

література



Навчально-методична

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Кафедра автоматизації
технологічних процесів і
виробництв

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи № 3
«Імпорт тривимірних моделей та
створення захоплювального пристрою в
програмному середовищі RobotStudio»
з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та
робототехніка”
для студентів спеціальності
151 «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»

Тернопіль
2019

«Імпорт тривимірних моделей та створення захоплювального пристрою в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 3 з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укл. Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – 24 с.

Рецензент: д.т.н., професор Стухляк П.Д.

Методичні вказівки розглянуто і схвалено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів та виробництв.

Схвалено і рекомендовано до друку Науково-методичною радою факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії.

Зміст

Правила техніки безпеки	4
Лабораторна робота № 3. Імпорт тривимірних моделей та створення захоплювального пристрою в програмному середовищі RobotStudio	5
1. Імпорт геометрії	5
2. Створення захоплювача	10
3. Збереження механізму у бібліотеці RobotStudio	19
4. Визначення TCP (tool center point, точка центру інструменту)	19
5. Хід роботи.....	21
6. Порядок оформлення звіту	21
7. Контрольні запитання	21
Рекомендована література	22

Правила техніки безпеки

До лабораторних робіт студенти допускаються тільки з дозволу викладача в його присутності або інженера.

При виконанні роботи студенти повинні виконувати наступні вимоги з техніки безпеки.

1. Перед початком роботи:

1.1. Привести в порядок одяг: застібнути рукави, заправити одяг так, щоб не було звисаючих кінців.

1.2. Оглянути робоче місце, впевнитися у відсутності можливих перешкод на шляху рухомих вузлів.

1.3. Переконатись у правильності і надійності під'єднання з'єднуючих кабелів.

1.4. Перевірити надійність заземлення.

2. Під час роботи:

2.1. Виконувати роботу у суворій відповідності з отриманим завданням.

2.2. Забороняється:

- залишати включене обладнання без нагляду;
- проводити самотійно ремонт обладнання;
- безконтрольно маніпулювати клавіатурою.

2.3. Не брати і не передавати через установку будь-які предмети.

2.4. Після вводу тексту керуючої програми перевірити правильність її роботи в покроковому режимі.

2.5. При виникненні в процесі роботи збоїв роботу потрібно негайно припинити.

3. Після закінчення роботи:

3.1. Виключити електрообладнання.

3.2. Привести в порядок робоче місце.

3.3. Повідомити викладачу про всі виявлені недоліки у роботі обладнання.

Лабораторна робота № 3. Імпорт тривимірних моделей та створення захоплювального пристрою в програмному середовищі RobotStudio

Мета роботи: отримання студентами навичок імпортування геометричних об'єктів в програмне середовище RobotStudio® (імпортувати тривимірні об'єкти з іншого програмного забезпечення, наприклад SolidWorks, Kompas-3D, тощо), створення і визначення механізму захоплювача, збереження створеного механізму у бібліотеці RobotStudio® та визначення TCP (точки центру інструменту).

1. Імпорт геометрії

Програмне середовище RobotStudio дозволяє імпортувати більшість файлів CAD формату [1-24]. Для того щоб це зробити потрібно розташувати файл в директорії:

C:\Users\xxxxxx\Documents\RobotStudio\Geometry.

Для прикладу був створений стіл в програмі SolidWorks і збережений з розширенням step. Тепер його можна вставити в наш проект, як показано на Рис. 1.

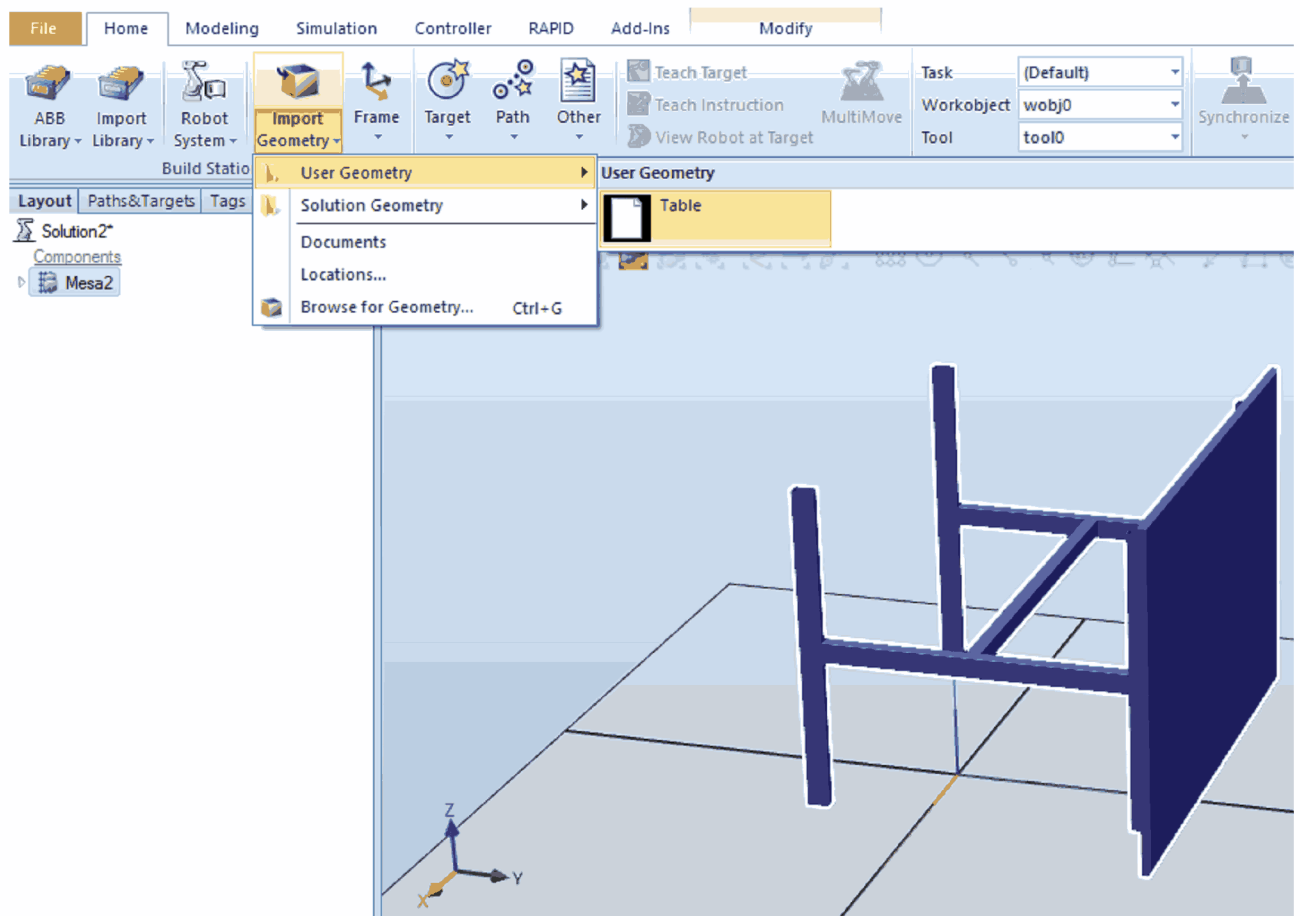


Рис. 1 Імпорт геометрії

Як бачимо стіл висить в повітрі і лежить на боці (не обов'язково, що так

буде завжди і з усіма об'єктами: залежить від позиціонування в CAD програмі), тому треба буде повернути його навколо осі X на 90°.

Додамо робота IRB 140 до нашого проекту. Він не перебуває на столі, як би ми хотіли. Для цього натискаємо ПКМ на моделі робота, вибираємо «Position» → «Place» → «One Point». Вибираємо функцію «Snap Centre» (захоплення центру – показує кулькою центр фігури, на яку наведений курсор) на лінійці інструментів у «View» (головний вид) і натискаємо, наприклад, на отвір для кріплення у основі робота з боку «підложки» (повинна з'явиться точка з написом «From»), в полях «Primary Point» – «From» миготливий курсор зміниться на координати, а потім для «Primary Point» – «To» вибираємо центр стільниці. Має вийти, як на Рис. 2. Натискаємо «Apply».

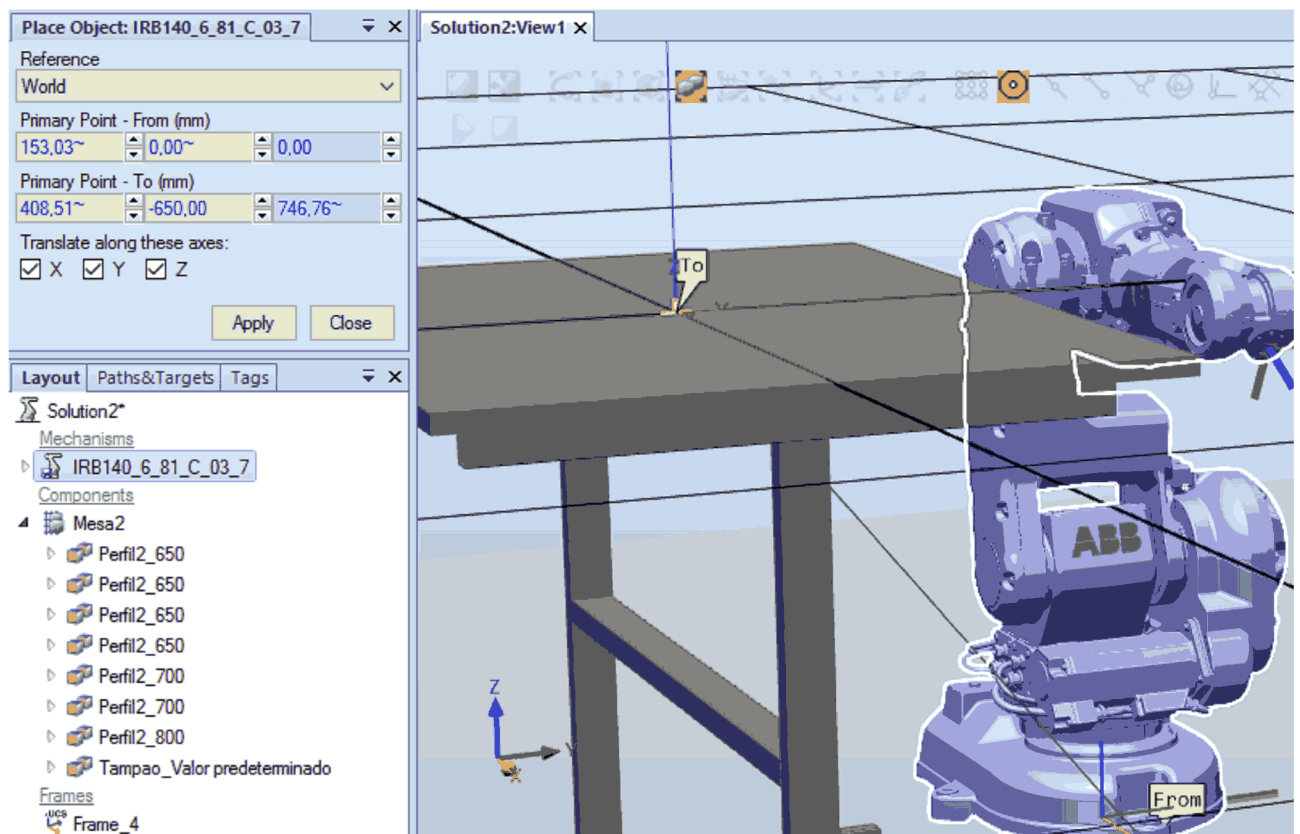


Рис. 2 Зв'язок робота і столу

Тепер робот стоїть на столі. Додамо до нього Деталь (створену заздалегідь також в SolidWorks, але з розширенням SLDPRT) і робочий інструмент (Рис. 3). Щоб «покласти» цей об'єкт на стіл, пройдіть таку ж процедуру, як і з роботом. Створіть контролер.

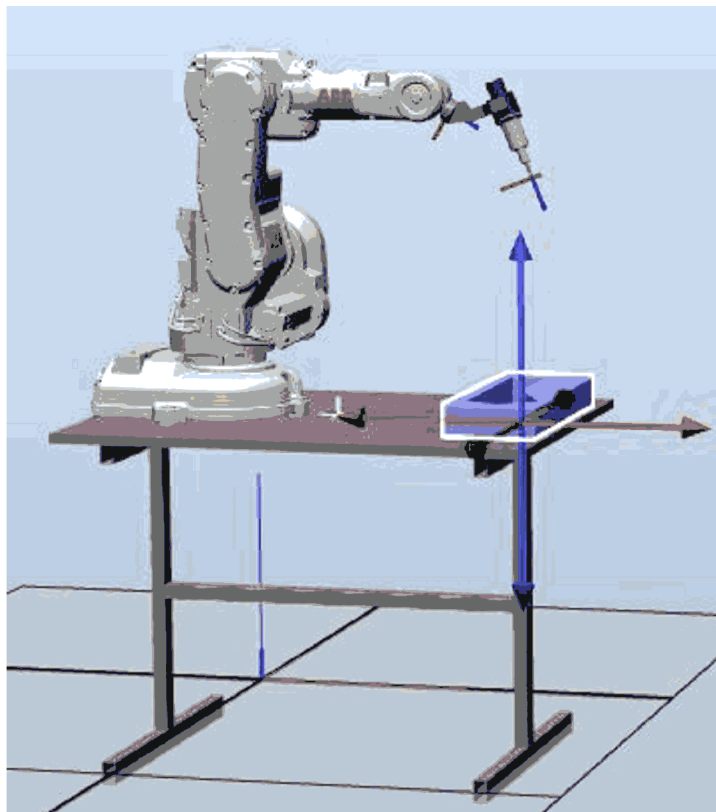


Рис. 3 «Робоче місце»

За допомогою «Teach Target» для «wobj0» створимо стартову позицію для робочого об'єкту «Target_10». Потім новий «workobject» для Деталі (Рис. 4).

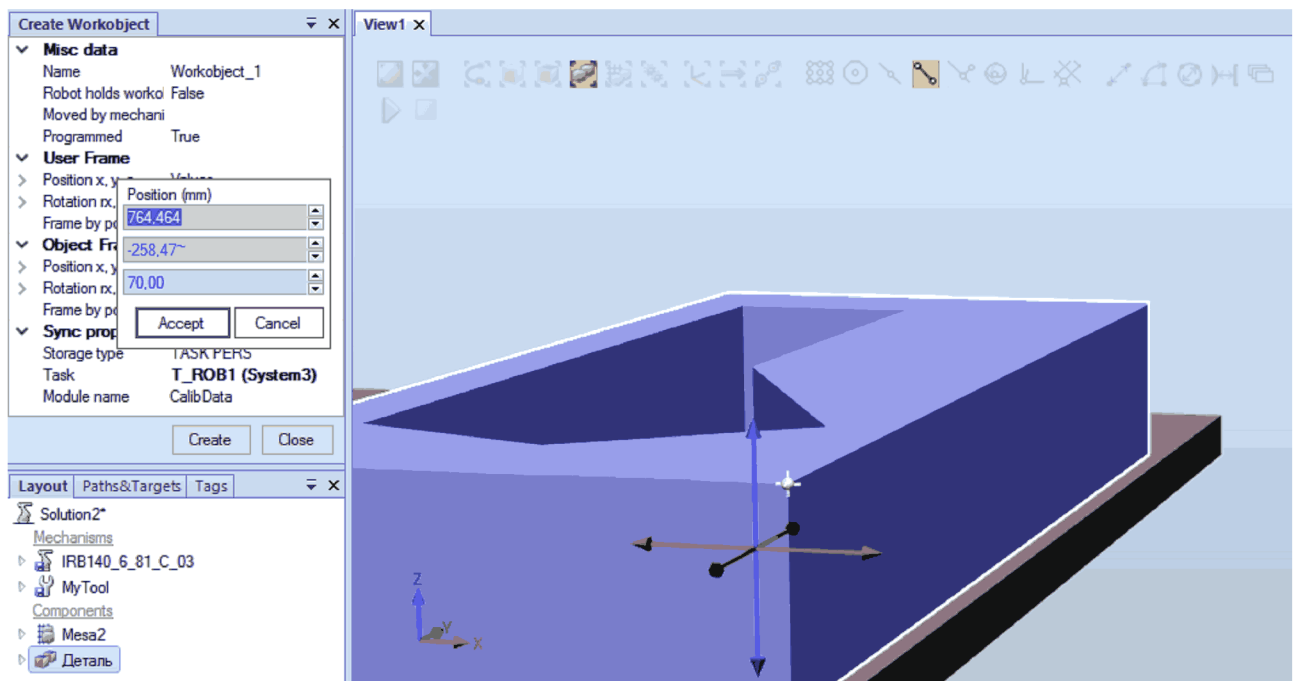


Рис 4 Вказівка на Workobject

Далі повторимо те, чому навчилися на попередній лабораторній роботі: вкажемо 6 точок (Target_20 ... 70) для траєкторії (так, ніби роботу потрібно вирізати отвір такої форми); потім орієнтуємо інструмент в них; далі

створюємо траєкторію: 10-20-30-40-50-60-70-10; синхронізуємо; встановлюємо траєкторію в «Simulation Setup» і запускаємо симуляцію (Рис. 5).

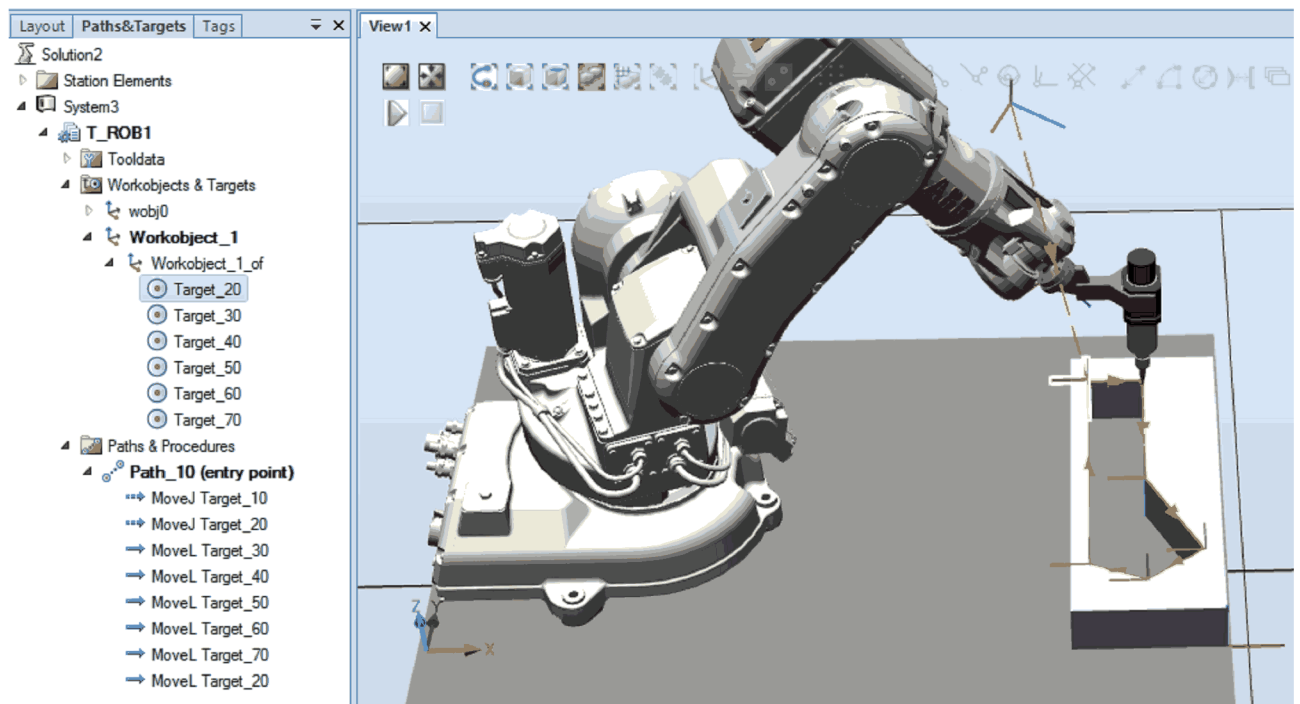


Рис 5 Результат роботи

Так як процес не автоматизований повністю, то доведеться вручну налаштовувати конфігурацію при виникненні проблем при русі по траєкторії.

Тепер познайомимося з мовою програмування RobotStudio: RAPID. Зайдіть у вкладку «Controller», в лівому меню виберіть послідовно «RAPID» → «T_ROB1» → «Module1» → «Path_10». Двічі клікнувши по останньому, отримаємо вид інтерфейсу, як на Рис. 6.

Програмний код можна зберегти: на вкладці «Controller» → «Program» → «Save Program As».

Можна одночасно і переглядати код, і симуляцію: кнопка «Start» на вкладці «Test and Debug» (Рис. 7). У тій же вкладці можна здійснювати покрокове симулювання (Step In – крок вперед, Step Out – крок назад). Змінювати сам код: наприклад, швидкість, скруглення та інше.


```

T_ROB1/Module1 X
13  CONST robtarget Target_100:=([-100.00003385,250,70],[0,-0.707
14  CONST robtarget Target_90:=([-100.00003385,451.061221582,70],
15  CONST robtarget Target_80:=([-176.437536721,451.061221582,70]
16  !
17  !
18  ! Module: Module1
19  !
20  ! Description:
21  !   <Insert description here>
22  !
23  ! Author: Filipp
24  !
25  ! Version: 1.0
26  !
27  ! *****
28  !
29  ! *****
30  !
31  !
32  ! Procedure main
33  !
34  !   This is the entry point of your program
35  !
36  ! *****
37  PROC main()
38  !Add your code here
39  ENDPROC
40  PROC Path_10()
41  MoveJ Target_10,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj0;
42  MoveJ Target_20,v1000,z10,MyTool\WObj:=Workobject_1;
43  MoveL Target_30,v1000,z10,MyTool\WObj:=Workobject_1;
44  MoveL Target_40,v1000,z10,MyTool\WObj:=Workobject_1;
45  MoveL Target_50,v1000,z10,MyTool\WObj:=Workobject_1;
46  MoveL Target_60,v1000,z10,MyTool\WObj:=Workobject_1;
47  MoveL Target_70,v1000,z10,MyTool\WObj:=Workobject_1;
48  MoveL Target_20,v1000,z10,MyTool\WObj:=Workobject_1;
49  ENDPROC
50  ENDMODULE

```

Рис. 6 Текст програми на мові RAPID

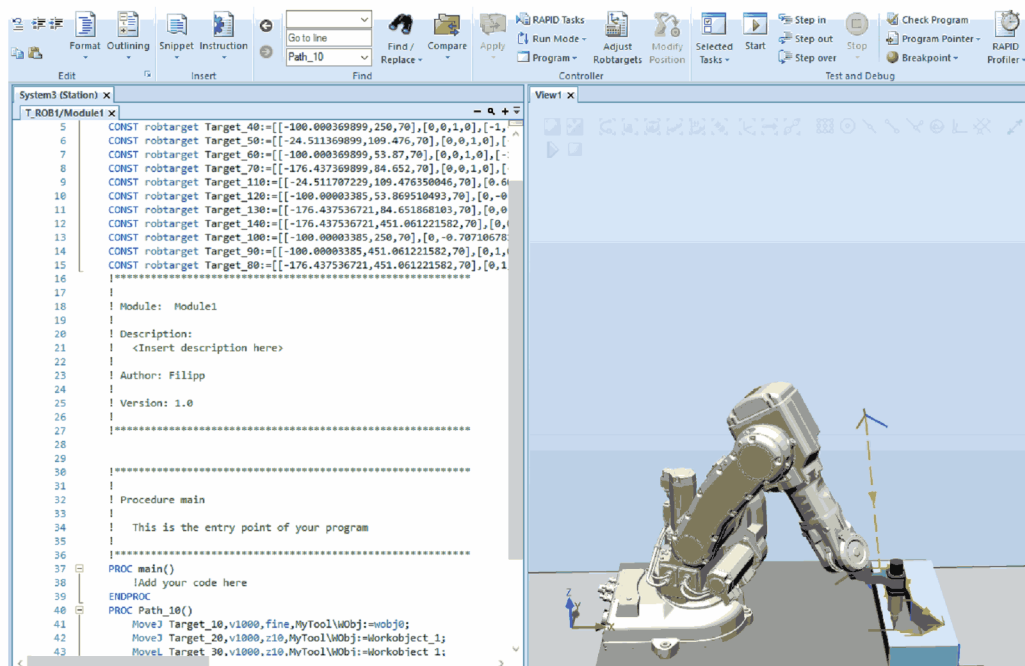


Рис. 7 Два вертикальних вікна

У вкладці «Simulation» можна переглядати скільки часу зайняла симуляція (Рис. 8).

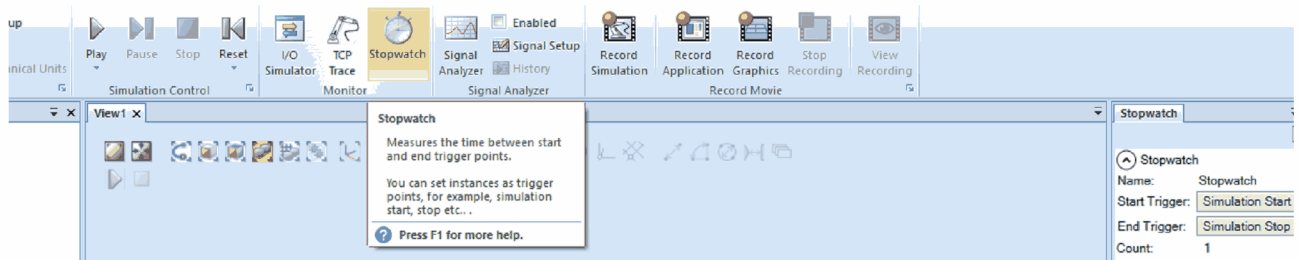


Рис. 8 Час симуляції

2. Створення захоплювача

Щоб створити і визначити механізм захоплювача, потрібні всі 3D частини, що утворюють захоплювач, з розширенням *.sat, створені у будь-якому програмному забезпеченні (CAD).

Як тільки всі ці 3D частини будуть створені, в спеціалізованому програмному середовищі (наприклад, SolidWorks, Kompas-3D і т.д.), вони можуть бути імпортовані в RobotStudio щоб зробити захоплювач і почати його визначення.

Першим кроком є створення нової порожньої станції. Після створення 3D частини інструменту будуть імпортовані один за одним (Рис. 9). Після того, як ми отримаємо доступ до папки "Geometry", слід вибрати частини, які призначені для захоплення.

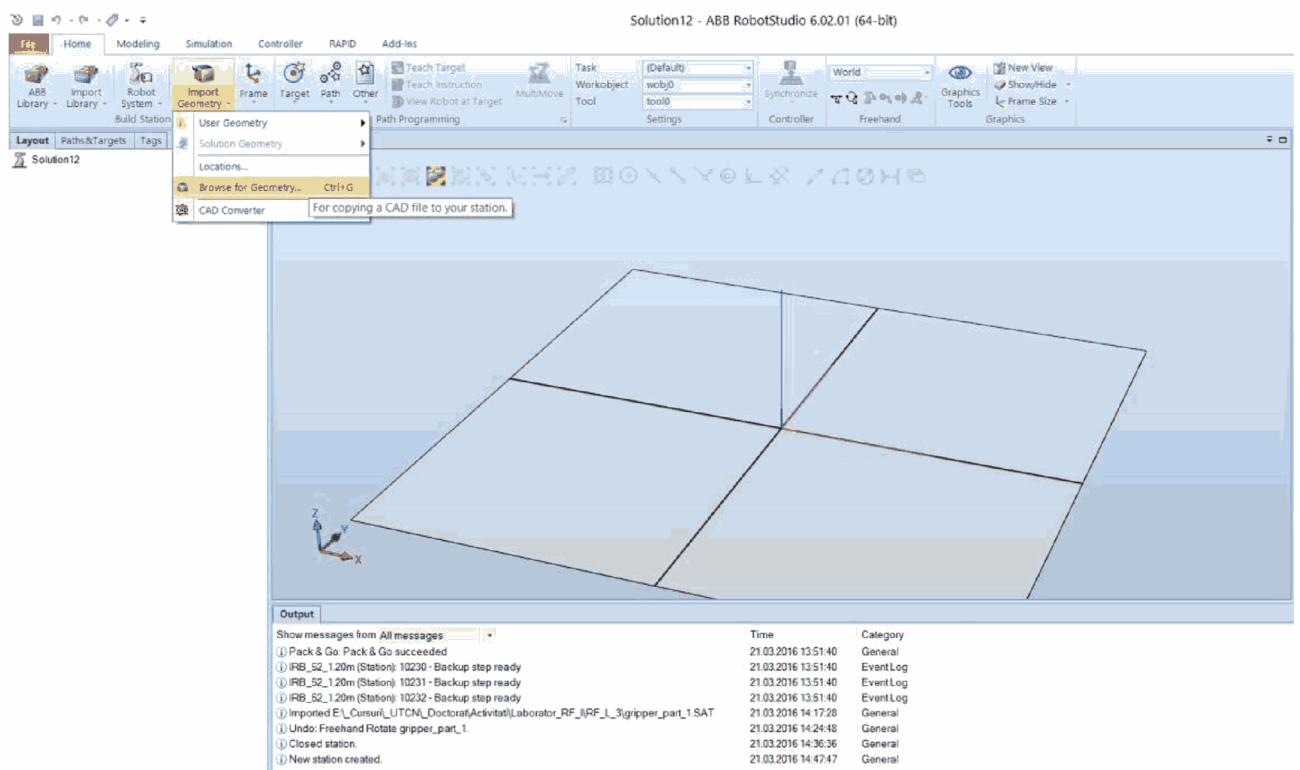


Рис. 9 Імпортування частини, що представляє основу захоплювача

Виберіть першу 3D частину, напр. gripper_part_1 з списку, і вона миттєво буде доступне меню Modify. 3D частина імпортується і відображається у робочому вікні, як на рисунку 10.

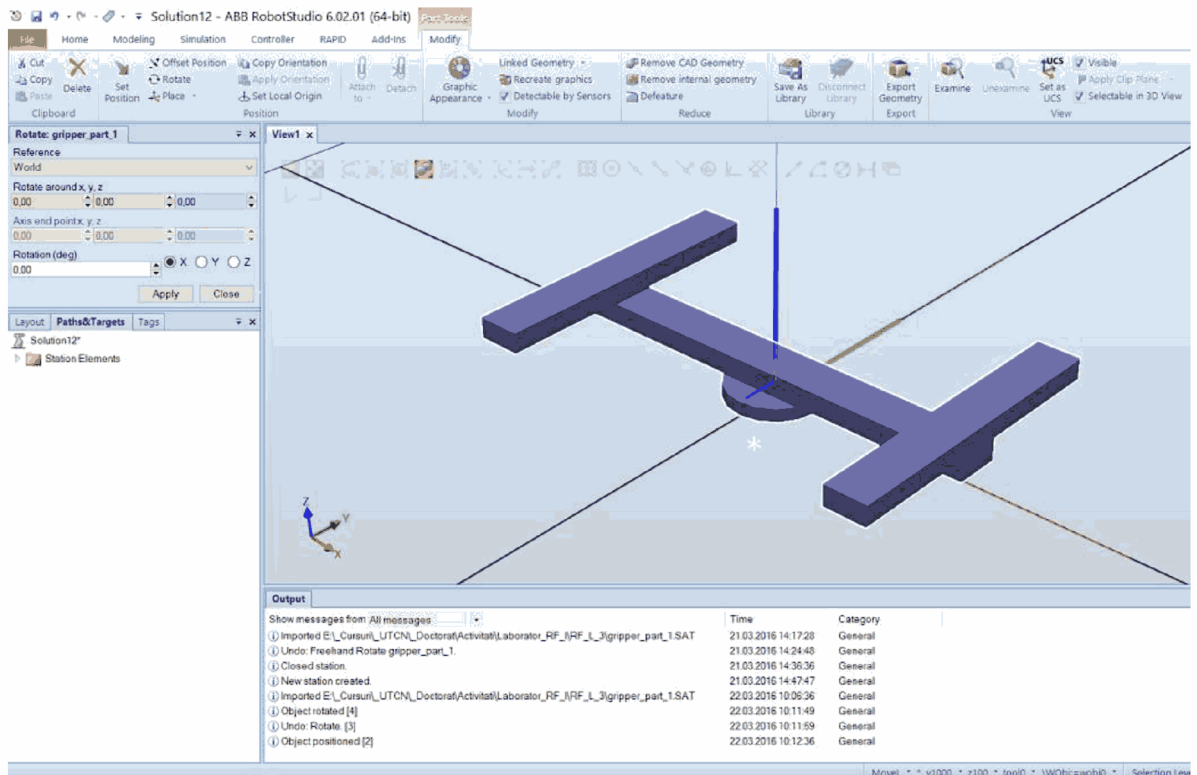


Рис. 10 Позиціонування частини захвата, що представляє собою основу

Після цього буде доступна опція обертання, а положення і орієнтація gripper_part_1 можуть бути змінені, і таким чином змінюється базове положення захоплення (для прикладу, встановити поворот на 90° відповідно до осі X і осі Z). УВАГА! Коли ви хочете зорієнтувати або зпозиціонувати основу захоплювача, це має бути зроблено відповідно до декартової системи координат. У цьому випадку зміни позиції та орієнтації виконуються відповідно до «World Frame System» (Рис. 11).

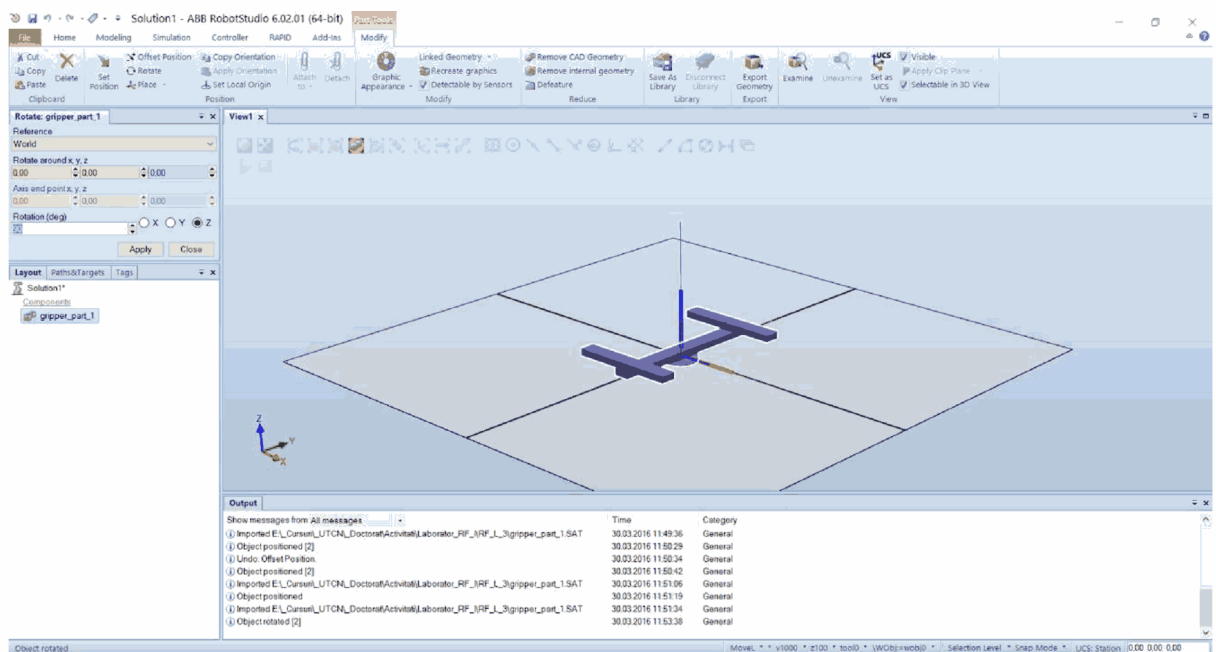


Рис. 11 Встановіть бажане положення основи захоплювача

Для зміни положення «Offset/Set Position» встановить 20 мм уздовж осі Z. Після досягнення потрібної позиції потрібно одноразово натиснути кнопку «Apply» і вікно може бути закрито. Крім того, з меню "Modify", з пункту "Set Local Origin", можна встановити початок основи захоплювача. Спочатку значення є тими, які ми використовували для встановлення бажаної позиції (Рис. 12).

Можна помітити, що положення основи захоплення не було змінено.

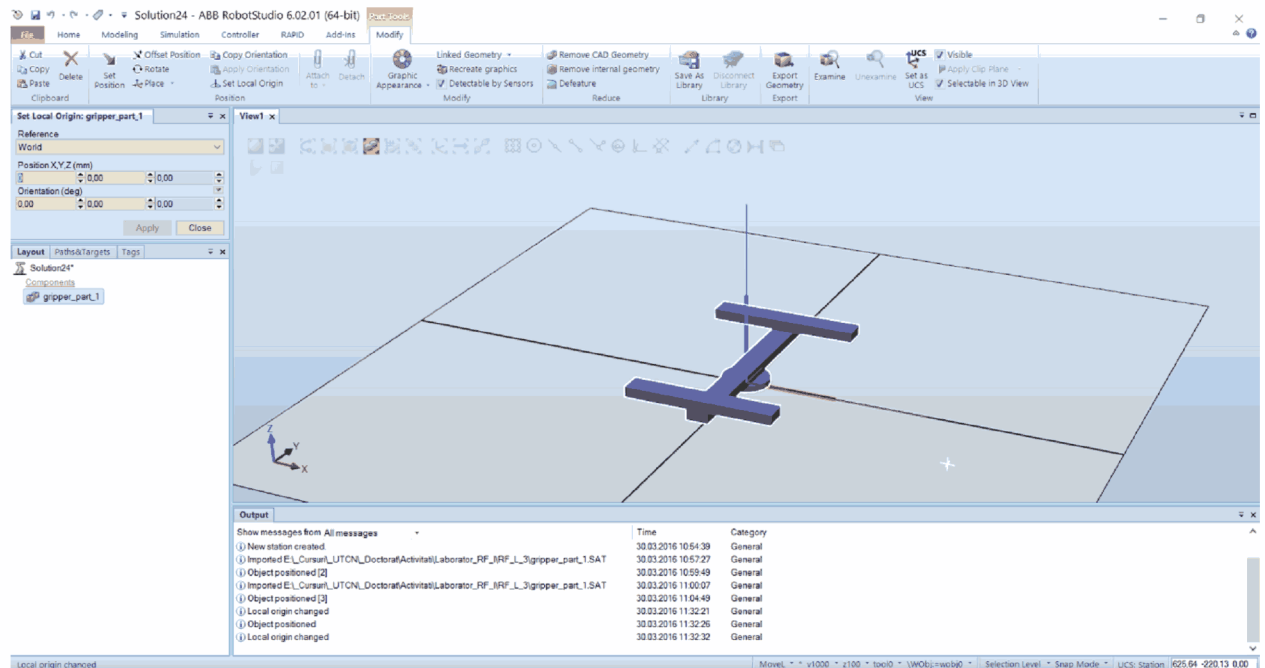


Рис. 12 Встановлення положення основи захоплювача

Наступний крок – імпортувати з меню «Browse for Geometry» «пальці» захоплювача (в даному випадку – 4 пальця). З меню «Modify» кожен палець повинен бути розміщений в кінці кожної планки, симетрично, як на рисунку 13.

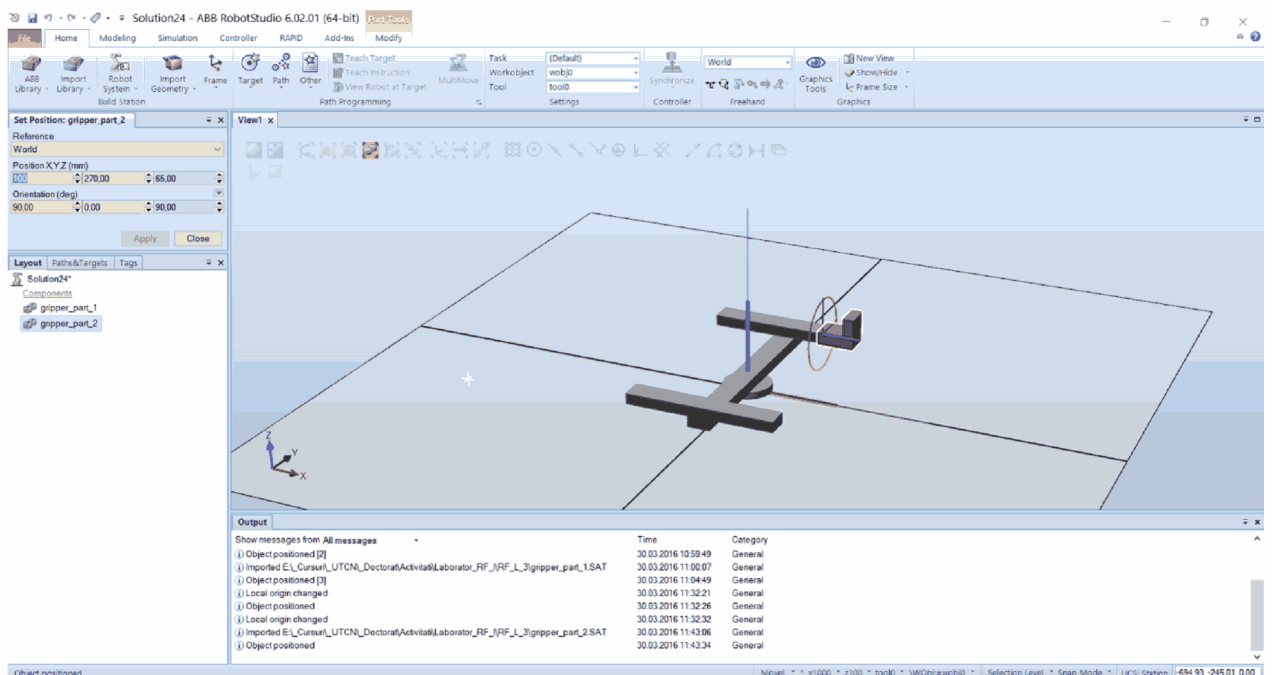


Рис. 13 Встановлення положення одного пальця

Можна використовувати наведені нижче значення для орієнтації і позиціонування чотирьох пальців захоплювача:

$T_x = 100, T_y = 270, T_z = 65; R_x = 90^\circ, R_y = 0^\circ, R_z = 90^\circ$

$T_x = -100, T_y = 270, T_z = 65; R_x = 90^\circ, R_y = 0^\circ, R_z = -90^\circ$

$T_x = 100, T_y = -270, T_z = 65; R_x = 90^\circ, R_y = 0^\circ, R_z = 90^\circ$

$T_x = -100, T_y = -270, T_z = 65; R_x = 90^\circ, R_y = 0^\circ, R_z = -90^\circ$

Результат використання цих значень можна побачити на рисунку 14.

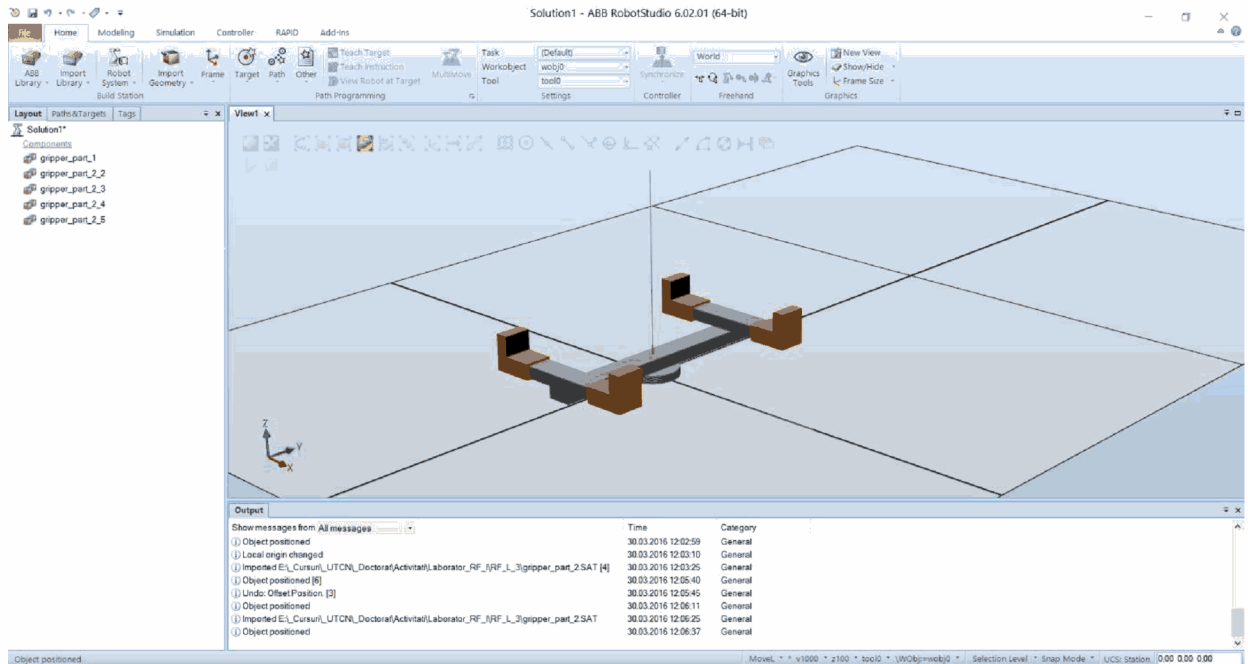


Рис. 14 Результат з використанням заданих значень для встановлення положення кожного пальця

Коли всі частини захоплювача знаходяться в потрібному положенні, для того, щоб захоплювач функціонував, необхідно створити механізм. Це робиться за допомогою меню «Modeling», опції «Create Mechanism» (Рис. 15).

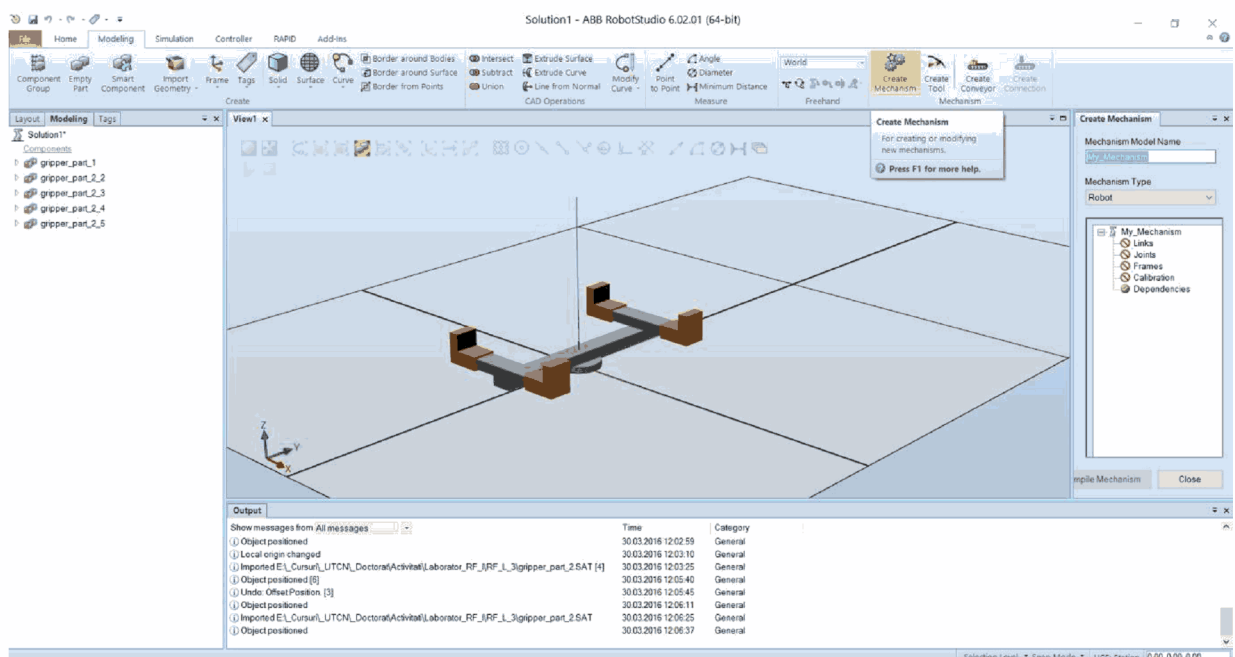


Рис. 15 Параметр "Create Mechanism"

Після натискання кнопки «Create Mechanism» з'явиться вікно. У цьому вікні ви повинні встановити назву механізму (має бути інтуїтивним: наприклад, `Welding_gun`), встановити тип механізму (`tool`, `conveyor` і т.д.), в цьому випадку буде механізм тип `Tool`. Наступні кроки полягають у створенні з'єднань між частинами, що рухаються, і для визначення захоплювача. Далі визначте кожну частину як посилання: натисніть правою кнопкою миші на «Links» і «Add Link».

Відкриється нове вікно (Рис. 16). У цьому вікні кожна частина (кожен палець) визначається як посилання. Назва посилання надається автоматично. Частина, яку потрібно визначити, повинна бути встановлена, а потім потрібно додати її до списку «Added Parts». Переконайтеся, що частина: «`gripper_part_1`» – «Set as BaseLink». Інші частини, як пальці, повинні бути визначені як «Link», а не як «BaseLink». Після визначення всіх частин закрийте вікно.

Create Link

Link Name

Selected Part

☒ Set as BaseLink

Added Parts

gripper_part_1

Remove Part

Selected Part
Part Position (mm)

Part Orientation (deg)

Apply to Part

Рис. 16 Встановлення посилання

Наступним кроком є створення «Joints» (Суглобів) між частинами, тому клацніть правою кнопкою миші на «Joints» і «Add Joint», і з'явиться вікно, як на рисунку 17. Ім'я дається автоматично. Тип з'єднання в цьому прикладі є призматичним для всіх з'єднань (будьте обережні, встановіть «Joint Type» як «Prismatic»), і всі з'єднання розташовані між основою і кожним «пальцем» (що змінюється кожного разу від «Child Link»).

Create Joint

Joint Name	Parent Link
J1	L1 (BaseLink) ▾
Joint Type	Child Link
☐ Rotational ☒ Prismatic	L2 ▾
	☒ Active
Joint Axis	
First Position (mm)	
0.00 ▴ ▾	0.00 ▴ ▾
Second Position (mm)	
100.00 ▴ ▾	0.00 ▴ ▾
Jog Axis	
0.00 ▴ ▾ 100.00 ▴ ▾	
Limit Type	
Constant ▾	
Joint Limits	
Min Limit (mm)	Max Limit (mm)
0.00 ▴ ▾	100.00 ▴ ▾

OK
Cancel
Apply

Рис. 17 Створення суглобів

Виходячи з наведеного прикладу, щодо призматичних з'єднань буде встановлена довжина зміщення призматичної ланки: для другої позиції на X (червона клітина) на значення 100 [мм]; «Joints Limits» (обмеження руху суглобів): «Min Limit» (мінімальне обмеження) буде 0, а «Max Limit» (максимальне обмеження) – 100. Єдине значення, яке змінюється для 4 суглобів – це друга позиція, яка становить 100 мм або -100 мм, і залежить від кожного з чотирьох пальців. Щоб перевірити, чи пальці рухаються в правильній і логічній позиціях, скористайтесь повзунком «Jog Axis» (Рис. 17).

Якщо все правильно, виходячи з логічної функції захоплення, натисніть «Apply» і автоматично перейдіть до наступного з'єднання. Після визначення всіх з'єднань натисніть кнопку «Cancel» і вікно закриється.

Після цього інструмент повинен бути визначений щоб точно встановити «Mass» (масу), «Center of Gravity» (центр тяжіння) та «Moments of Inertia»

(моменти інерції). Щоб встановити їх, клацніть правою кнопкою миші на «Tooldata» та «Add Tooldata». Відкриється вікно з рисунку 18. Значення, які необхідно встановити для нашого прикладу, представлені на рисунок 18. Переконайтеся, що ви встановили основу захоплювача в клітинці «Belongs to Link».

Create Tooldata

Tooldata name:

grip_1

Belongs to Link:

L1 (BaseLink)

Position (mm)

0.00

0.00

0.00

Orientation (deg)

0.00

0.00

0.00

☐ Select values from Target/Frame

<Select Frame>

Tooldata

Mass (kg)

20.33

Center of Gravity (mm)

0.00

28.13

0.00

Moment of Inertia Ix, Iy, Iz (kgm²)

0.17

1.15

1.03

OK

Cancel

Рис. 18. Визначення інструменту

Наступним кроком є створення залежностей між «links» зв'язками. Для цього натисніть правою кнопкою миші на «Dependencies» (Залежність) і «Add Dependency». З'явиться вікно з рисунку 19. Перша залежність знаходиться між J2 і J1 (LeadJoint), потім між J4 і J1 (LeadJoint) і нарешті між J3 і J1 (LeadJoint). У всіх випадках коефіцієнт 1. Після створення всіх цих залежностей натисніть кнопку «OK».

Create Dependency

Joint

J2

☒ Use LeadJoint and factor

LeadJoint

J1

Factor

1.00

☐ Use Formula

OK Cancel

Рис. 19 Створення залежностей

З правого боку екрану, зверніть увагу, що всі характеристики позначені зеленим кольором, виділені – синім кольором (Рис. 20). Наступний крок – складання механізму (рис. 20).

Після натискання кнопки «Compile Mechanism» з'явиться нове вікно. У цьому вікні, якщо в «Joint Mapping» значення є правильними, виберіть «Set». На позиціях встановіть положення пальців захоплювача і дайте їм конкретні назви. Щоб створити нову позицію натисніть кнопку «Add» (додати), щоб змінити одну позицію натисніть кнопку «Edit» (редагувати), а якщо ви хочете видалити позицію, натисніть кнопку «Remove» (видалити). Натисніть кнопку «Add» (додати) і створіть позицію «HomePose» і «Open» (див. Рис. 21 і Рис. 22).

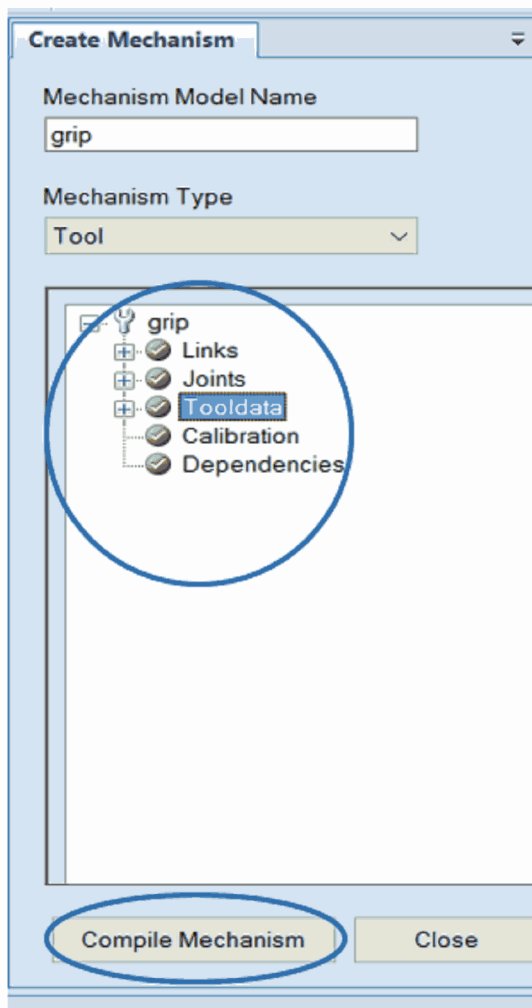


Рис. 20 Механізм компіляції

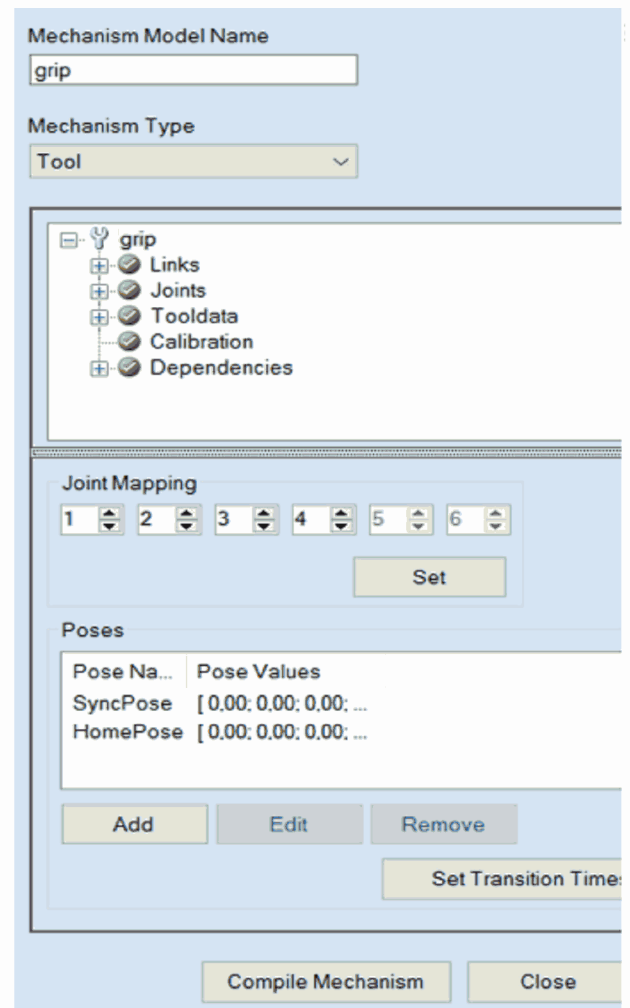


Рис. 21 Спільне відображення та позиціонування

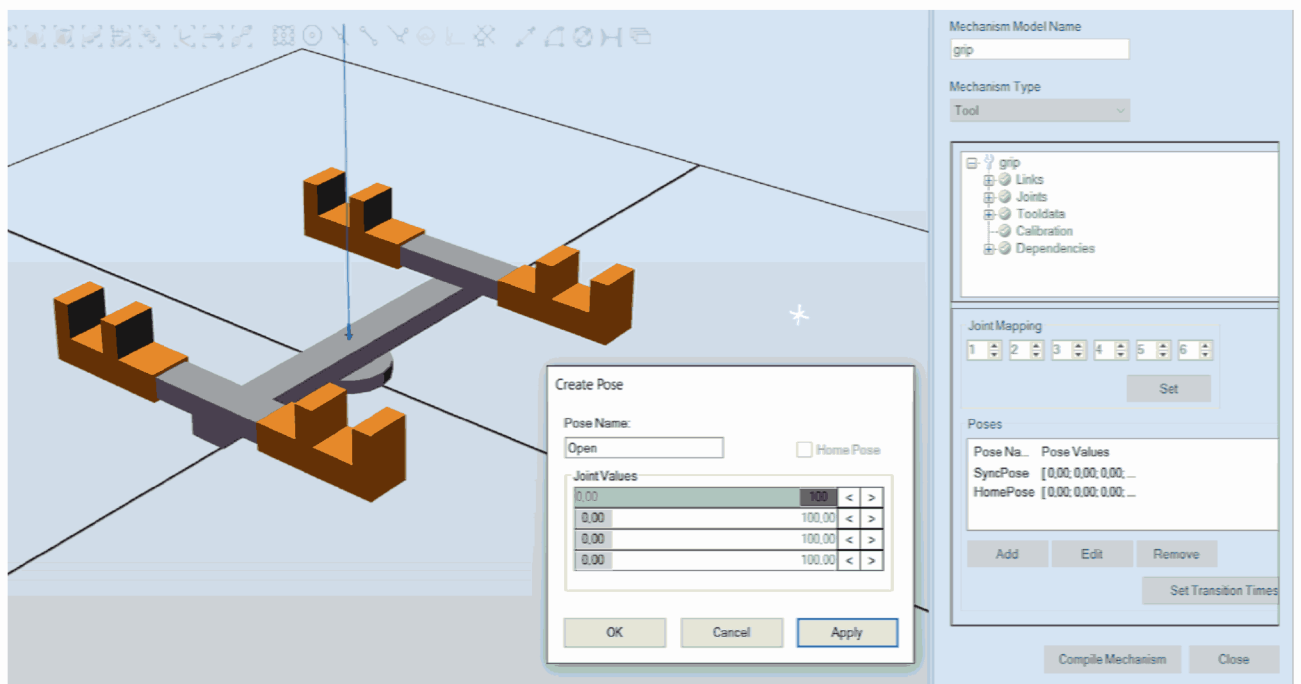


Рис. 22 Значення для відкритої позиції

Після того, як всі ці параметри будуть встановлені, натисніть на «Set Transition Times» і натисніть «ОК», а потім «Close». На лівій стороні вікна, на макеті, видно механізм, який був створений.

Натисніть правою кнопкою миші на назві механізму і встановіть механізм «Joint Jog». Далі, ковзаючи, пальці відкриваються, і якщо ви пересуваєте тільки перший, який відповідає першому з'єднанню, можна помітити, що всі пальці рухаються одночасно. Якщо захоплювач знаходиться у відкритому положенні, клацніть правою кнопкою миші на його назві та встановіть параметр «Jump Home».

3. Збереження механізму у бібліотеці RobotStudio

Наступний крок – дізнатися як зберегти механізм у бібліотеці RobotStudio. Для цього натисніть правою кнопкою миші на створеному механізмі, у лівому списку, знайденому на екрані, виберіть «Save As Library». Дайте йому ім'я та «Save» (збережіть) його. Щоб дізнатися чи було збережено механізм, «Import Library» (імпортуйте бібліотеку) з «User Library» (бібліотеки користувачів).

4. Визначення TCP (tool center point, точка центру інструменту)

Щоб встановити TCP інструменту (захоплювача), виконайте такі дії:

- натисніть кнопку «Create Target» (створити точку);
- виберіть верхню частину інструмента;
- натисніть «Create» (створити), а потім «Close» (закрити).

Якщо інструмент має механізм, подібний до того, який створений у вищезазначеному розділі, TCP повинен бути встановлений в центрі захоплення (між пальцями) в зоні, де може бути визначена базова точка. Щоб створити/визначити інструмент, виконайте такі дії: «Modeling» → «Create Tool». Обов'язково створіть інструмент, який складається з одного тіла. Якщо є будь-які інші частини, зробіть лише одну з опції «Union» з меню «Modeling». Після активації параметра «Create Tool» відкриється вікно з рисунку 23.

Крок 1: Напишіть назву інструмента.

Крок 2: У розділі «Select Part» Вибрати частину: «Use Existing».

Крок 3: «Center of Gravity» Центр мас вибирається за допомогою «Snap Center», потім натисніть «Next» (Далі).

Крок 4: Виберіть ім'я TCP (Рис. 24).

Крок 5: Виберіть TCP як «Target_10» (список макетів), а потім додайте його до TCP (s).

Крок 6: «Done» (виконано).

Create Tool



Tool Information (Step 1 of 2)

Enter name and select the part associated with your tool.

Tool Name:

MyTool

Select Part:

☒ Use Existing

☐ Use Dummy

Part_5

Mass (kg)

1.00

Center of Gravity (mm)

0.00

0.00

230.00

Moment of Inertia Ix, Iy, Iz (kgm²)

0.00

0.00

0.00

Help

Cancel

< Back

Next >

Рис. 23 Встановіть/визначте TCP

Create Tool



TCP Information (Step 2 of 2)

Name and position your TCP(s).

TCP Name:

MyToolTCP

Values from Target/Frame

DefaultTask/Target_10

Position (mm)

0.00

0.00

280.00

Orientation (deg)

0.00

0.00

0.00

TCP(s):

MyToolTCP

->

Delete

Edit

Help

Cancel

< Back

Done

Рис. 24 встановіть TCP – приєднайте Target_10

Збережіть інструмент: кладніть правою кнопкою миші на створеному механізмі, у списку ліворуч на екрані виберіть «Save As Library» (зберегти як бібліотеку). Дайте йому ім'я та збережіть. Щоб дізнатися, чи було збережено механізм, імпортуйте бібліотеку та бібліотеку користувачів. Якщо ви виконали

наведені раніше дії, інструмент повинен бути там. Щоб перевірити, чи добре визначений інструмент, імпортуйте робота ABB, приєднайте інструмент і виконайте дії, як в лабораторній роботі № 2.

5. Хід роботи

1. Ознайомитися з теоретичним матеріалом з програмування в середовищі RobotStudio.
2. Отримати індивідуальний варіант геометрії для імпортування в програмне середовище RobotStudio.
3. Створення робочої станції за власним варіантом (стіл, промисловий робот, інструмент, об'єкт).
4. Ознайомлення з мовою програмування RAPID.
5. Програмування робочої станції на виконання різки об'єкта за власним варіантом.
6. Створення та визначення механічного захоплювального пристрою для заданого варіанту об'єкта маніпулювання.
7. Перевірка роботи захоплювального пристрою в раніше створеній робочій станції.
8. Продемонструвати роботу захоплювального пристрою викладачу в програмному середовищі RobotStudio для власного варіанту робочої станції.
9. Після завершення виконання лабораторної роботи слід показати викладачу виконане завдання та оформити звіт.

6. Порядок оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

1. Тему і мету.
2. Теоретичні відомості.
3. Результати виконання індивідуального завдання та послідовна інструкція його виконання за допомогою збережених зображень екрану.
4. Висновки.

7. Контрольні запитання

1. В яку директорію потрібно помістити 3D модель геометрії для імпортування в програмне середовище?
2. Опишіть покроковий процес імпорту геометрії в RobotStudio.
3. Опишіть покроковий процес зміни позиції об'єктів в програмному середовищі.
4. Створення точок і траєкторії по контуру робочого об'єкта?
5. Яким чином вивести програму в друге вікно програмного середовища?
6. Як проходить позиціонування захоплювача на етапі його створення?

7. Задання положення пальців захоплювального пристрою.
8. Створення механізму та задання рухів кожного з пальців.
9. Як зберегти інструмент в бібліотеку RobotStudio?
10. Що таке TCP і як його задати для захоплювача?

Рекомендована література

1. International Federation of Robotics: ISO 8373 «Industrial robots - definition and classification»
https://ifr.org/img/office/Industrial_Robots_2016_Chapter_1_2.pdf
2. RobotStudio® Simulation of industrial automation processes and offline programming of ABBs robots - Practical guide for students - / Mocan B., Timoftei S., Stan A., Fulea M. // CLUJ-NAPOCA, 2017. – P. 140.
3. ABB, Technical reference manual RAPID Instructions, Functions and Data type, 3HAC 16581-1, 2017.
4. ABB, Operating Manual RoboStudio 6.05, 3HAC032104-001 Revision: T, 2017.
5. Energy efficiency analysis of the manipulation process by the industrial objects with the use of Bernoulli gripping devices / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, M. Mikhalishin // Journal of Electrical Engineering. – 2017. – № 68 (6). – P. 496 – 502. – DOI: 10.1515/jee-2017-0087.
6. Chatraei A. Optimal Control of Robot Manipulators. / A. Chatraei, D.M.I.V. ZAda. – 2011.
7. Siciliano B. Springer Handbook of Robotics / B. Siciliano, O. Khatib. – Berlin : Springer, 2008. – P. 1631.
8. Михайлишин Р. І. Optimization of bernoulli gripping device's orientation under the process of manipulations along direct trajectory / Р.І. Михайлишин, Я. І. Проць, В.Б. Савків // Вісник ТНТУ. – Тернопіль, 2016. – Том 81. – №1. – С. 107 – 117.
9. Orientation Modeling of Bernoulli Gripper Device with Off-Centered Masses of the Manipulating Object / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, O. Fendo, M. Mykhailyshyn // Procedia Engineering. – 2017. – №187, P. 264 – 271.
10. Justification of Design and Parameters of Bernoulli-Vacuum Gripping Device / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, O. Fendo // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2017. – № 14(6), DOI: 1729881417741740.
11. Experimental Research of the Manipulation Process by the Objects Using Bernoulli Greeting Devices / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, M. Mikhalishin, F. Duchon // In Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering, International IEEE Conference. – Lviv, 2017. – P. 8 – 11.
12. Механізація та автоматизація навантажувально-розвантажувальних робіт: Навчальний посібник, Ч.1: Транспортні та навантажувально-розвантажувальні засоби / За заг. ред. С.Л. Литвиненка .-К.: Кондор, 2016 .- 208 с.

13. Modeling of Bernoulli gripping device orientation when manipulating objects along the arc. / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, M. Mikhalishin, F. Duchon // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2018. – № 15(2), DOI: 1729881418762670.
14. Substantiation of Bernoulli Grippers Parameters at Non-Contact Transportation of Objects with a Displaced Center of Mass / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, P. Maruschak, O. Prentkovskis // 22nd International Scientific Conference Transport Means 2018. – Klaipeda, 2018. – P. 1370 – 1375.
15. Gasdynamic analysis of the Bernoulli grippers interaction with the surface of flat objects with displacement of the center of mass / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon // Vacuum. – 2019. – № 159, P. 524 – 533. – DOI: 10.1016/j.vacuum.2018.11.005.
16. Murray R.M. A mathematical introduction to robotic manipulation / R.M. Murray, Z. Li, S.S. Sastry // CRC press. – 1994. – P. 456.
17. Зенкевич С.Л. Основы управления манипуляционными роботами / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко // Основы управления манипуляционными роботами. 2-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 480 с.
18. Investigation of the energy consumption on performance of handling operations taking into account parameters of the grasping system / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, V. Koloskov, I. Diahovchenko // 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) – IEEE, 2018. – P. 295 – 300. – DOI: 10.1109/ieps.2018.8559586.
19. Analysis of frontal resistance force influence during manipulation of dimensional objects / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, V. Koloskov, I. Diahovchenko // 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) – IEEE, 2018. – P. 301 – 305. – DOI: 10.1109/ieps.2018.8559527.
20. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов / Ю. Г. Козырев. – Москва: КНОРУС, 2010. – 312 с.
21. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: навчальний посібник / Я.І. Проць – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, 2008. – 232 с.
22. Михайлишин Р.І. Обґрунтування параметрів та орієнтації струминного захоплювача маніпулятора для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.05 “Піднімально-транспортні машини” / Р.І. Михайлишин. – Тернопіль, 2018. – 21 с.
23. Михайлишин Р. І. Аналіз методів планування траєкторій маніпуляторів / Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» Луцький НТУ. – Луцьк, 2016. – №8 (1). – С. 61 – 69.
24. Justification of the object of manipulation parameters influence on the optimal orientation and lifting characteristics of Bernoulli gripping device / В.Б. Савків, Р.І. Михайлишин, Ф. Духон, М.С. Михайлишин // Вісник

Херсонського національного технічного університету. – Херсон, 2017. – № 2 (61). – С. 98 – 104.

25. The analysis of influence of a nozzle form of the Bernoulli gripping devices on its energy efficiency / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, F. Duchon, L. Chovanec // Proceedings of ICCPT 2019, May 28-29, 2019. – Tern.: TNTU, Scientific Publishing House “SciView”, 2019. – P. 66–74. – DOI: 10.5281/zenodo.3387275.

26. Justification of Influence of the Form of Nozzle and Active Surface of Bernoulli Gripping Devices on Its Operational Characteristics / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, F. Duchon // TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. – Springer, 2020. — P. 263–272. – DOI: 10.1007/978-3-030-38666-5_28.

27. Rogowsky coil applications for power measurement under non-sinusoidal field conditions / I. Diahovchenko, R. Mykhailyshyn, D. Danylchenko, S. Shevchenko // Energetika. – 2019. – 65(1), P. 14 – 20. – DOI: 10.6001/energetika.v65i1.3972.

28. Analysis of Operational Characteristics of Pneumatic Device of Industrial Robot for Gripping and Control of Parameters of Objects of Manipulation / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, F. Duchon, O. Prentkovskis, I. Diahovchenko // TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. – Springer, 2020. — P. 504–510. – DOI: 10.1007/978-3-030-38666-5_53.

29. Optimization of design parameters of Bernoulli gripper with an annular nozzle / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, L. Chovanec, E. Prada, I. Virgala, O. Prentkovskis // Transport Means - Proceedings of the International Conference. – 2019. – P. 423-428.

30. Control of a small quadrotor for swarm operation / A. Trizuljak, F. Duchoň, J. Rodina, A. Babinec, M. Dekan, R. Mykhailyshyn // Journal of Electrical Engineering. – 70(1). – 2019. – P. 3-15. – DOI: 10.2478/jee-2019-0001.

31. Protection of Digital Power Meters Under the Influence of Strong Magnetic Fields / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, I. Diahovchenko, R. Olsen, D. Danylchenko // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering UKRCON-2019 – IEEE, 2019. – P. 314 – 320. – DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879985.

32. Research of Energy Efficiency of Manipulation of Dimensional Objects With the Use of Pneumatic Gripping Devices / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, I. Diahovchenko, F. Duchon, R. Trembach // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering UKRCON-2019 – IEEE, 2019. – P. 527 – 532. – DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879957.