

Практичне заняття 2.

2. Основи математичного моделювання складових ГВК. Ч.2.

Мета: стисле ознайомлення практичного використання теорії кватерніонів при математичному моделюванні складових гнучких виробничих комірок (ГВК).

2.1. Загальна інформація щодо об'єкту моделювання

Нижче проілюстровано складання математичних моделей ланок МС ПР мод. KUKA KR-30 (див. рис. 2.1), який вибрано в якості об'єкту моделювання. Вказаний ПР є сучасним ПР, що випускається в різних модифікація та з різними технічними характеристиками впродовж багатьох років німецькою фірмою KUKA. МС ПР працює в сферичній системі координат і має 9 ланок (див. рис. 2.2, де номери ланок зображені к кружечках). 10-та ланка – схват ПР на рис. 2.2 зображена пунктиром.

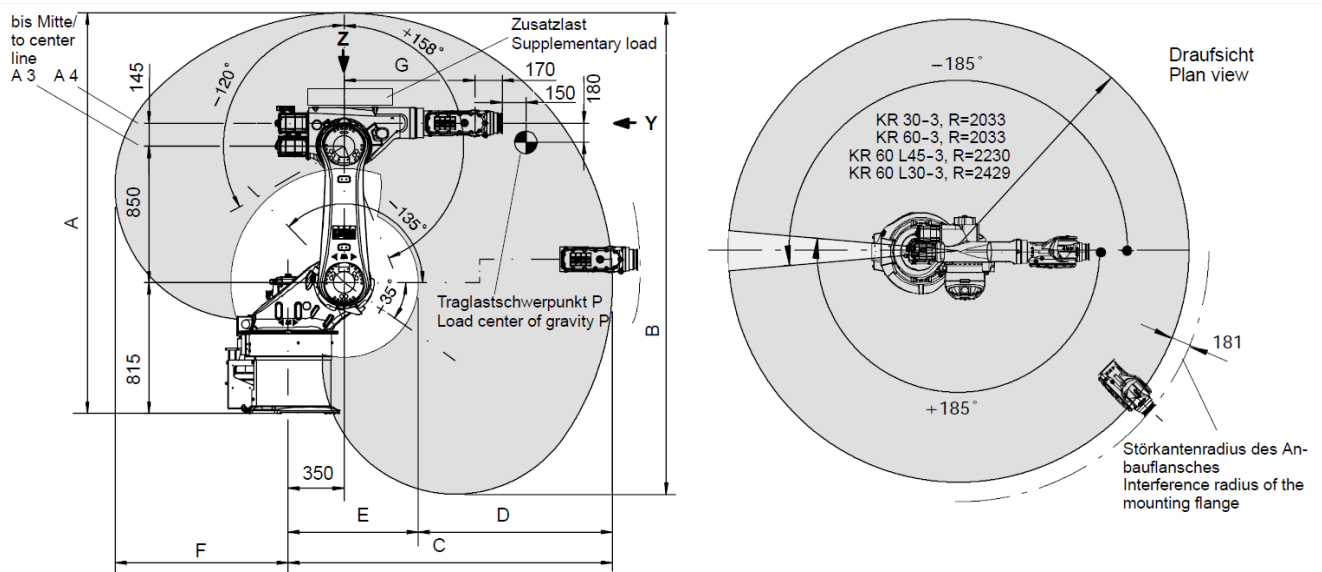


Рис. 2.1. Схема МС ПР мод. KUKA KR-30 за паспортними даними

Як видно із рис. 2.2, взаємна рухомість ланок позначена символами J_1, \dots, J_6 , тобто МС даного ПР має 6 ступенів рухомості. Біля кожного із позначень ступенів рухомості вказані величини переміщень, наприклад, $J_4=700^\circ$ (q_7). Це означає, що ланка 5 обертається навколо ланки 4 з деякого початкового положення на 700° . При цьому в дужках символом q позначена так звана узагальнена координата (УК) з відповідним нижнім цифровим індексом-порядковим номером УК.

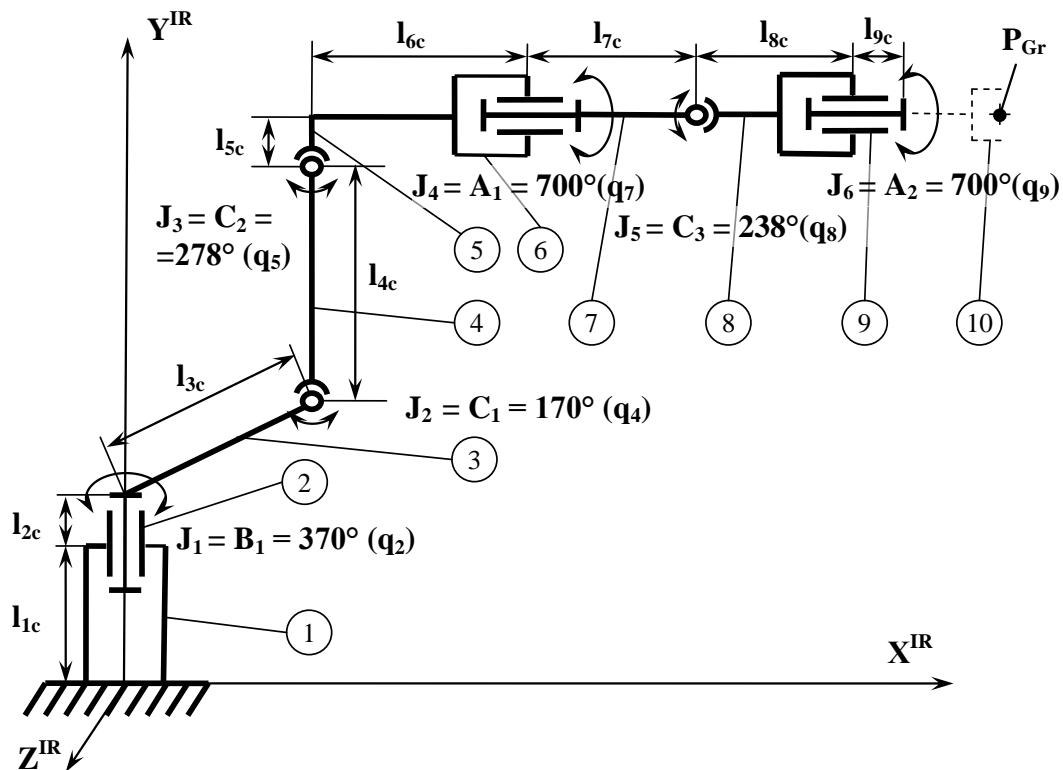


Рис. 2.2. Кінематична структура МС ПР мод. KUKA KR-30

Відповідні УК формують множину так званих варійованих відносних положень ланок. Постійні розміри ланок на рис. 2.2 позначені нижнім правим індексом *c*, наприклад, l_{3c} . Математичне моделювання проводиться з використанням ПП Robix. Інформація про цей оригінальний продукт представлена в лекційному курсі.

2.2. Приклад математичного моделювання МС ПР мод. KUKA KR-30

2.2.1. Опис ланки 1 МС ПР мод. KUKA KR-30

(KUKA KR-30) = {

L1:(D:0,1,0;S:350;M:250;GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 350;]);

}

Тут:

(KUKA KR-30) – назва МС ПР

L1 – ланка 1 в МС ПР

D: 0, 1, 0 – вектор напрямку ланки L1 в СК МС ПР
 розташування L1 вздовж осі Z^{IR}
 розташування L1 вздовж осі Y^{IR}
 розташування L1 вздовж осі X^{IR}

S:350 – геометричний розмір ниткового представлення ланки L1

_____ довжина ланки L1, мм

M:250 – маса ланки L1, кг

GP: – ідентифікатор групи геометричних примітивів, за допомогою яких описується форма ланки МС ПР

CR: 0, 0, 0, 300, 350 – геометричний примітив типу “циліндр”

_____ L – довжина циліндра, мм
_____ R – радіус циліндра, мм
_____ розташування вздовж осі Z в СК ланки L1, мм
_____ розташування вздовж осі Y в СК ланки L1, мм
_____ розташування вздовж осі X в СК ланки L1, мм
_____ ідентифікатор примітива CR (Cylinder) – “циліндр”

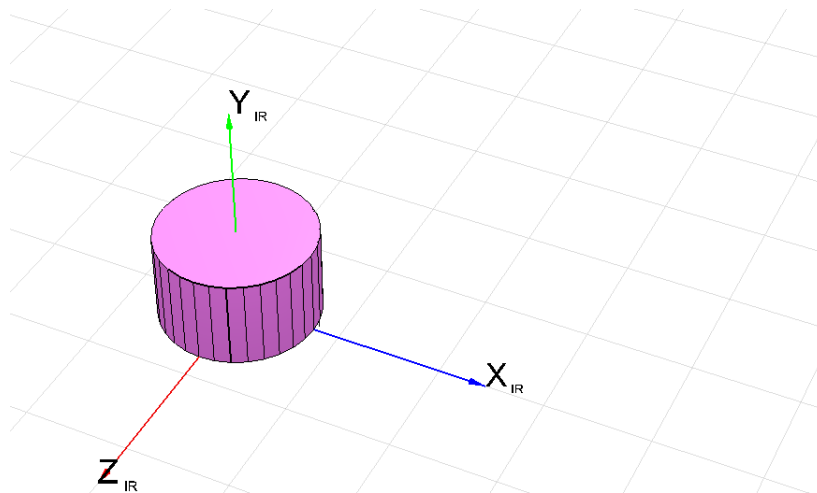


Рис. 2.3. 3D-твердотільна модель ланки L1 МС ПР мод. KUKA KR-30

2.2.2. Опис ланки 2 МС ПР мод. KUKA KR-30

(KUKA KR-30) = {

L1:(D:0,1,0;S:350;M:250;GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 350;]);

L2:(D:0,1,0;S:150;M:137;V:140;Q_{min}: -0.044,0,-0.999,0;

Q_{max}:-0.044,0,0.999,0; GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 150;]);

}

Тут:

L2 – ланка 2 в МС ПР

D: 0, 1, 0 – вектор напрямку ланки L2 в СК ланки L1

- └─ розташування вздовж осі Z_{L1}
- └─ розташування вздовж осі Y_{L1}
- └─ розташування вздовж осі X_{L1}

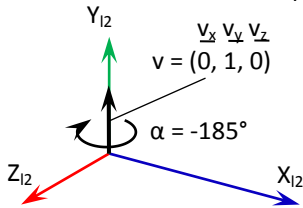
S:150 – геометричний розмір ниткового представлення ланки L2

- └─ довжина ланки L2, мм

M:137 – маса ланки L2, кг

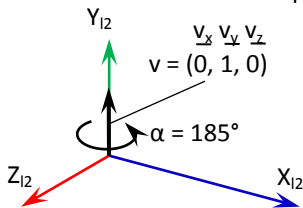
V:140 – максимальна швидкість переміщення ланки L2, °/с

Q_{min}: -0.044, 0, -0.999, 0 – мінімальний кватерніон обмеження величини переміщення (обертання) ланки L2 в її СК



$$\begin{aligned}
 Q_{\min} = (s, v) &= (s, v_x, v_y, v_z) = \\
 &= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right) \\
 &= \\
 &= \left(\cos \frac{-185^\circ}{2}, \right. \\
 &\quad \left. \sin \frac{-185^\circ}{2}, \sin \frac{-185^\circ}{2}, \sin \frac{-185^\circ}{2} \right)
 \end{aligned}$$

Q_{max}: -0.044, 0, 0.999, 0 – максимальний кватерніон обмеження величини переміщення (обертання) ланки L2 в її СК



$$\begin{aligned}
 Q_{\max} = (s, v) &= (s, v_x, v_y, v_z) = \\
 &= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right) \\
 &= \\
 &= \left(\cos \frac{185^\circ}{2}, \right. \\
 &\quad \left. \sin \frac{185^\circ}{2}, \sin \frac{185^\circ}{2}, \sin \frac{185^\circ}{2} \right)
 \end{aligned}$$

GP: – ідентифікатор групи геометричних примітивів, за допомогою яких описується форма ланки МС ПР

CR: 0, 0, 0, 300, 150 – геометричний примітив типу “циліндр”

- └─ L – довжина циліндра, мм
- └─ R – радіус циліндра, мм
- └─ розташування вздовж осі Z в СК ланки L2, мм
- └─ розташування вздовж осі Y в СК ланки L2, мм
- └─ розташування вздовж осі X в СК ланки L2, мм
- └─ ідентифікатор примітива CR (Cylinder) – “циліндр”

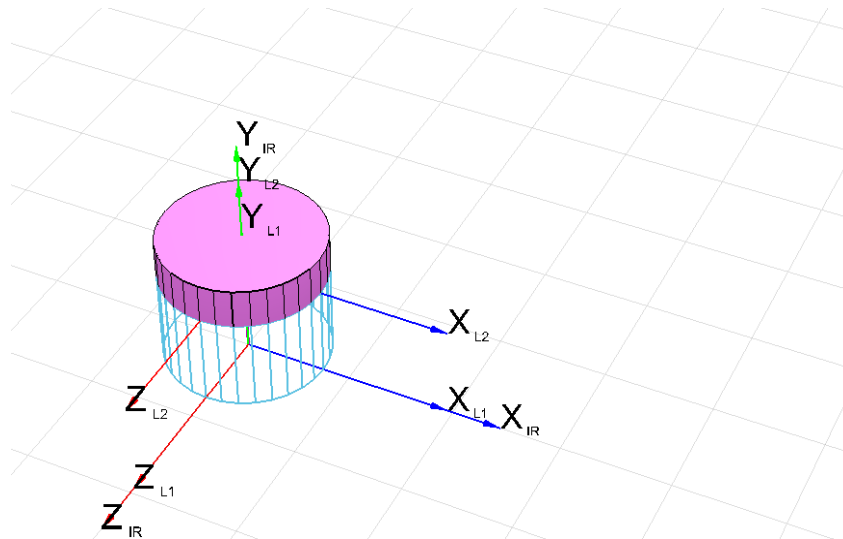


Рис. 2.4. 3D-твердотільна модель ланки L2 МС ПР мод. KUKA KR-30

2.2.3. Опис ланки 3 МС ПР мод. KUKA KR-30

```
(KUKA KR-30) = {
    L1:(D:0,1,0;S:350;M:250;GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 350;]);
    L2:(D:0,1,0;S:150;M:137;V:140;Q_min: -0.044,0,-0.999,0;
        Q_max:-0.044,0,0.999,0; GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 150;]);
    L3:(D:1,1,0;S:450;M:92;GP:[ TZ: 220, 220, -100, 200, 400, 600, 500, 300, 0, 0.924,0,0,0.383;]);
}
```

Тут:

L3 – ланка 3 в МС ПР

D: 1, 1, 0 – вектор напрямку ланки L3 в СК ланки L2
 └─ розташування вздовж осі Z_{L2}
 └─ розташування вздовж осі Y_{L2}
 └─ розташування вздовж осі X_{L2}

S:450 – геометричний розмір ниткового представлення ланки L3
 └─ довжина ланки L3, мм

M:92 – маса ланки L3, кг

GP: – ідентифікатор групи геометричних примітивів, за допомогою яких описується форма ланки МС ПР

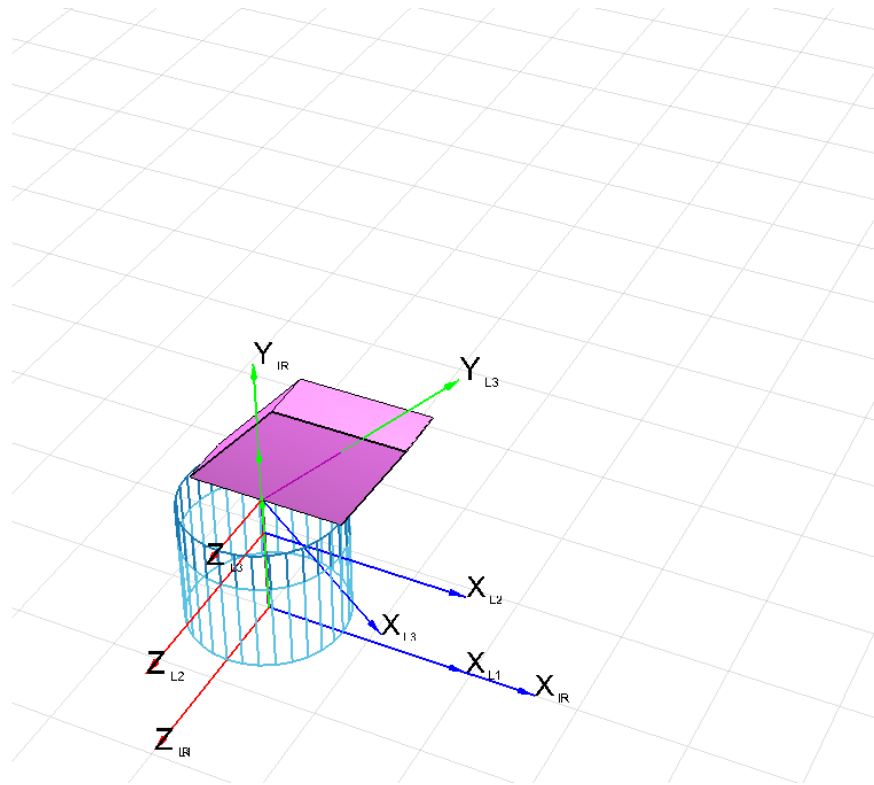


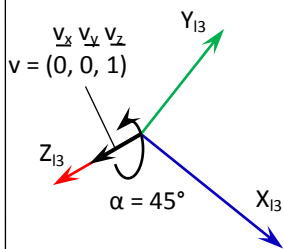
Рис. 2.5. 3D-твердотільна модель ланки L3 МС ПР мод. KUKA KR-30

TZ: – геометричний примітив типу “трапеція”

_____ ідентифікатор примітиву TZ (Trapeze) – “ трапеція”

TZ: 220, 220, -100, 200, 400, 600, 500, 300, 0, 0.924, 0, 0, 0.383

_____ 0.924, 0, 0, 0.383 – кватерніон орієнтації трапеції



$$Q_{TZ} = (s, v) = (s, v_x, v_y, v_z) =$$

$$= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$=$$

$$= \left(\cos \frac{45^\circ}{2}, \right.$$

_____ 450 _____ 450 _____ 450

_____ 200, 400, 600, 500, 300, 0

b – зміщення висоти H2, мм
a – зміщення висоти H1, мм
H2 – права висота трапеції, мм
H1 – ліва висота трапеції, мм
W – довжина трапеції вздовж
вектора напрямку, мм
D – глибина трапеції, мм

_____ 220, 220, -100

_____ розташування вздовж осі Z в СК ланки L3, мм
_____ розташування вздовж осі Y в СК ланки L3, мм
_____ розташування вздовж осі X в СК ланки L3, мм

2.2.4. Опис ланки 4 МС ПР мод. KUKA KR-30

(KUKA KR-30) = {

L1:(D:0,1,0;S:350;M:250;GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 350;]);

L2:(D:0,1,0;S:150;M:137;V:140;Q_{min}: -0.044,0,-0.999,0;

Q_{max}:-0.044,0,0.999,0; GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 150;]);

L3:(D:1,1,0;S:450;M:92;GP:[TZ: 220, 220, -100, 200, 400, 600, 500, 300, 0, 0.924,0,0,0.383;]);

L4:(D:-1,1,0;S:850;M:60;V:126;Q_{min}: 0.462,0,0,-0.887;

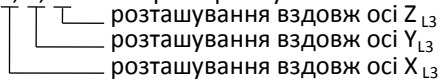
Q_{max}: 0.924,0,0,0.383; GP:[CR:0,0,0,150,300, 0.707,0.707,0,0; PD:0,0,200,850,250,200;]);

}

Тут:

L4 – ланка 4 в МС ПР

D: -1, 1, 0 – вектор напрямку ланки L4 в СК ланки L3



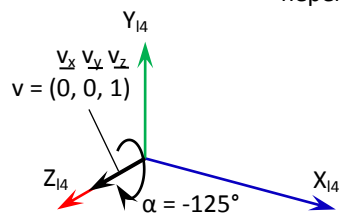
S:850 – геометричний розмір ниткового представлення ланки L4

довжина ланки L4, мм

M:60 – маса ланки L4, кг

V:126 – максимальна швидкість переміщення ланки L4, °/с

Q_{min}: 0.462,0,0,-0.887 – мінімальний кватерніон обмеження величини переміщення (обертання) ланки L4 в її СК



$$Q_{\min} = (s, v) = (s, v_x, v_y, v_z) =$$

$$= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

=

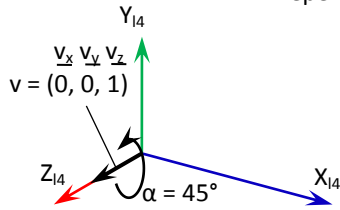
$$= \left(\cos \frac{-125^\circ}{2}, \right.$$

1250

1250

1250

$Q_{\max}: 0.924, 0, 0, 0.383$ – максимальний кватерніон обмеження величини переміщення (обертання) ланки L4 в її СК



$$Q_{\max} = (s, v) = (s, v_x, v_y, v_z) =$$

$$= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$=$$

$$= \left(\cos \frac{45^\circ}{2}, \right.$$

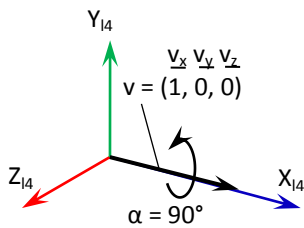
150 150 150

GP: – ідентифікатор групи геометричних примітивів, за допомогою яких описується форма ланки МС ПР

CR:– геометричний примітив типу “циліндр”
 _____ ідентифікатор примітиву CR (Cylinder) – “циліндр”

CR: 0, 0, 0, 150, 300, 0.707, 0.707, 0, 0

_____ 0.707, 0.707, 0, 0 – кватерніон орієнтації циліндра



$$Q_{Cr} = (s, v) = (s, v_x, v_y, v_z) =$$

$$= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$=$$

$$= \left(\cos \frac{90^\circ}{2}, \right.$$

000 000 000

0, 0, 0, 150, 300

- _____ L – довжина циліндру, мм
- _____ R – радіус циліндру, мм
- _____ розташування вздовж осі Z в СК ланки L4, мм
- _____ розташування вздовж осі Y в СК ланки L4, мм
- _____ розташування вздовж осі X в СК ланки L4, мм

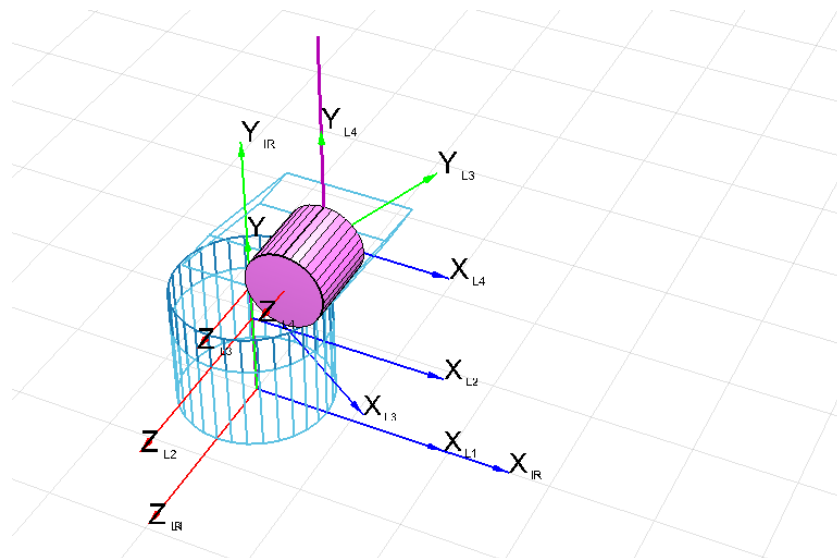


Рис. 2.6. 3D-твердотільна модель ланки L4 MC ПР мод. KUKA KR-30
(примітив – циліндр)

PD: 0,0,200,850,250,200 – геометричний примітив типу “паралелепіпед”

- D – глибина паралелепіпеда, мм
- H – висота паралелепіпеда, мм
- W – ширина паралелепіпеда, мм
- розташування вздовж осі Z в СК ланки L4, мм
- розташування вздовж осі Y в СК ланки L4, мм
- розташування вздовж осі X в СК ланки L4, мм
- ідентифікатор примітива PD (parallelepiped) – “паралелепіпед”

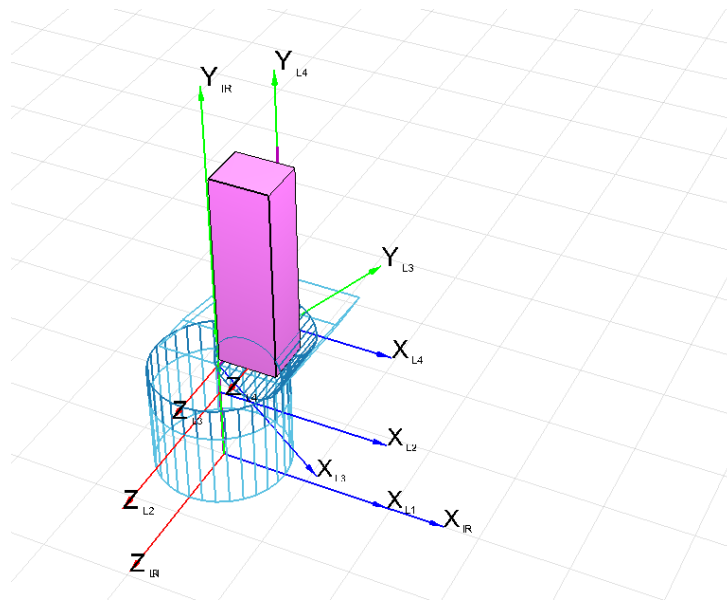


Рис. 2.7. 3D-твердотільна модель ланки L4 MC ПР мод. KUKA KR-30
(примітив – паралелепіпед)

2.2.5. Опис ланки 5 MC ПР мод. KUKA KR-30

(KUKA KR-30) = {

L1:(D:0,1,0;S:350;M:250;GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 350;]);

L2:(D:0,1,0;S:150;M:137;V:140;Q_{min}: -0.044,0,-0.999,0;

Q_{max}:-0.044,0,0.999,0; GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 150;]);

L3:(D:1,1,0;S:450;M:92;GP:[TZ: 220, 220, -100, 200, 400, 600, 500, 300, 0, 0.924,0,0,0.383;]);

L4:(D:-1,1,0;S:850;M:60;V:126;Q_{min}: 0.462,0,0,-0.887;

Q_{max}: 0.924,0,0,0.383; GP:[CR:0,0,0,150,300, 0.707,0.707,0,0; PD:0,0,200,850,250,200;]);

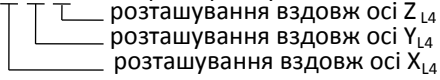
L5:(D:0,1,0;S:145;M:40;V:140; Q_{min}: 0.829,0,0,-0.559; Q_{max}: -0.259,0,0,0.966; GP:[CR:0,0,0,150,300, 0.707,0.707,0,0; PD:-50,-150,0,400,500,200;]);

}

Тут:

L5 – ланка 5 в МС ПР

D: 0, 1, 0 – вектор напрямку ланки L5 в СК ланки L4



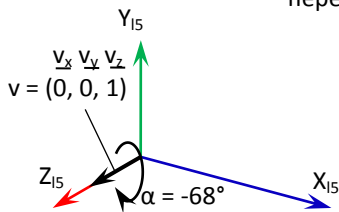
S:145 – геометричний розмір ниткового представлення ланки L5



M:40 – маса ланки L5, кг

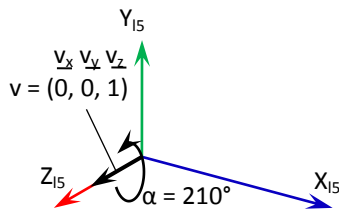
V:140 – максимальна швидкість переміщення ланки L5, °/с

Q_{min} : 0.829, 0, 0, -0.559 – мінімальний кватерніон обмеження величини переміщення (обертання) ланки L5 в її СК



$$\begin{aligned}
 Q_{min} = (s, v) &= (s, v_x, v_y, v_z) = \\
 &= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right) \\
 &= \\
 &= \left(\cos \frac{-68^\circ}{2}, \right. \\
 &\quad \left. \sin \frac{-68^\circ}{2}, 0, 0 \right)
 \end{aligned}$$

Q_{max} : -0.259, 0, 0, 0.966 – максимальний кватерніон обмеження величини переміщення (обертання) ланки L5 в її СК



$$\begin{aligned}
 Q_{max} = (s, v) &= (s, v_x, v_y, v_z) = \\
 &= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right) \\
 &= \\
 &= \left(\cos \frac{210^\circ}{2}, \right. \\
 &\quad \left. \sin \frac{210^\circ}{2}, 0, 0 \right)
 \end{aligned}$$

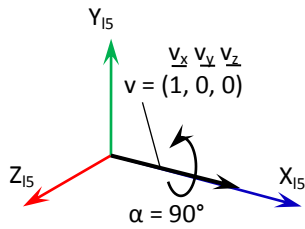
GP: – ідентифікатор групи геометричних примітивів, за допомогою яких описується форма ланки МС ПР

CR:– геометричний примітив типу “циліндр”

ідентифікатор примітиву CR (Cylinder) – “циліндр”

CR: 0, 0, 0, 150, 300, 0.707, 0.707, 0, 0

0.707, 0.707, 0, 0; – кватерніон орієнтації циліндра



$$Q_{Cr} = (s, v) = (s, v_x, v_y, v_z) =$$

$$= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

=

$$= \left(\cos \frac{90^\circ}{2}, \right)$$

∞ ∞ ∞

0, 0, 0, 150, 300

L – довжина циліндра, мм

R – радіус циліндра, мм

розташування вздовж осі Z в СК ланки L5, мм

розташування вздовж осі Y в СК ланки L5, мм

розташування вздовж осі X в СК ланки L5, мм

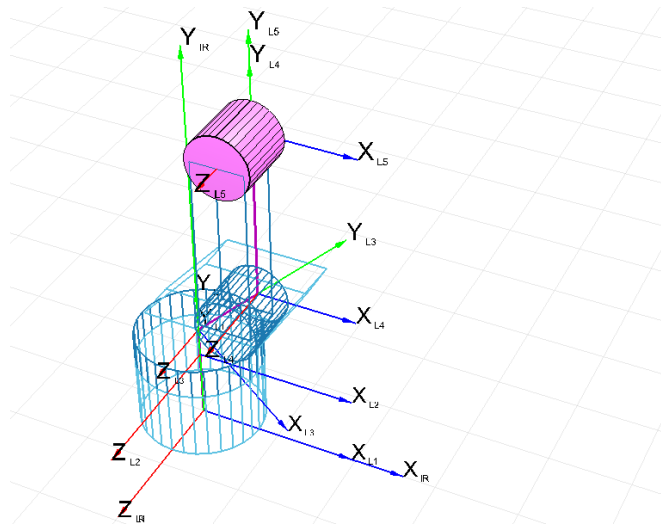


Рис. 2.7. 3D-твердотільна модель ланки L5 МС ПР мод. KUKA KR-30
(примітив – циліндр)

PD: -50, -150, 0, 400, 500, 200 – геометричний примітив типу “паралелепіед”

D – глибина паралелепіеда, мм

H – висота паралелепіеда, мм

W – ширина паралелепіеда, мм

розташування вздовж осі Z в СК ланки L5, мм

розташування вздовж осі Y в СК ланки L5, мм

розташування вздовж осі X в СК ланки L5, мм

ідентифікатор примітива PD (parallelepiped) –

“паралелепіед”

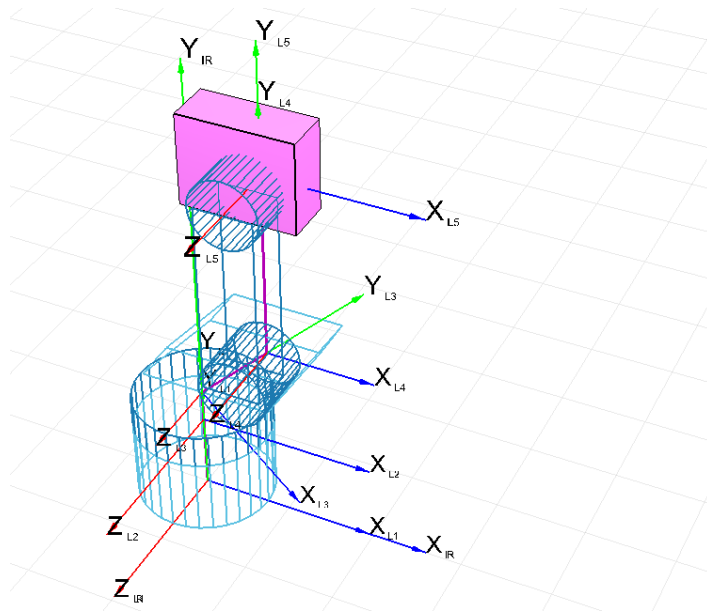


Рис. 2.8. 3D-твердотільна модель ланки L5 МС ПР мод. KUKA KR-30
(примітив – паралелепіпед)

2.2.6. Опис ланки 6 МС ПР мод. KUKA KR-30

(KUKA KR-30) = {

L1:(D:0,1,0;S:350;M:250;GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 350;]);

L2:(D:0,1,0;S:150;M:137;V:140;Q_{min}: -0.044,0,-0.999,0;

Q_{max}:-0.044,0,0.999,0; GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 150;]);

L3:(D:1,1,0;S:450;M:92;GP:[TZ: 220, 220, -100, 200, 400, 600, 500, 300, 0, 0.924,0,0,0.383;]);

L4:(D:-1,1,0;S:850;M:60;V:126;Q_{min}: 0.462,0,0,-0.887;

Q_{max}: 0.924,0,0,0.383; GP:[CR:0,0,0,150,300, 0.707,0.707,0,0; PD:0,0,200,850,250,200;]);

L5:(D:0,1,0;S:145;M:40;V:140; Q_{min}: 0.829,0,0,-0.559; Q_{max}: -0.259,0,0,0.966; GP:[CR:0,0,0,150,300,
0.707,0.707,0,0; PD:-50,-150,0,400,500,200;]);

L6:(D:1,0,0;S:350;M:20;GP:[CR:0,0,0,100,350;]);

}

Тут:

L6 – ланка 6 в МС ПР

D: 1, 0, 0 – вектор напрямку ланки L6 в СК ланки L5

┌───┐ розташування вздовж осі Z_{L5}
├───┐ розташування вздовж осі Y_{L5}
└───┘ розташування вздовж осі X_{L5}

S:350 – геометричний розмір ниткового представлення ланки L6

└─── довжина ланки L6, мм

M:20 – маса ланки L6, кг

GP: – ідентифікатор групи геометричних примітивів, за допомогою яких описується форма ланки МС ПР

CR: 0, 0, 0, 100, 350 – геометричний примітив типу “циліндр”

└─── L – довжина циліндра, мм
└─── R – радіус циліндра, мм
└─── розташування вздовж осі Z в СК ланки L6, мм
└─── розташування вздовж осі Y в СК ланки L6, мм
└─── розташування вздовж осі X в СК ланки L6, мм
└─── ідентифікатор примітива CR (Cylinder) – “циліндр”

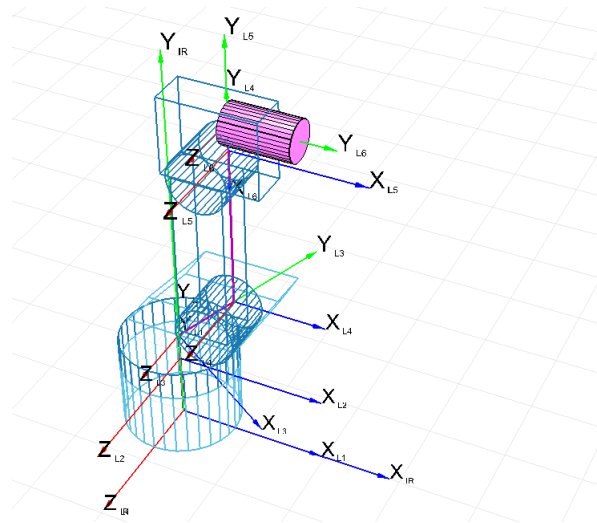


Рис. 2.9. 3D-твёрдотельная модель ланки L6 МС ПР мод. KUKA KR-30

2.2.7. Опис ланки 7 МС ПР мод. KUKA KR-30

(KUKA KR-30) = {

L1:(D:0,1,0;S:350;M:250;GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 350;]);

L2:(D:0,1,0;S:150;M:137;V:140;Q_{min}: -0.044,0,-0.999,0;

Q_{max}:-0.044,0,0.999,0; GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 150;]);

L3:(D:1,1,0;S:450;M:92;GP:[TZ: 220, 220, -100, 200, 400, 600, 500, 300, 0, 0.924,0,0,0.383;]);

L4:(D:-1,1,0;S:850;M:60;V:126;Q_{min}: 0.462,0,0,-0.887;

Q_{max}: 0.924,0,0,0.383; GP:[CR:0,0,0,150,300, 0.707,0.707,0,0; PD:0,0,200,850,250,200;]);

L5:(D:0,1,0;S:145;M:40;V:140; Q_{min}: 0.829,0,0,-0.559; Q_{max}: -0.259,0,0,0.966; GP:[CR:0,0,0,150,300, 0.707,0.707,0,0; PD:-50,-150,0,400,500,200;]);

L6:(D:1,0,0;S:350;M:20;GP:[CR:0,0,0,100,350;]);

L7:(D:0,1,0;S:465;M:10;V:260;Q_{min}: -0.996,0,-0.087,0;

$Q_{max}: -0.996, 0, 0.087, 0$; GP: [CR: 0, 0, 0, 100, 150; PD: 0, 150, 0, 200, 100, 100;

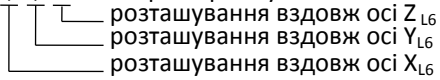
PD: 0, 310, -60, 200, 100, 30; PD: 0, 310, 60, 200, 100, 30;]);

}

Тут:

L7 – ланка 7 в МС ПР

D: 0, 1, 0 – вектор напрямку ланки L7 в СК ланки L6



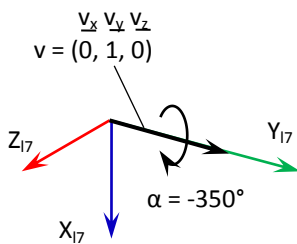
S: 465 – геометричний розмір ниткового представлення ланки L7

_____ довжина ланки L7, мм

M: 10 – маса ланки L7, кг

V: 260 – максимальна швидкість переміщення ланки L7, °/с

$Q_{min}: -0.996, 0, -0.087, 0$ – мінімальний кватерніон обмеження величини переміщення (обертання) ланки L7 в її СК



$v = (0, 1, 0)$

$$Q_{min} = (s, v) = (s, v_x, v_y, v_z) =$$

$$= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

=

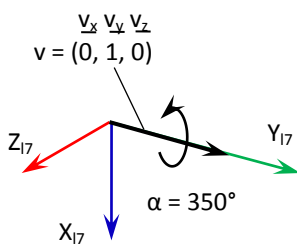
$$= \left(\cos \frac{-350^\circ}{2}, \right.$$

0.996

0.087

0.087

$Q_{max}: -0.996, 0, 0.087, 0$ – максимальний кватерніон обмеження величини переміщення (обертання) ланки L7 в її СК



$v = (0, 1, 0)$

$$Q_{min} = (s, v) = (s, v_x, v_y, v_z) =$$

$$= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

=

$$= \left(\cos \frac{350^\circ}{2}, \right.$$

0.996

0.087

0.087

GP: – ідентифікатор групи геометричних примітивів, за допомогою яких описується форма ланки МС ПР

CR: 0, 0, 0, 100, 150– геометричний примітив типу “циліндр”

- L – довжина циліндра, мм
- R – радіус циліндра, мм
- розташування вздовж осі Z в СК ланки L7, мм
- розташування вздовж осі Y в СК ланки L7, мм
- розташування вздовж осі X в СК ланки L7, мм
- ідентифікатор примітива CR (Cylinder) – “циліндр”

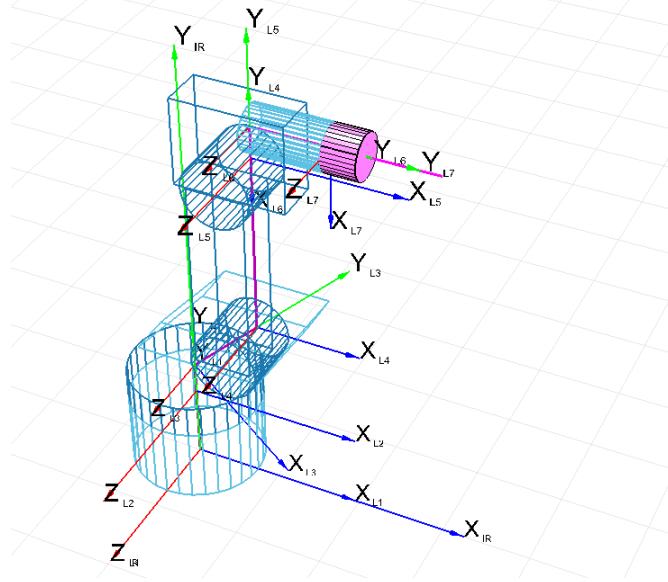


Рис. 2.10. 3D-твердотільна модель ланки L7 МС ПР мод. KUKA KR-30 (примітив – циліндр)

PD: 0, 150, 0, 200, 100, 100– геометричний примітив типу “паралелепіед”

- D – глибина паралелепіеда, мм
- H – висота паралелепіеда, мм
- W – ширина паралелепіеда, мм
- розташування вздовж осі Z в СК ланки L7, мм
- розташування вздовж осі Y в СК ланки L7, мм
- розташування вздовж осі X в СК ланки L7, мм
- ідентифікатор примітива PD (parallelepiped) – “паралелепіед”

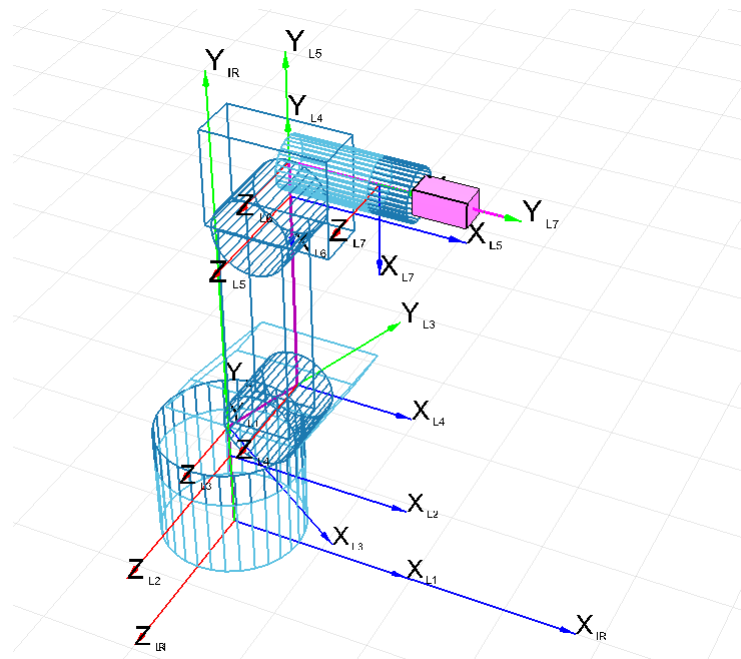


Рис. 2.11. 3D-твердотільна модель ланки L7 МС ПР мод. KUKA KR-30
(примітив – паралелепіпед)

PD: 0, 310, -60, 200, 100, 30 – геометричний примітив типу “паралелепіпед”

- D – глибина паралелепіпеда, мм
- H – висота паралелепіпеда, мм
- W – ширина паралелепіпеда, мм
- розташування вздовж осі Z в СК ланки L7, мм
- розташування вздовж осі Y в СК ланки L7, мм
- розташування вздовж осі X в СК ланки L7, мм
- ідентифікатор примітива PD (parallelepiped) – “паралелепіпед”

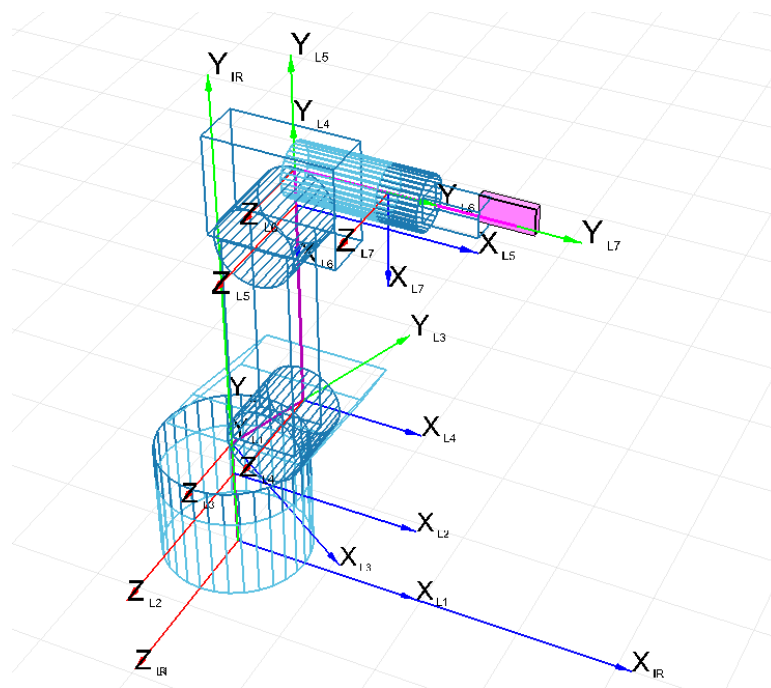


Рис. 2. 12. 3D-твердотільна модель ланки L7 МС ПР мод. KUKA KR-30
(примітив – паралелепіпед)

PD: 0, 310, 60, 200, 100, 30 – геометричний примітив типу “паралелепіпед”

- D – глибина паралелепіпеда, мм
- H – висота паралелепіпеда, мм
- W – ширина паралелепіпеда, мм
- розташування вздовж осі Z в СК ланки L7, мм
- розташування вздовж осі Y в СК ланки L7, мм
- розташування вздовж осі X в СК ланки L7, мм
- ідентифікатор примітива PD (parallelepiped) – “паралелепіпед”

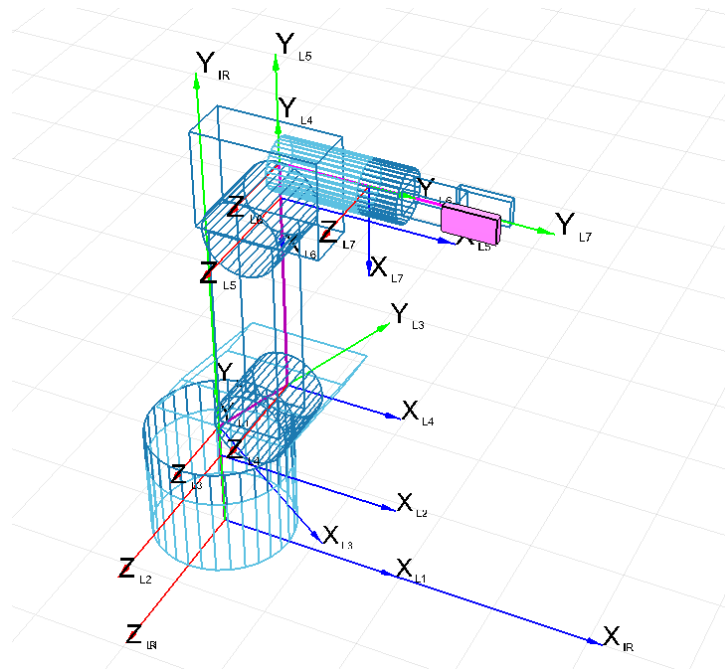


Рис. 2.13. 3D-твёрдотельная модель ланки L7 МС ПР мод. KUKA KR-30
(примитив – параллелепипед)

2.2.8. Описание ланки 8 МС ПР мод. KUKA KR-30

(KUKA KR-30) = {

L1:(D:0,1,0;S:350;M:250;GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 350;]);

L2:(D:0,1,0;S:150;M:137;V:140;Q_{min}: -0.044,0,-0.999,0;

Q_{max}:-0.044,0,0.999,0; GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 150;]);

L3:(D:1,1,0;S:450;M:92;GP:[TZ: 220, 220, -100, 200, 400, 600, 500, 300, 0, 0.924,0,0,0.383;]);

L4:(D:-1,1,0;S:850;M:60;V:126;Q_{min}: 0.462,0,0,-0.887;

Q_{max}: 0.924,0,0,0.383; GP:[CR:0,0,0,150,300, 0.707,0.707,0,0; PD:0,0,200,850,250,200;]);

L5:(D:0,1,0;S:145;M:40;V:140; Q_{min}: 0.829,0,0,-0.559; Q_{max}: -0.259,0,0,0.966; GP:[CR:0,0,0,150,300,
0.707,0.707,0,0; PD:-50,-150,0,400,500,200;]);

L6:(D:1,0,0;S:350;M:20;GP:[CR:0,0,0,100,350;]);

L7:(D:0,1,0;S:465;M:10;V:260;Q_{min}: -0.996,0,-0.087,0;

Q_{max}:-0.996,0,0.087,0; GP:[CR:0,0,0,100,150; PD:0,150,0,200,100,100;

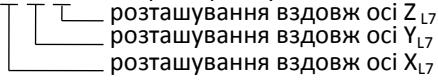
PD:0,310,-60,200,100,30; PD:0,310,60,200,100,30;]);

L8:(D:0,1,0;S:170;M:5;V:245;Q_{min}: 0.508,0,0,-0.862; Q_{max}: 0.508,0,0,0.862; GP:[CR:0,0,0,50,170;]);

Тут:

L8 – ланка 8 в МС ПР

D: 0, 1, 0 – вектор напрямку ланки L8 в СК ланки L7

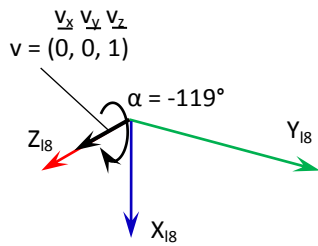


S:170 – геометричний розмір ниткового представлення ланки L8
 довжина ланки L8, мм

M:5 – маса ланки L8, кг

V:245 – максимальна швидкість переміщення ланки L8, °/с

Q_{min} : 0.508, 0, 0, -0.862 – мінімальний кватерніон обмеження величини переміщення (обертання) ланки L8 в її СК



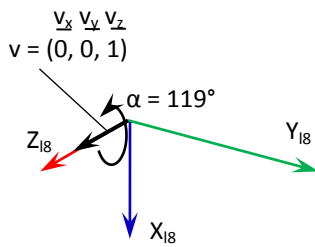
$$Q_{min} = (s, v) = (s, v_x, v_y, v_z) =$$

$$= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$=$$

$$= \left(\cos \frac{-119^\circ}{2}, \right.$$

Q_{max} : 0.508, 0, 0, 0.862 – максимальний кватерніон обмеження величини переміщення (обертання) ланки L8 в її СК



$$Q_{min} = (s, v) = (s, v_x, v_y, v_z) =$$

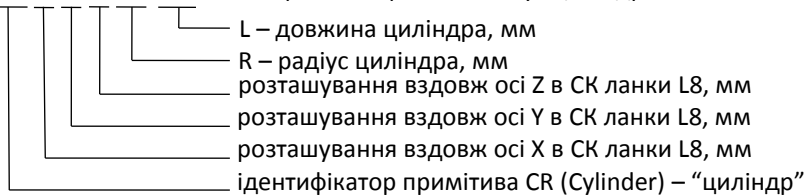
$$= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$=$$

$$= \left(\cos \frac{119^\circ}{2}, \right.$$

GP: – ідентифікатор групи геометричних примітивів, за допомогою яких описується форма ланки МС ПР

CR: 0, 0, 0, 50, 170 – геометричний примітив типу “циліндр”



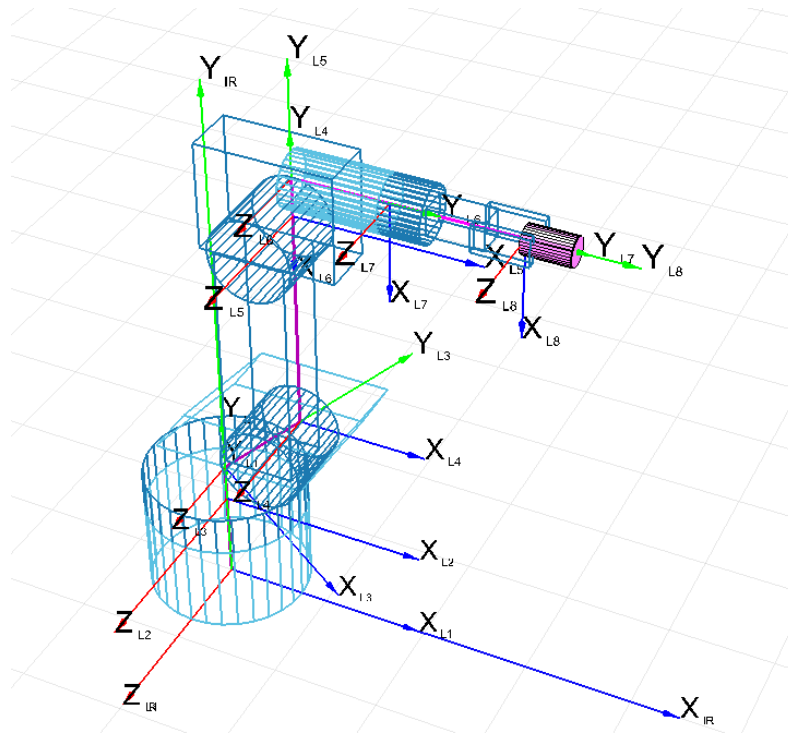


Рис. 2.14. 3D-твердотільна модель ланки L8 MC ПР мод. KUKA KR-30

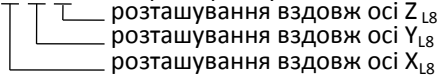
2.2.9. Опис ланки 9 MC ПР мод. KUKA KR-30

```
(KUKA KR-30) = {
  L1:(D:0,1,0;S:350;M:250;GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 350;]);
  L2:(D:0,1,0;S:150;M:137;V:140;Qmin: -0.044,0,-0.999,0;
    Qmax:-0.044,0,0.999,0; GP:[CR: 0, 0, 0, 300, 150;]);
  L3:(D:1,1,0;S:450;M:92;GP:[ TZ: 220, 220, -100, 200, 400, 600, 500, 300, 0, 0.924,0,0,0.383;]);
  L4:(D:-1,1,0;S:850;M:60;V:126;Qmin: 0.462,0,0,-0.887;
    Qmax: 0.924,0,0,0.383; GP:[CR:0,0,0,150,300, 0.707,0.707,0,0; PD:0,0,200,850,250,200;]);
  L5:(D:0,1,0;S:145;M:40;V:140; Qmin: 0.829,0,0,-0.559; Qmax: -0.259,0,0,0.966; GP:[CR:0,0,0,150,300,
    0.707,0.707,0,0; PD:-50,-150,0,400,500,200;]);
  L6:(D:1,0,0;S:350;M:20;GP:[CR:0,0,0,100,350;]);
  L7:(D:0,1,0;S:465;M:10;V:260;Qmin: -0.996,0,-0.087,0;
    Qmax:-0.996,0,0.087,0; GP:[CR:0,0,0,100,150; PD:0,150,0,200,100,100;
    PD:0,310,-60,200,100,30; PD:0,310,60,200,100,30;]);
  L8:(D:0,1,0;S:170;M:5;V:245;Qmin: 0.508,0,0,-0.862; Qmax: 0.508,0,0,0.862; GP:[CR:0,0,0,50,170;]);
  L9:(D:0,1,0;S:10;M:1;V:322;Qmin: -0.996,0,-0.087,0; Qmax:-0.996,0,0.087,0; GP:[CR:0,0,0,40,10;]);
}
```

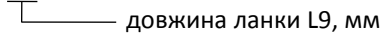
Тут:

L9 – ланка 9 в МС ПР

D: 0, 1, 0 – вектор напрямку ланки L9 в СК ланки L8



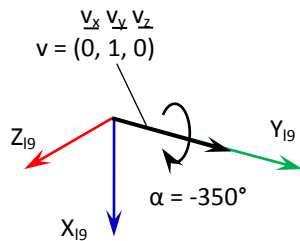
S:10 – геометричний розмір ниткового представлення ланки L9



M:5 – маса ланки L9, кг

V:245 – максимальна швидкість переміщення ланки L9, °/с

Q_{\min} : -0.996, 0, -0.087, 0 – мінімальний кватерніон обмеження величини переміщення (обертання) ланки L9 в її СК



$$Q_{\min} = (s, v) = (s, v_x, v_y, v_z) =$$

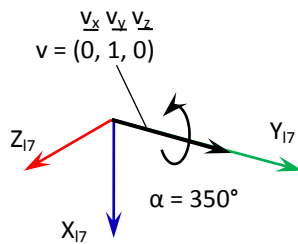
$$= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

=

$$= \left(\cos \frac{-119^\circ}{2}, \right.$$

1100 1100 1100

Q_{\max} : -0.996, 0, 0.087, 0 – максимальний кватерніон обмеження величини переміщення (обертання) ланки L9 в її СК



$$Q_{\min} = (s, v) = (s, v_x, v_y, v_z) =$$

$$= \left(\cos \frac{\alpha}{2}, v_x \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_y \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, v_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

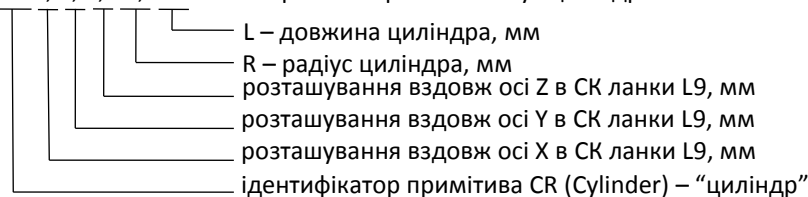
=

$$= \left(\cos \frac{350^\circ}{2}, \right.$$

2500 2500 2500

GP: – ідентифікатор групи геометричних примітивів, за допомогою яких описується форма ланки МС ПР

CR: 0, 0, 0, 40, 10 – геометричний примітив типу “циліндр”



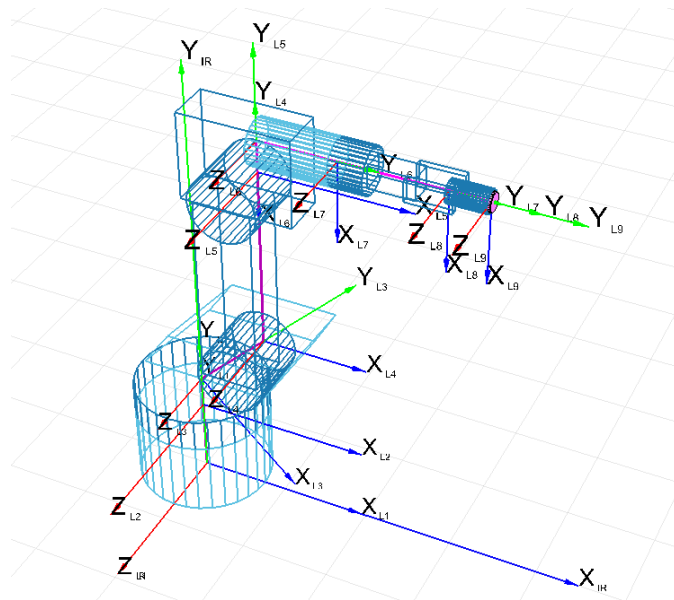


Рис. 2.15. 3D-твердотільна модель ланки L9 МС ПР мод. KUKA KR-30

Аналогічним чином складаються ММ (ІМ) інших складових і ПР (схватів), і технологічного обладнання (основного та допоміжного).