf{K}_1^{5-2} \mathbf{K}_2^{5-2} + 2\mathbf{K}_3^{5-2} \mathbf{K}_4^{5-2} + 2\mathbf{K}_5^{5-2} \mathbf{K}_6^{5-2} \} \\
&\quad + \frac{1}{2} \dot{\theta}_1^2 \sin(2\theta_2 + 2\theta_3 + 2\theta_4) (\mathbf{J}_x - \mathbf{J}_y) \\
\mathbf{K}_1^{5-2} &= \begin{bmatrix} -\dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \left( -L_5 \cos \delta_4 S_{234} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} - \dots \right) + \dots \\ \cos \theta_1 \left( -L_5 \dot{2}3\dot{4} \cos \delta_4 C_{234} - \dot{2}3\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} - \dots \right) \\ \dot{2}3\dot{4} a_5 C_{234} - C_{23} - a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

$$\mathbf{K}_2^{5-2} = \begin{bmatrix} -\dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \left( L_5 \cos \delta_4 C_{234} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} + \right) + \dots \\ \cos \theta_1 \left( -L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} + \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} \right) + \dots \\ (L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + \dot{x} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_3^{5-2} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \left( -L_5 \cos \delta_4 S_{234} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} - \right) + \dots \\ \sin \theta_1 \left( -L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 C_{234} - \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} \right) \\ -\dot{2}\dot{3}\dot{4} a_5 C_{234} - C_{23} - a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_4^{5-2} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \left( L_5 \cos \delta_4 C_{234} + L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} + \dots \right) + \dots \\ \sin \theta_1 \left( -L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} + \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_5 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} + \dots \right) + \dots \\ (L_5 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_5) \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_5^{5-2} = \begin{bmatrix} -L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} + L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} - \dots \\ a_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} S_{234} - a_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) S_{23} - a_3 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_6^{5-2} = \begin{bmatrix} L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 C_{234} + L_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} + \dots \\ a_5 \dot{2}\dot{3}\dot{4} C_{234} + a_4 \dot{2}\dot{3} C_{23} + a_3 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \end{bmatrix}$$

Trong đó:

$$C_{234} = \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4); S_{234} = \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4); C_{23} = \cos(\theta_2 + \theta_3); S_{23} = \sin(\theta_2 + \theta_3)$$

$$\dot{2}\dot{3}\dot{4} = \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4; \dot{2}\dot{3} = \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3$$

$$\frac{\partial T_5}{\partial \theta_3} = \frac{1}{2} m_4 \{ 2\mathbf{K}_1^{5-3} \mathbf{K}_2^{5-3} + 2\mathbf{K}_3^{5-3} \mathbf{K}_4^{5-3} + 2\mathbf{K}_5^{5-3} \mathbf{K}_6^{5-3} \}$$

$$+ \frac{1}{2} \dot{\theta}_1^2 \sin(2\theta_2 + 2\theta_3 + 2\theta_4) (J_x - J_y)$$

$$\mathbf{K}_1^{5-3} = \begin{bmatrix} -\dot{\theta}_1 \sin \theta_1 (-L_4 \cos \delta_4 S_{234} + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} - a_4 S_{234} - a_3 S_{23}) \\ + \cos \theta_1 (-L_4 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 C_{234} - \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} - \dot{2}\dot{3}\dot{4} a_4 C_{234} - C_{23}) \end{bmatrix}$$



$$\mathbf{K}_2^{5-3} = \begin{bmatrix} -\dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \left( L_4 \cos \delta_4 C_{234} + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} + \dots \right) + \dots \\ \cos \theta_1 \left( -L_4 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} + \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} + \dots \right) + \dots \\ (L_4 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_4) \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + \dot{x} \end{bmatrix}$$

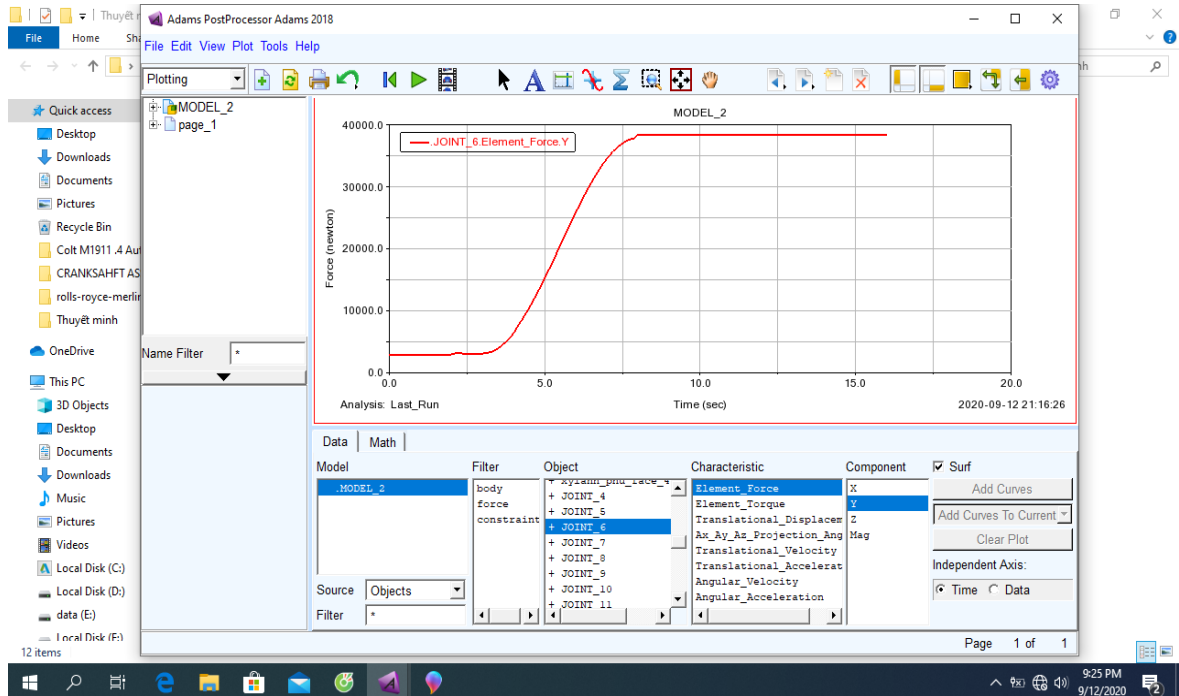
$$\mathbf{K}_3^{5-3} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 (-L_4 \cos \delta_4 S_{234} + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} - a_4 S_{234} - a_3 S_{23}) + \dots \\ \sin \theta_1 (-L_4 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 C_{234} - \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} - \dot{2}\dot{3}\dot{4} a_4 C_{234} - C_{23}) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_4^{5-3} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \left( L_4 \cos \delta_4 C_{234} + L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} + \dots \right) + \dots \\ \sin \theta_1 \left( -L_4 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} + \dot{2}\dot{3}\dot{4} L_4 \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} + \dots \right) + \dots \\ (L_4 \sin \delta_4 \sin \alpha_4 + d_4) \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \end{bmatrix}$$

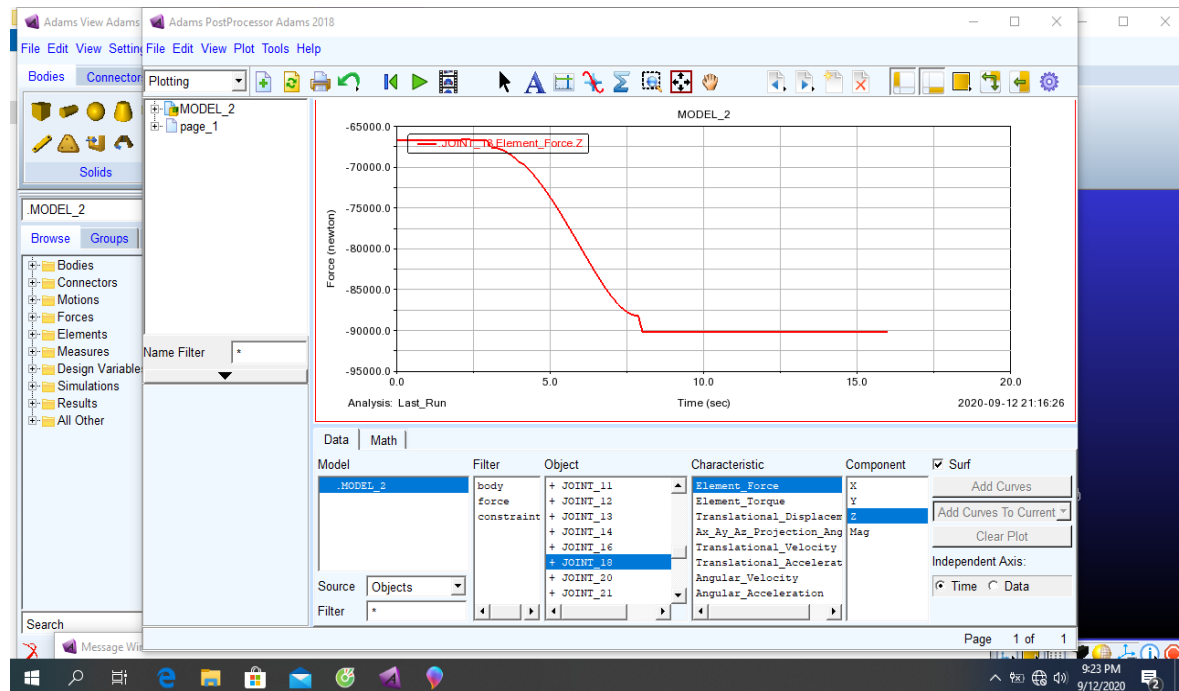
$$\mathbf{K}_5^{5-3} = \left[ -L_4 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 S_{234} + L_4 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \sin \delta_4 \cos \alpha_4 C_{234} - a_4 \dot{2}\dot{3}\dot{4} S_{234} - a_3 \dot{2}\dot{3} S_{23} \right]$$

$$\mathbf{K}_6^{5-3} = \left[ L_4 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \cos \delta_4 C_{234} + L_4 \dot{2}\dot{3}\dot{4} \sin \delta_4 \cos \alpha_4 S_{234} + a_4 \dot{2}\dot{3}\dot{4} C_{234} + a_3 \dot{2}\dot{3} C_{23} \right]$$

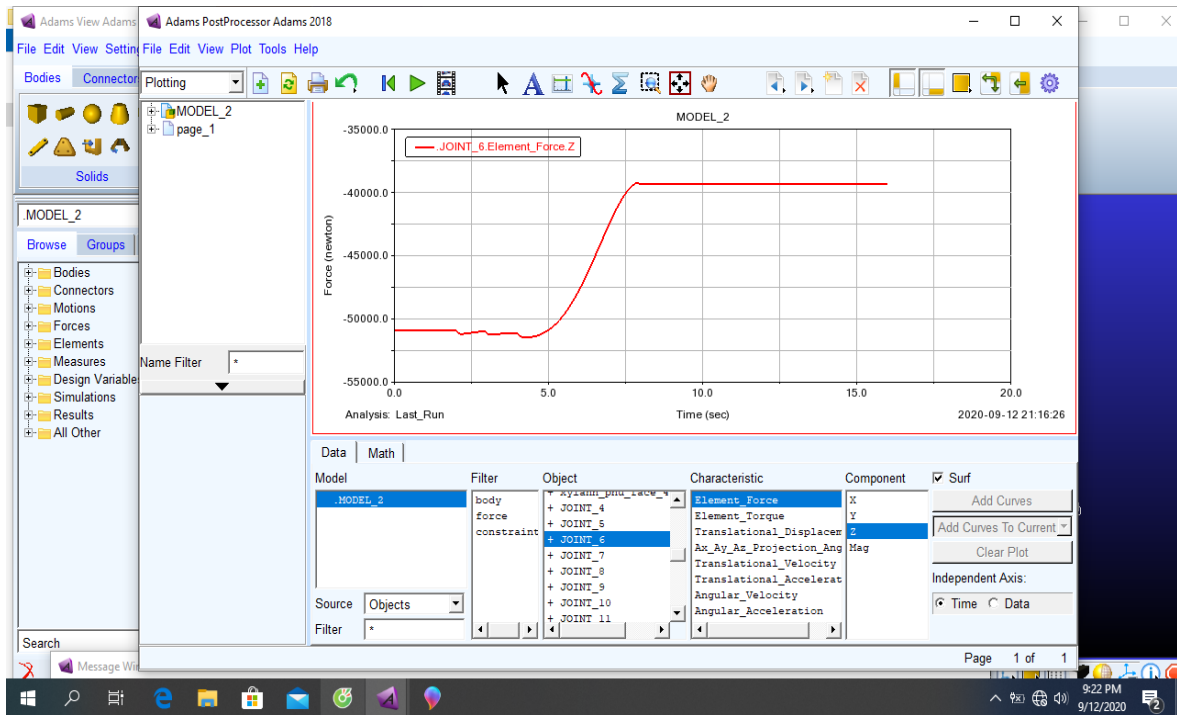
### Phụ lục 4.1 Giá trị lực tại khớp O<sub>2</sub> theo chương trình tính toán lực ADAM



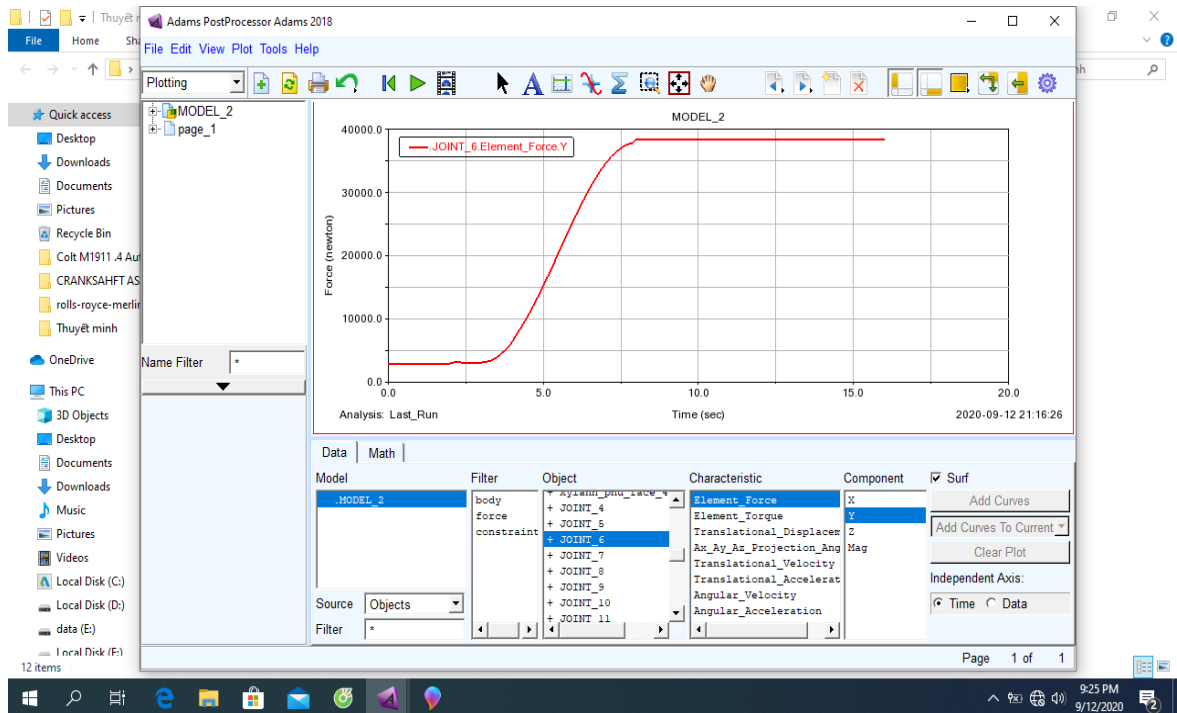
### Lực tại khớp quay nâng cần theo phương ngang OX



### Lực tại khớp quay nâng cần theo phương đứng OY



Lực tại khớp quay gần theo phương ngang OX



Lực tại khớp quay gần theo phương đứng OY

Phụ lục 4.2 Chương trình tính nhn trên phần mềm Matlap  
**I. Chương trình tính động học**

```

format long
clc;
clear all;
%% Nhập các thông số đầu vào
% đơn vị đo dài là m, góc là radian
l7=389/1000;
v=0.1;% m/s
delta1=0.41;
tmax=delta1/v;
dt=20;
t=0:tmax/dt:tmax;
X001=0.1255;
Y001=0.78;
O10=sqrt(X001^2+Y001^2);
O1B=l7;
O1A=O1B;
l0=0.78;
l01=l0+0.2;
alpha1=pi/3;
BC=1.05;0.9645;
O1C=1.28;
AB=0.389;
AC=1.338;
CD=0.77/1.5;
CE=0.97;
h0=0.25;
for i=1:length(t)
    OB(i)=l0+v*t(i);
    x00(i)=0*t(i);
    %% tọa độ điểm B
    a(i)=acos((O10^2+OB(i)^2-O1B^2)/(2*O10*OB(i)));
    a1(i)=acos(Y001/O10);
    phi1(i)=(a(i)+a1(i));
    xB(i)=x00(i)+OB(i)*sin(phi1(i));
    yB(i)=h0+OB(i)*cos(phi1(i));
    rB(i)=sqrt(xB(i)^2+yB(i)^2);
    %% tọa độ điểm A
    if (yB(i))<=(Y001+h0)
        c(i)=abs(atan(((yB(i)-h0-Y001))/((xB(i)-X001-x00(i))))));
    beta(i)=(c(i)+alpha1/2);
    else

```

```

    c(i)=abs(atan(((xB(i)-Xoo1-x00(i)))/((yB(i)-h0-
Yoo1)))));
    beta(i)=(c(i)-alpha1);
    end

    xA(i)=x00(i)+Xoo1+O1A*sin(beta(i));
    yA(i)=h0+Yoo1+O1A*cos(beta(i));
    rA(i)=sqrt(xA(i)^2+yA(i)^2);
    %% toa do diem C
    alpha7=atan((O1B^2+O1C^2-BC^2)/(2*O1B*O1C));
    if (yB(i))<=(Yoo1+h0)
    c(i)=abs(atan(((yB(i)-h0-Yoo1)/((xB(i)-Xoo1-
x00(i))))));
    beta(i)=(c(i)+alpha1/2);
    gamma1(i)=pi/2-c(i)-alpha7;
    else
    c(i)=abs(atan(((xB(i)-Xoo1-x00(i)))/((yB(i)-h0-
Yoo1)))));
    beta(i)=(c(i)-alpha1);
    gamma1(i)=pi-c(i)-alpha7;
    end
    xC(i)=x00(i)+Xoo1+O1C*sin(gamma1(i));
    yC(i)=Yoo1-O1C*cos(gamma1(i))+h0/1.5;
    rC(i)=sqrt(xC(i)^2+yC(i)^2);
    %% toa do diem D
    beta2(i)=acos((BC^2+O1C^2-O1B^2)/(2*BC*O1C));
    beta3(i)=acos((BC^2+AC^2-AB^2)/(2*BC*AC));
    beta1(i)=pi/2-gamma1(i);
    AD(i)=l01+v*t(i);
    beta4(i)=acos((AC^2+CD^2-AD(i)^2)/(2*AC*CD));
    beta5(i)=pi-beta1(i)-beta2(i)-beta3(i)-beta4(i);
    xD(i)=xC(i)+CD*cos(beta5(i));
    yD(i)=yC(i)+CD*sin(beta5(i));
    rD(i)=sqrt(xD(i)^2+yD(i)^2);
    %% toa do diem E
    xE(i)=xC(i)+CE*cos(beta5(i)-50*pi/180);
    yE(i)=yC(i)+CE*sin(beta5(i)-50*pi/180);
    %%
    CF1=0.970;
    xE1(i)=xC(i)+CF1*cos(beta5(i)-9*pi/180);
    yE1(i)=yC(i)+CF1*sin(beta5(i)-9*pi/180);
    %% graphic 2D
    figure(1)
    hold on
    plot([x00(i),xB(i)], [h0,yB(i)]);

```

```

    plot([Xoo1+x00(i),xA(i)], [Yoo1+h0,yA(i)]);
    plot([xB(i),xC(i)], [yB(i),yC(i)]);
    plot([xE1(i),xC(i)], [yE1(i),yC(i)]);
    plot([xE(i),xC(i)], [yE(i),yC(i)]);
    plot([xA(i),xE1(i)], [yA(i),yE1(i)]);
end
%% do thi tuong ung
%
% %%
% figure(3)
% plot(yB,phil*180/pi,'-*','LineWidth',1.5)
% hold on
% grid on
% set(gca,...
%     'Units','normalized',...
%     'Position',[0.15 0.2 .7 .75],...
%     'FontUnits','points',...
%     'FontWeight','bold',...
%     'FontSize',14, ...
%     'FontName','Times')
%
%     xlabel('Thoi gian({^o})','FontSize',14,
'FontName','times');
% ylabel('Goc quay cua gau ({^o})','FontSize',14,
'FontName','times');

```

## II. Tương tác gầu xúc và nền

```

clear all
clc
%% nhap so lieu vao
KK=[1 2 3 4];
gamma=[ 2 2 1.3 1.6]*0.1; % khoi luong rieng vat lieu
for dem=1:length(KK);
    if dem==1
        phil=30*pi/180; % cat
        kc1=[6.5 10 14.8 18.3 21.2 25.3 29.6 34.5
40.4]*1e3; % cat kho
        kM3=1; % soi hat nho
    elseif dem==2
        phil=30*pi/180; % soi
        kM3=1.05; % soi hat nho
        kc1=[7.5 12 15.5 19.5 23.1 27.3 31.8 37.3
43.7]*1e3 ;% soi hat nho
    elseif dem==3
        phil=38*pi/180; % than da
    end
end

```

```

        kM3=1.05; % soi hat nho
        kc1=[4 6 8.8 11.2 13.4 16 18.3 20.5 24.7]*1e3 ;
% than da
        else
            kM3=1.12; % soi hat nho
            phi1=44*pi/180; % da dam
            kc1=[8.1 13 17.5 21.5 26.5 30.4 36.7 42.5
50.2]*1e3; % da dam hat nho
            end

c=500; %N/m(Pa)
g=9.81; % gia toc roi tu do

% cac ham noi suy
kM1=1.1; % da dam hat nho

kM2= 1.05; % soi hat nhp
kM4=1; % cat kho
LB=[0.2:0.2:1.9];
% phi4=pi/6; % cat
% phi2=38*pi/180; % than da
% phi3=phi4;
% phi1=44*pi/180; % da dam
B=1.2; % chieu rong gau
alpha=pi/4;
% ham cua kc
% kc1=[8.1 13 17.5 21.5 26.5 30.4 36.7 42.5 50.2]*1e3; %
da dam hat nho
% kc2=[4 6 8.8 11.2 13.4 16 18.3 20.5 24.7]*1e3 ; %
than da
% kc3=[7.5 12 15.5 19.5 23.1 27.3 31.8 37.3 43.7]*1e3 ;%
soi hat nho
% kc4=[6.5 10 14.8 18.3 21.2 25.3 29.6 34.5 40.4]*1e3; %
cat kho
Lb1=0.2:0.3/10:1.2;
kc=interp1(LB,kc1,Lb1);
n=length(kc);
for i=1:n
%% cong thuc tinh
phi=phi1;
kM=kM3;
RB(dem,i)=kc(i)^2*B*kM;
BC(i)=Lb1(i)*sin(alpha)/sin(pi/4-alpha+phi/2);
k1=sin(alpha)/sin(pi/4-alpha+phi/2);
F1(i)=(B+k1*Lb1(i)*tan(pi/4-phi/2))*BC(i);

```

```

k=1/(cos(pi/4-phi/2)-sin(pi/4-phi/2)*tan(phi));
P1(dem,i)=c*F1(i)*k;
F2(i)=Lb1(i)*BC(i)*sin(pi/4+phi/2)/2;
P2(dem,i)=2*k*c*F2(i);
Vm(dem,i)=F2(i)*cos(pi/4-phi/2)*(B+2/3*BC(i)*sin(pi/4-phi/2));
Gm(dem,i)=F2(i)*cos(pi/4-phi/2)*(B+2/3*BC(i)*sin(pi/4-phi/2))*gamma(dem)*g;
end
end
%% cac ham ve
% Luc can RB phu thuoc chieu sau an LB
figure(1)
hold on
grid on
% plot(Lb1,RB(1,:)/20e3,'-+k','LineWidth',2);
% plot(Lb1,RB(2,:)/20e3,'--r','LineWidth',2.5)
plot(Lb1,RB(3,:)/(1e3*18421),'-*k','LineWidth',2)
plot(Lb1,RB(4,:)/(1e3*18421*1.8421),'--r','LineWidth',2.5)
xlim([0.2 1.1]);
set(gca,...
    'Units','normalized',...
    'Position',[0.15 0.2 .7 .75],...
    'FontUnits','points',...
    'FontWeight','bold',...
    'FontSize',14, ...
    'FontName','Times')
xlabel('L_{AG} (m)', 'FontSize',14, 'FontName','times');
ylabel('F_{ctx} (kN)', 'FontSize',14, 'FontName','times');
% title('Luc can qua trinh an gau xuc vao dong vat lieu', 'FontSize',12, 'FontName','times');
legend('Than da','DNM','FontSize',16, 'FontName','times')
box

% Cac luc can P1,P2 theo LB
figure(2)
hold on
grid on
% plot(Lb1,P1(1,:)/1.0e3,'-+k','LineWidth',2)
% plot(Lb1,P1(2,:)/1.0e3,'--r','LineWidth',2.5)
plot(Lb1,P1(3,:)/1.0e3,'-*k','LineWidth',2)
plot(Lb1,P1(4,:)/1.0e3,'-r','LineWidth',2.5)

```



```

xlim([0.2 1.1]);
% plot(Lb1,P2/1e3,'--','LineWidth',2)
set(gca,...
    'Units','normalized',...
    'Position',[0.15 0.2 .7 .75],...
    'FontUnits','points',...
    'FontWeight','bold',...
    'FontSize',14, ...
    'FontName','Times')
xlabel('L_{AG}(m)','FontSize',14, 'FontName','times');
ylabel('F_{cty}(kN)','FontSize',14, 'FontName','times');
% title('Luc can P_1, P_2 theo chieu sau an
','FontSize',14, 'FontName','times');
legend('Than da','DNM','FontSize',16,
'FontName','times')
box

    figure(3)
hold on
grid on
% plot(Lb1,P2(1,:)/1.0e3,'-+k','LineWidth',2)
% plot(Lb1,P2(2,:)/1.0e3,'--r','LineWidth',2)
plot(Lb1,P2(3,:)/1.0e3,'-*k','LineWidth',2)
plot(Lb1,P2(4,:)/1.0e3,'-r','LineWidth',2)
xlim([0.2 1.1]);
% plot(Lb1,P2/1e3,'--','LineWidth',2)
set(gca,...
    'Units','normalized',...
    'Position',[0.15 0.2 .7 .75],...
    'FontUnits','points',...
    'FontWeight','bold',...
    'FontSize',14, ...
    'FontName','Times')
xlabel('L_{AG}(m)','FontSize',14, 'FontName','times');
ylabel('F_{cb}(kN)','FontSize',14, 'FontName','times');
% title('Luc can P_1, P_2 theo chieu sau an
','FontSize',14, 'FontName','times');
legend('Than da','DNM','FontSize',16,
'FontName','times')
box

% Do thi VM vao chieu sau an LB
figure(4)
hold on
grid on

```

```

% plot(Lb1,Vm(1,:), '-+k', 'LineWidth',2)
% plot(Lb1,Vm(2,:), '--r', 'LineWidth',2.5)
plot(Lb1,Vm(3,:), '-*k', 'LineWidth',2)
plot(Lb1,Vm(4,:), '-r', 'LineWidth',2)

xlim([0.2 1.1]);
set(gca,...
    'Units','normalized',...
    'Position',[0.15 0.2 .7 .75],...
    'FontUnits','points',...
    'FontWeight','bold',...
    'FontSize',12, ...
    'FontName','Times')
xlabel('L_{AG}(m)', 'FontSize',12, 'FontName','times');
ylabel('V_M (m^3)', 'FontSize',12, 'FontName','times');
% title('The tich vat lieu dich chuyen V_M
','FontSize',12, 'FontName','times');
legend('Than da', 'DNM', 'FontSize',16,
'FontName','times')
box

% Do thi khoi luong dich chuyen Gm theo LB
figure(5)
hold on
grid on
% plot(Lb1,Gm(1,:)*10, '-+k', 'LineWidth',2)
% plot(Lb1,Gm(2,:)*10, '--r', 'LineWidth',2.5)
plot(Lb1,Gm(3,:)*10, '-*k', 'LineWidth',2)
plot(Lb1,Gm(4,:)*10, '-r', 'LineWidth',2.5)
xlim([0.2 1.1]);
set(gca,...
    'Units','normalized',...
    'Position',[0.15 0.2 .7 .75],...
    'FontUnits','points',...
    'FontWeight','bold',...
    'FontSize',14, ...
    'FontName','Times')
xlabel('L_B(m)', 'FontSize',14, 'FontName','times');
ylabel('G_M (kN)', 'FontSize',14, 'FontName','times');
% title('Khoi luong vat lieu dich chuyen
G_M', 'FontSize',14, 'FontName','times');
legend('Than da', 'DNM', 'FontSize',16,
'FontName','times')

```

### III. Động học ngược

```

clc, clear all,
close all

% lua chon kk=1/2/3/4, de ve lan luot cac do thi dich
chuyen/vantoc/giatoc/sai so
kk=2;
% lua chon kk=1/2/3/4, de ve lan luot cac do thi dich
chuyen/vantoc/giatoc/sai so

%width=8; high=7.5; %figure 1
width=15; high=7;
xSize = width; ySize = high; %Real size of figure
xLeft = (21-xSize)/2; yTop = (30-ySize)/2;
set(gcf, 'PaperUnits', 'centimeters')
set(gcf, 'PaperPosition', [xLeft yTop xSize ySize])
set(gcf, 'Position', [100 100 xSize*50 ySize*50])

for j=1
N=1000; T=10; a1=4.015; a2=1.28; a3=0.54; 1.450; t=0;
q1=0; q2=2*pi-pi/6; q3=2*pi-pi/6;
a=[0.0318*tan(67*pi/180) 0.175];
for i=1:N
    q=[q1 q2 q3]';
%    s1=sin(q1); s12=sin(q1+q2); s123=sin(q1+q2+q3);
%    c1=cos(q1); c12=cos(q1+q2); c123=cos(q1+q2+q3);
    s2=sin(q2); s23=sin(q2+q3);
    c2=cos(q2); c23=cos(q2+q3);
if j<2
xc=a(j, :)';
else
%
%                                x1(i)=7.3965-
1.5+1.5*cos(t*30/3.14); y1(i)=0.9092+1.5*sin(t*30/3.14);
xdc= 0.35*pi/T*sin(pi/T*t); ydc=0.35*pi/T*cos(pi/T*t);
xc=[xdc ydc]';
end
%    J=[(-a1*s1-a2*s12-a3*s123) (-a2*s12-a3*s123) (-
a3*s123);
%                                (a1*c1+a2*c12+a3*c123) (a2*c12+a3*c123)
(a3*c123)];
J=[1 -(-a2*s2-a3*s23) -(-a3*s23);
0 ( a2*c2+a3*c23) -(a3*c23)];
Jcong=J'*(J*J')^-1;
qc=Jcong*xc;

```

```

    Jcham=[ (1)*qc(1,1)      (-a2*c2-a3*c23)*qc(2,1)      -(-
a3*c23)*qc(3,1)  ;
           (0)*qc(1,1)      (a2*s2+a3*s23)*qc(2,1)
(a3*s23)*qc(3,1) ] ;
    Jcongcham=(Jcham'-Jcong*(Jcham*J'+J*Jcham'))*(J*J')^-
1;
    q=q+Jcong*xc*(T/N);
    qcc=Jcongcham*xc;
    t=t+T/N;
    q1=q(1,1); q2=q(2,1); q3=q(3,1);
    dcq1(i)=q(1,1);dcq2(i)=q(2,1);dcq3(i)=q(3,1);
    vtq1(i)=qc(1,1);vtq2(i)=qc(2,1);vtq3(i)=qc(3,1);
    gtq1(i)=qcc(1,1);gtq2(i)=qcc(2,1);gtq3(i)=qcc(3,1);
    tt(i)=t;
    xd(i)=q1+a2*c2+a3*c23;
    yd(i)=0.2 +a2*s2+a3*s23;
xx=0;
yy=0;
% if j<4
% x1(i)=5.689505462104990+a(j,1)*t;
% y1(i)=1.294108461891543+a(j,2)*t;
% else
% x1(i)=5.689505462104990-0.35+0.35*cos(t*pi/T);
% y1(i)=1.294108461891543+0.35*sin(t*pi/T);
% end
if j<2
x1(i)=xx+a(j,1)*t^2;
y1(i)=yy+a(j,2)*t^2;
else
hs=5.2;
hs1=1;
x1(i)=xx+hs1*sin(48.3*pi*t/T/180);
y1(i)=hs-hs*cos(48.3*pi*t/T/180);
end
end

color=[1 0 0; 0 0 0; 0 0 1; 1 0 0];
line={'->' '-<' '--' '-'};width=[1.5 1 2 2];
=====CHUYEN
DICH=====
if kk==1

subplot(1,3,1);plot(tt,dcq1/1,line{j},'MarkerIndices',1:
50:length(dcq1),'color',color(j,:), 'LineWidth',width(j))
;

```

```

xlabel('t (s)', 'fontsize', 14);
    grid on
ylabel('$x
(m)$', 'Interpreter', 'Latex', 'fontsize', 14); hold on;
xlim([0 T]);
subplot(1, 3, 2); plot(tt, (2*pi-
dcq2), line{j}, 'MarkerIndices', 1:50:length(dcq1), 'color',
color(j, :), 'LineWidth', width(j));
xlabel('t (s)', 'fontsize', 16); ylabel('\theta_2
(rad)'); hold on;
xlim([0 T]);
    grid on
subplot(1, 3, 3);

plot(tt, (2*pi-
dcq3), line{j}, 'color', color(j, :), 'MarkerIndices', 1:50:le
ngth(dcq3), 'LineWidth', width(j));
xlabel('t (s)', 'fontsize', 16); ylabel('\theta_3
(rad)'); hold on;
xlim([0 T]);
    grid on
elseif kk==2
subplot(1, 3, 1); plot(tt, vtq1, line{j}, 'color', color(j, :), '
MarkerIndices', 1:50:length(dcq1), 'LineWidth', width(j));
xlabel('t (s)', 'fontsize', 16);
ylabel('$\dot{x} \sim (m/s)$', 'Interpreter', 'Latex', 'fontsize
', 14);
xlim([0 T]);
subplot(1, 3, 2); plot(tt, vtq2, line{j}, 'color', color(j, :), '
MarkerIndices', 1:50:length(dcq1), 'LineWidth', width(j));
xlabel('t (s)', 'fontsize', 16);
ylabel('$\dot{\theta}_2 \sim (rad/s)$', 'Interpreter', 'Latex',
'fontsize', 16);
hold on; xlim([0 T]);
    grid on
subplot(1, 3, 3);
plot(tt, vtq3, line{j}, 'color', color(j, :), 'MarkerIndices',
1:50:length(dcq1), 'LineWidth', width(j));
xlabel('t (s)', 'fontsize', 16);
ylabel('$\dot{\theta}_3 \sim (rad/s)$', 'Interpreter', 'Latex',
'fontsize', 16);
hold on;
    grid on
xlim([0 T]);
elseif kk==3

```

```

subplot(1,3,1);plot(tt,gtq1,line{j},'color',color(j,:), '
MarkerIndices',1:50:length(dcq1), 'LineWidth',width(j));
xlabel('t (s)', 'fontsize',16);
ylabel('$\ddot{x}~(m/s^2)$', 'InterPreter', 'Latex', 'fontsize',14);
hold on;
grid on
xlim([0 T]);
subplot(1,3,2);plot(tt,gtq2,line{j},'color',color(j,:), '
MarkerIndices',1:50:length(dcq1), 'LineWidth',width(j));
xlabel('t (s)', 'fontsize',16);
ylabel('$\ddot{\theta}_2~(rad/s^2)$', 'InterPreter', 'Late
x', 'fontsize',16);
hold on;
grid on
xlim([0 T]);
subplot(1,3,3);
plot(tt,gtq3,line{j},'color',color(j,:), 'MarkerIndices',
1:50:length(dcq1), 'LineWidth',width(j));
xlabel('t (s)', 'fontsize',16);
ylabel('$\ddot{\theta}_3~(rad/s^2)$', 'InterPreter', 'Late
x', 'fontsize',16);
hold on;
grid on
xlim([0 T]);
elseif kk==4
subplot(1,2,1);semilogy(tt,abs((x1-
xd)./xd/1e3,line{j},'color',color(j,:), 'MarkerIndices',
1:50:length(dcq1), 'LineWidth',width(j));
xlabel('t(s)', 'Interpreter', 'latex', 'fontsize',16);
ylabel('$\frac{|x^c_{E}-x_{E}|}{|x_{E}|}$', ...
'Interpreter', 'latex', 'fontsize',16);
hold on; xlim([0 T]);
grid on

```