

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 № 8
«Розробка роботизованої лінії для
автоматизації вантажно-
розвантажувальних операцій в
програмному середовищі RobotStudio»
з курсу *“Гнучкі комп'ютеризовані системи та*
робототехніка”
для студентів спеціальності
151 *«Автоматизація та комп'ютерно-*
інтегровані технології»

Тернопіль
2019

«Розробка роботизованої лінії для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 8 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 № 8.....	5
Розробка роботизованої лінії для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій в програмному середовищі RobotStudio.....	5
1. Створення роботизованої станції для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій.....	5
2. Хід роботи.....	20
3. Порядок оформлення звіту	20
4. Контрольні запитання	21
Рекомендована література	21

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. Переконайтесь 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 самостійно 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 № 8. Розробка роботизованої лінії для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій в програмному середовищі RobotStudio

Мета роботи: отримання студентами навичок проектування, моделювання та програмування робототехнічних станцій для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій за допомогою RobotStudio.

1. Створення роботизованої станції для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій

У цій лабораторній роботі використовуємо всі раніше отримані знання, щоб отримати в результаті лінію, схожу на представлену на Рис. 1.

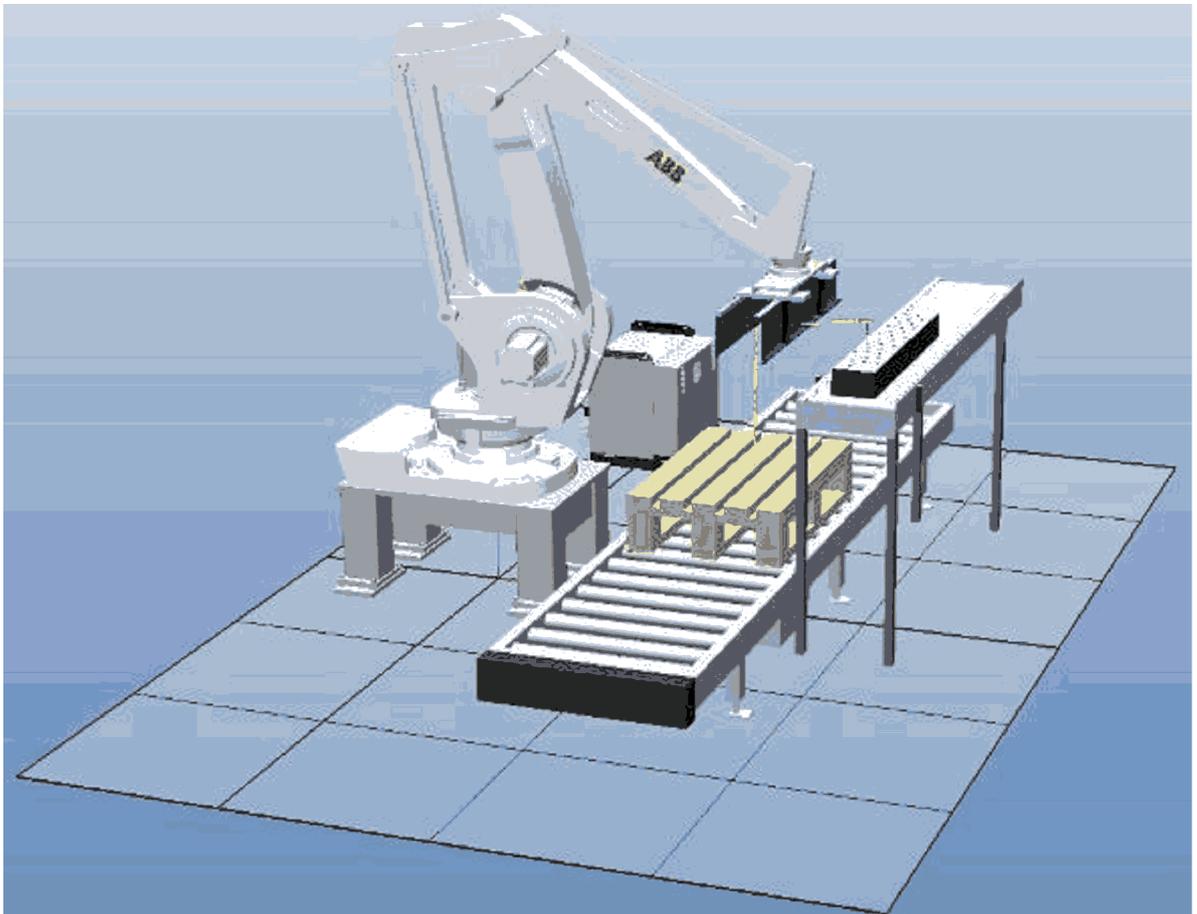


Рис. 1 Результат роботи

Створимо нове рішення. Додамо робота IRB 660. Потім з бібліотеки стандартного устаткування вибираємо конвеєр. Так само імпортуємо як елемент геометрії заздалегідь створений конвеєр.

Завантажимо стандартний бібліотечний файл контролера. Для цього натискаємо «Import Library» і вибираємо «IRC Control-Module» (Рис. 2).



Рис. 2 Загрузка элемента – контролера

Завантажимо основу для роботи. Потрібно розташувати його в просторі. Вибираємо його в меню «Layout» і в контекстному меню натискаємо «Set Position». У вікні, що з'явилося, вводимо наступні дані (Рис. 3).

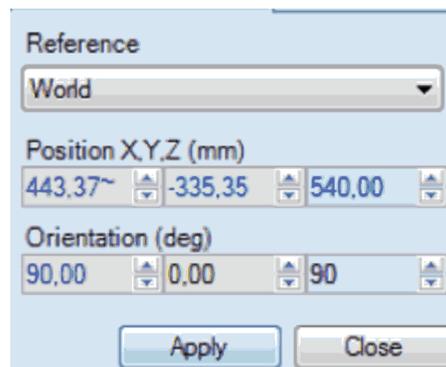


Рис. 3 Конфігурація основи

Тепер перемістимо маніпулятор і його систему координат. Для цього вибираємо в верхній частині вікна програми вкладку «Offline» і натискаємо кнопку «System Configuration» (Рис. 4).

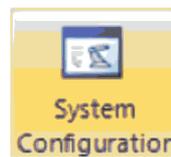


Рис. 4 Кнопка Конфігурація системи

У вікні, що з'явилося зліва, виділяємо вузол «ROB_1», а праворуч вводимо дані, як на Рис. 5.

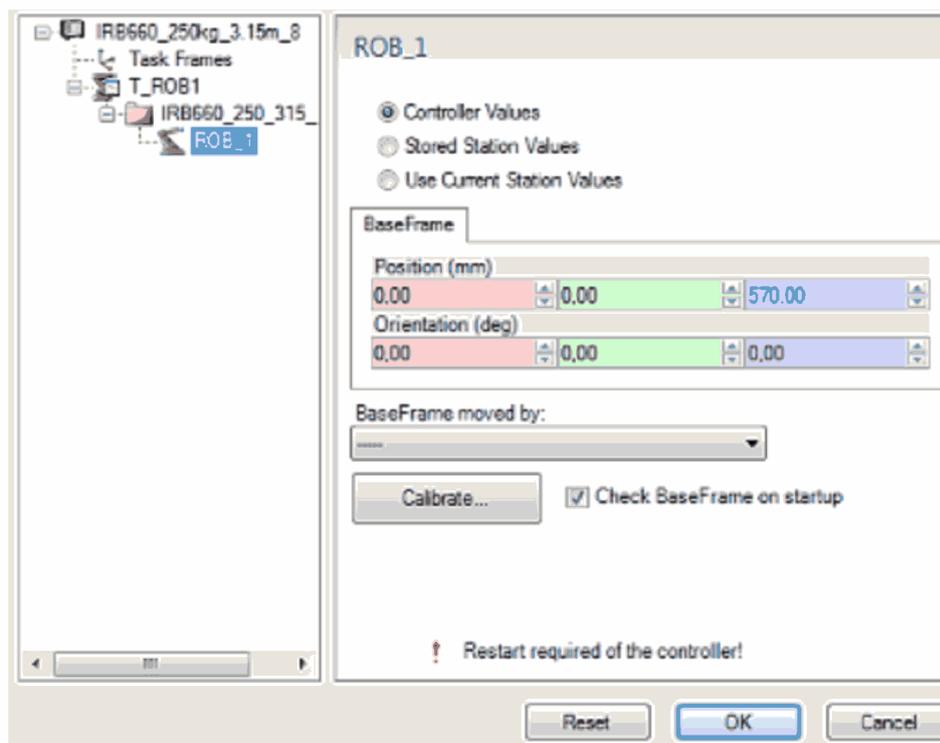


Рис. 5 Зсув системи координат маніпулятора

Натискаємо «ОК». З'являється вікно. Натискаємо «Yes».

Під час перезапуску контролера з'являється ще одне вікно. Натискаємо «Yes».

У графічній частині вікна бачимо, що маніпулятор перемістився на п'єдестал. Створимо об'єкт «вантаж». На вкладці «Modeling» в меню «Solid» вибираємо об'єкт «Box». Габаритні розміри: Length: 210, Width 1000, Height: 200. Вибираємо вузол «Вантаж» в меню «Layout», в контекстному меню вибираємо «Set Position». Вводимо дані, як на Рис. 6.

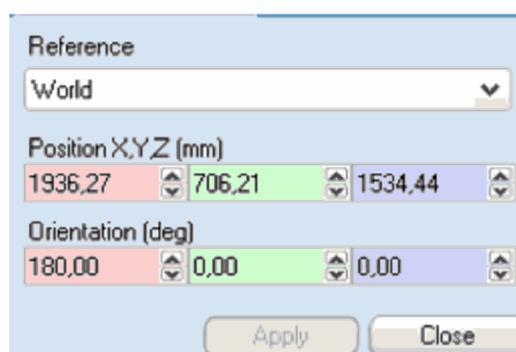


Рис. 6 Конфігурації вантажу

Натискаємо «Apply» і «Close». У графічній частині вікна бачимо, що вантаж перемістився на конвеєр.

Завантажуємо палет. Задаємо його позицію в просторі за допомогою опції «Set Position» (рис. 7).



Рис. 7 Конфігурація палети

Завантажуємо файли геометрії «tool_part1» і «tool_part2». Переміщаємо «tool_part2» за допомогою опції «Set Position» (Рис. 8).

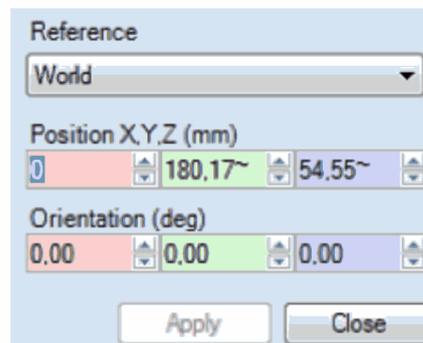


Рис. 8 Конфігурація tool_part2

У верхній частині вікна програми вибираємо вкладку «Modeling» і натискаємо кнопку «Create Mechanism». З'являється віконце. Вводимо дані, як на Рис. 9.

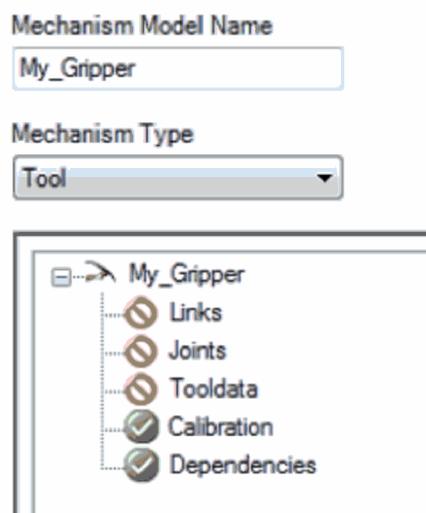


Рис. 9 Створення РО.

Виділяємо вузол «Links», в контекстному меню натискаємо «Add link». З'являється віконце, як на Рис. 10.

Link Name: L1

Selected Part: tool_part2

Set as BaseLink

Added Parts: tool_part1

Remove Part

Selected Part

Part Position (mm): 0.00 0.00 0.00

Part Orientation (deg): 0.00 0.00 0.00

Apply to Part

OK Cancel Apply

Рис. 10 Створення зв'язку

В полі «Selected Part» вибираємо «tool_part1», ставимо галочку навпроти «Set as BaseLink». Натискаємо кнопку зі стрілкою, після цього «tool_part1» з'являється в полі праворуч. Натискаємо «Apply». З'являється нове віконце створення ланки. У ньому вибираємо «Selected Part» – «tool_part2», натискаємо на кнопку зі стрілкою. Ланка «tool_part2» з'являється в правому полі. Натискаємо «OK». Вибираємо вузол «Joints». У контекстному меню тиснемо «Add Joint». У віконці, що з'явилося, вводимо дані, як на Рис. 11.

Joint Name: J1

Parent Link: L1 (BaseLink)

Joint Type: Rotational Prismatic

Child Link: L2

Active

Joint Axis

First Position (mm): 0.00 0.00 0.00

Second Position (mm): 1000.00 0.00 0.00

Jog Axis: -130.0 0.00 50.00

Limit Type: Constant

Joint Limits

Min Limit (mm): -130.00

Max Limit (mm): 50.00

OK Cancel Apply

Рис. 11 Створення зв'язків

Натискаємо «ОК». Вибираємо вузол «Tooldata», в контекстному меню натискаємо «Add tooldata». У вікні, що з'явилося, вводимо дані, як на Рис. 12.

The dialog box is titled 'Add tooldata' and contains the following fields and options:

- Tooldata name:** Text input field containing 'My_Gripper_1'.
- Belongs to Link:** Dropdown menu showing 'L1 (BaseLink)'.
- Position (mm):** Three spinners with values 178.00, 0.00, and 299.00.
- Orientation (deg):** Three spinners with values 0, 0.00, and 0.00.
- Select values from Target/Frame**
-
- Set as Kinematic BaseFrame**
- Tooldata** section:
 - Mass (kg):** Spinner with value 2.50.
 - Center of Gravity (mm):** Three spinners with values 0.00, 0.00, and 100.00.
 - Moment of Inertia I_x, I_y, I_z (kgm²):** Three spinners with values 0.00, 0.00, and 0.00.

At the bottom are two buttons: and .

Рис. 12 Налаштування інструменту

Натискаємо «ОК». Натискаємо кнопку «Compile Mechanism» в нижній частині вікна «Create Mechanism» (Рис. 13).

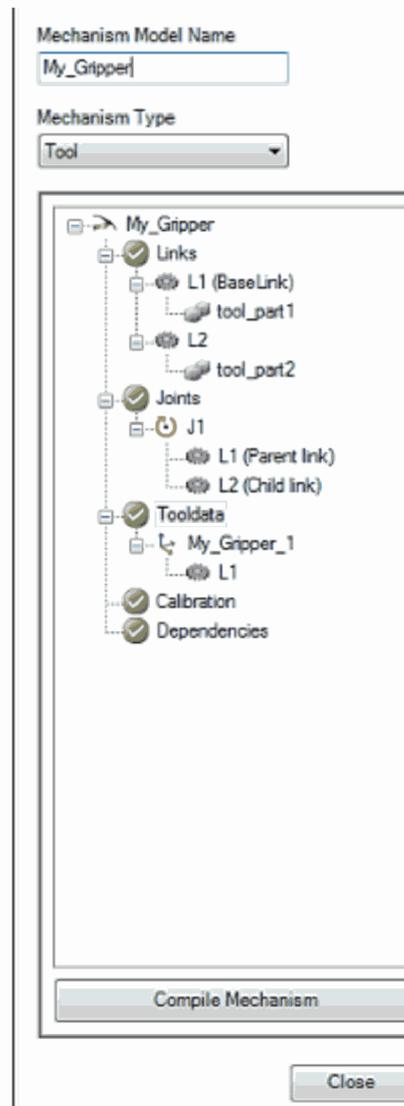


Рис. 13 Створення механізму

Під віконцем Poses натискаємо кнопку «Add». У вікні, що з'явилося, вводимо дані, як на Рис. 14а. Натискаємо «OK».



Рис. 14 Створення позиції механізму

Додамо ще одне положення (Рис. 14б). Натиснемо «OK». Натискаємо «Set Transmission Time».

Вводимо дані у віконці, що з'явилося, як на Рис. 15.

Transition Times (s)

To Pose: From Pose:

	SyncPose	Pose_Closed	HomePose
SyncPose	0.200	0.300	
Pose_Closed	0.200	0.100	
HomePose	0.300		

OK Cancel

Рис. 15 Налаштування часу транзакції

Натискаємо «ОК». У вікні «Create Mechanism» натискаємо «Close». У вікні, що з'явилося, тиснемо «Yes». Бачимо, що в меню «Layout» з'явився вузол «My Gripper». Прикріплюємо схват до робота.

Створимо «Workobject».

Повернемо станцію в графічному вікні так, щоб її конвеєр був орієнтований так же, як на Рис. 16.

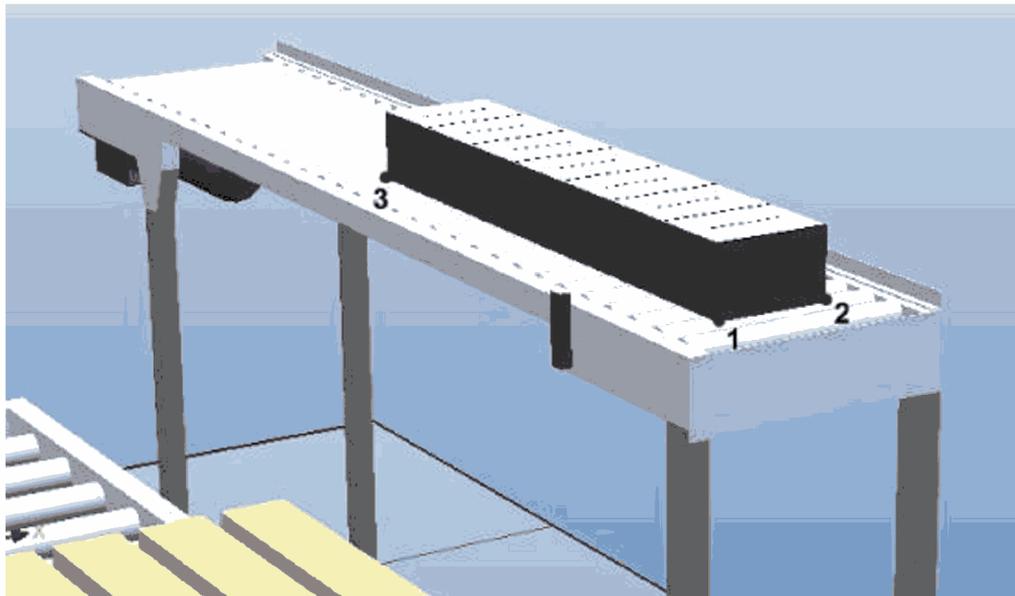


Рис. 17 Отримаємо вигляд

Включаємо прив'язку до кінцевих точок. Для цього натискаємо кнопку «Snap End» у верхній частині вікна. Далі в розділі «User Frame» у вікні «Create Workobject» вибираємо пункт «Frame by points» і натискаємо на стрілку праворуч від нього. З'явиться віконце введення координат (Рис. 18).

Position Three-point

First point on X axis (mm)

1935,23 -377,27 1320,60

Second point on X axis (mm)

1000 0,00 0,00

Point on Y axis (mm)

0,00 1000,00 0,00

Accept Cancel

Рис. 18 Координати «Workobject»

Вибираємо опцію «Three-point». Потім натискаємо в поле введення координат першої точки, за допомогою прив'язки наводимо курсор на точку 1 і натискаємо на ній. У полях, відповідних першій точці, з'являються значення координат. Аналогічно вводимо координати для другої і третьої точок. Натискаємо «Асепт». У вікні «Create WorkObject» натискаємо «Create». Аналогічно створюємо «WorkObject» з назвою «Wobj_pallet» на основі точок, показаних на Рис. 19.

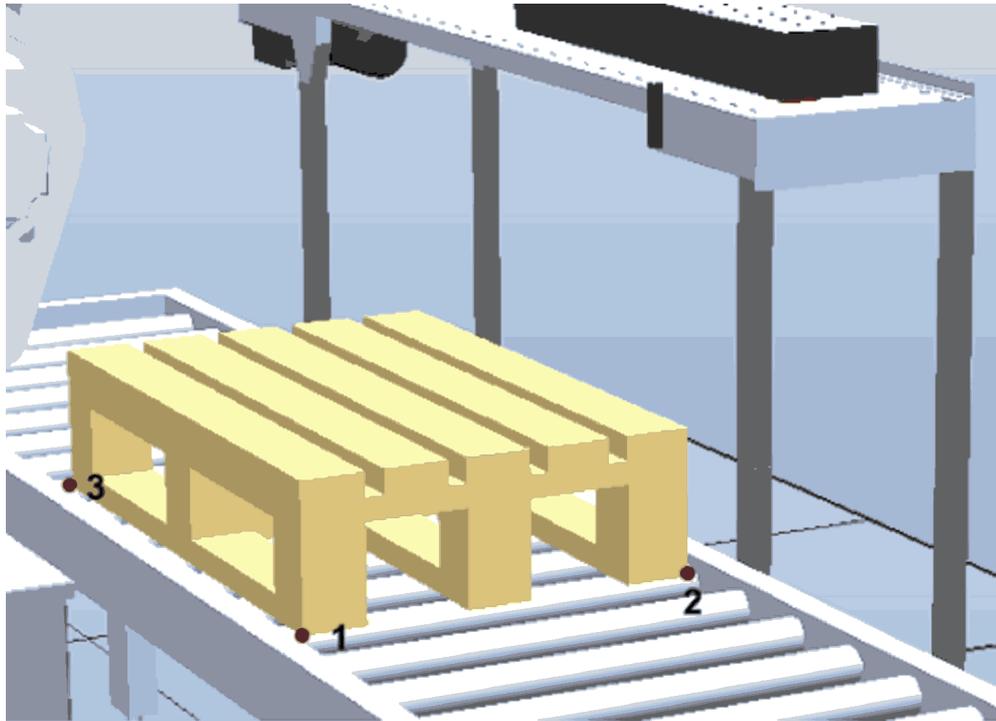


Рис. 19 Розміщення палети на конвеєрі

Тепер займемося створенням базових точок траєкторії. Точки будемо задавати шляхом введення їх координат, а також навчанням. Натиснемо кнопку «Create Target». З'являється вікно введення даних (рис. 20а). Заповнюємо графи «Position» і «Orientation», вибираємо «WorkObject» – Wobj_box. Натискаємо кнопку «Add», а потім «Create». Створимо ще одну базову точку з даними, як на Рис. 20б.

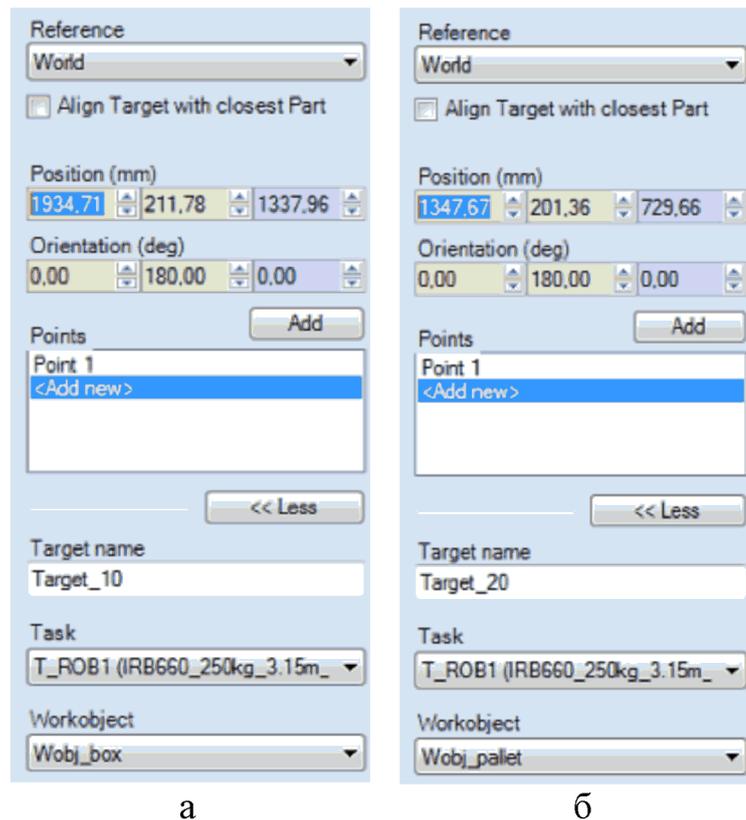


Рис. 5.20 Створення точок траєкторії

Тепер закриємо вікно «Create Target». Відкриємо меню «Paths & Targets». Точку, що належить «Wobj_box», перейменуємо в «take_box», а точку, яка належить «Wobj_pallet», – в «put_box». Виберемо точку «put_box» в меню «Paths & Targets». У контекстному меню натиснемо «Jump To Target». З'явиться вікно, в котрому вибираємо «Cfg1 (0,0,0,0)» і натискаємо «Apply». У графічному вікні бачимо, що маніпулятор перемістився в точку «put_box». Повторюємо все те ж саме для точки «take_box».

Тепер створимо пару точок зі зміщенням вгору щодо «take_box» і «put_box». Для цього скопіюємо точку «take_box», виділимо вузол «Wobj_box_of» і в контекстному меню виберемо пункт «Paste». З'явиться нова точка з назвою «take_box_2». Перейменуємо її в «take_box_offset». Виділимо точку «take_box_offset» і в контекстному меню виберемо пункт «Modify Target» → «Set Position». У віконці, що з'явилося, введемо дані, як на Рис. 21.

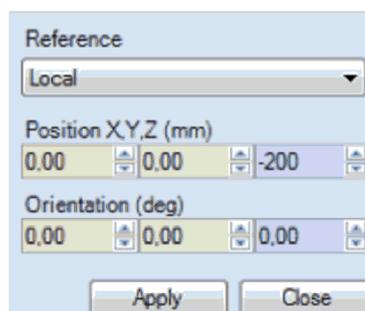


Рис. 21 Зміна позиції

Натискаємо «Apply». Аналогічно створимо «put_box_offset». Тепер додамо проміжну крапку між позиціями «put_box_offset» і «take_box_offset» з тим розрахунком, щоб маніпулятор не стикався з конвеєром. У цій же точці маніпулятор буде зупинятися в кінці траєкторії. На вкладці «Home» в розділі «Settings» поміняємо систему координат «Workobject» на «wobj0».

Виведемо маніпулятор в потрібну точку вручну. Потім натиснемо кнопку «Target» і виберемо пункт «Teach Target». Перейменуємо точку в «Home_position».

Створюємо траєкторію. Натискаємо кнопку «Empty Path». Додамо в траєкторію «Path_10» базові точки в послідовності, як на Рис. 22, і потім синхронізуємо.

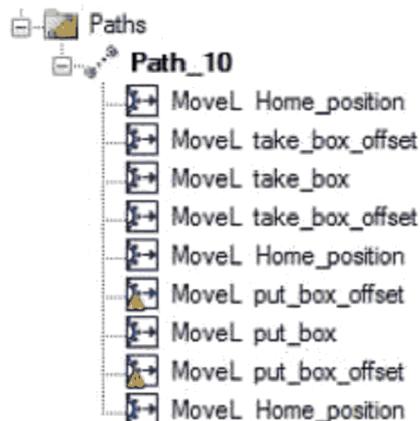


Рис. 22 Створення траєкторії

У вікні «Offline» виділяємо вузол «Module1» і натискаємо кнопку «Rapid Editor». Зробимо наступні зміни:

– для першої і останньої точок траєкторії замінимо команду «MoveL» на «MoveJ».

– в точках «take_box» і «put_box» замінимо z100 на «fine».

Натиснемо кнопку «Apply Changes». Закриємо поки що «Rapid Editor». Вибираємо вкладку «Simulation», натискаємо кнопку «Simulation Setup». Вибираємо траєкторію. Тепер програма, що керує рухом маніпулятора уздовж заданої траєкторії, створена. Промодельуйте рух.

Розглянемо новий функціонал: керування вхідними/вихідними цифровими сигналами.

За допомогою цифрових сигналів в даній лабораторній роботі ми будемо управляти станом захоплювального пристрою. Створимо 2 сигнали. Коли імпульс буде приходити на один із сигналів, схват буде відкриватися, коли на другий – закриватися. Відкриємо вкладку «Offline», в меню «Offline» виділимо вузол контролера. Натиснемо кнопку «Configuration Editor».

Виберемо пункт «I / O». З'являється вікно (Рис. 23), в ньому в колонці «Type name» вибираємо «Signal». Потім натискаємо правою кнопкою миші в правій частині вікна, в контекстному меню вибираємо «Add Signal».

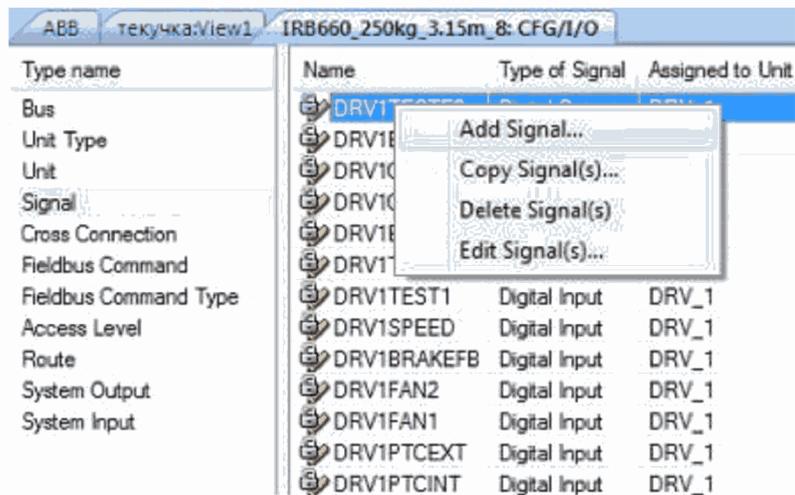


Рис. 23 Вибір сигналу

З'являється вікно «Edit Signal», що заповнюються, як на рис. 5.24. Натискаємо «OK». Аналогічно створюємо сигнал «doCloseGripper». Перезапускаємо контролер (Restart → Warmstart).

Пов'язуємо сигнал з подією (відкриття або закриття схвата). Відкриваємо вкладку «Simulation», натискаємо кнопку «Event Manager».

У віконці, що з'явилося, натискаємо кнопку «Add». З'являється вікно «Choose Trig Type and Activation». Нічого в ньому не змінюємо, натискаємо «Next».

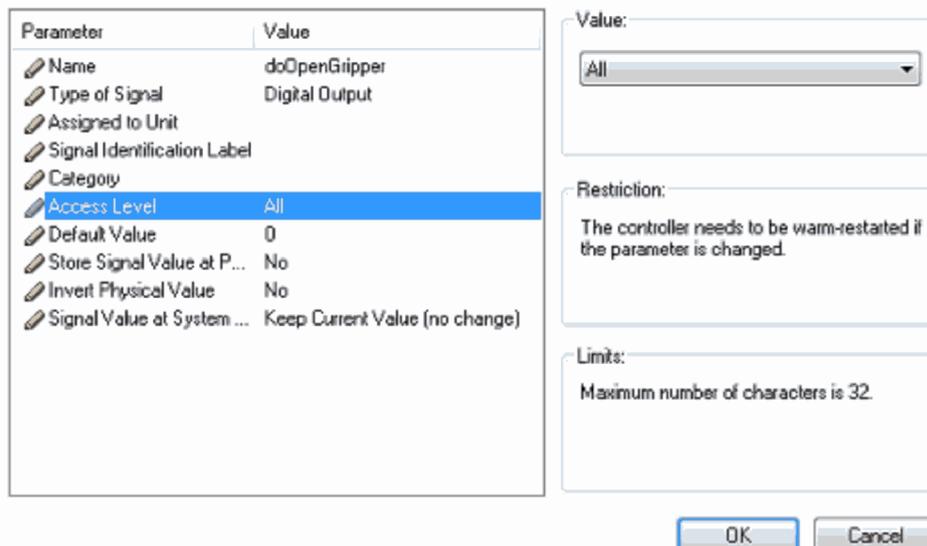


Рис. 24 Налаштування сигналу

У лівій частині вікна «I / O» – «Signal Trigger» вибираємо сигнал «doOpenGripper», перевіряємо, що в правій частині вікна точка стоїть навпроти пункту «Signal is true» ('1'). Натискаємо «Next».

У вікні «Choose Action Type» вибираємо пункт «Move Mechanism to Pose». Натискаємо «Next».

У вікні «Move Mechanism to Pose» вибираємо, як на Рис. 25.

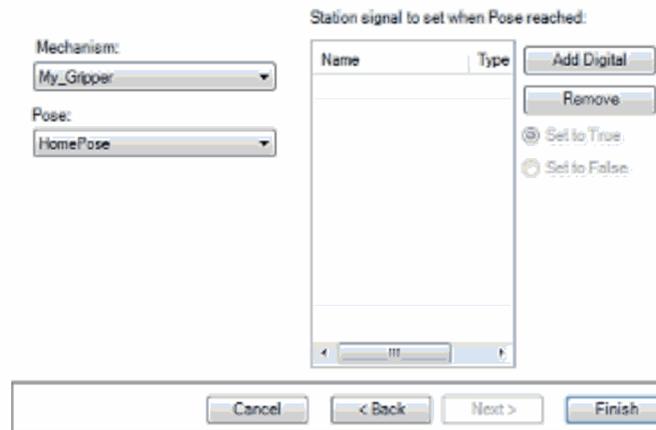


Рис. 25 Налаштування руху

Натискаємо «Finish». Повторюємо те ж для сигналу «doCloseGripper» з єдиною відмінністю: в останньому вікні обираємо не «Home Pose», а «Pose Closed». Вибираємо вкладку «Simulation», натискаємо кнопку «I / O Simulator». З'являється вікно, як на Рис. 26.

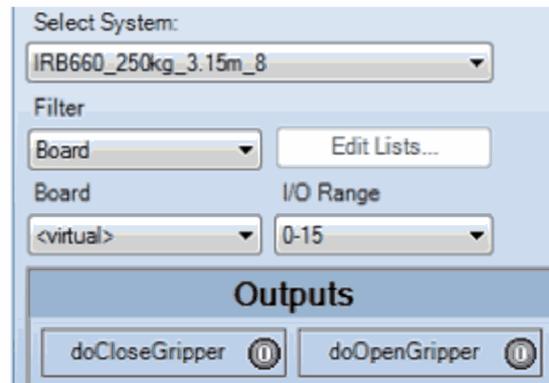


Рис. 26 Результат налаштування сигналів

Перевіримо роботу сигналів: при зміні «doCloseGripper» з «0» на «1» захоплювальний пристрій закривається, при зміні сигналу «doOpenGripper» з «0» на «1» захоплювальний пристрій відкривається.

Тепер необхідно створити візуалізацію захоплення вантажу для їх спільного переміщення по траєкторії. Для цього задаємо два керуючих сигнали: «Attach» (для прикріплення вантажу від схвата) і «Detach» (для відділення вантажу від схвата). Сигнали створимо в меню «Configuration Editor» аналогічно тому, як були створені сигнали «doCloseGripper» і «doOpenGripper». Заповнюємо таблицю наступним чином:

Name	Attach або Detach
Type of Signal	Digital Output
Access Level	All

Необхідно створити об'єкт, який буде знаходитися на захоплювачі і контактувати з вантажем (фізична інтерпретація: смужка з гуми для збільшення

коефіцієнта тертя між захоплювачем і вантажем). На вкладці «Modeling» в меню «Surface» вибираємо об'єкт «Surface Rectangle».

Монтажні розміри та орієнтації об'єкта вводимо, як показано на Рис. 27.

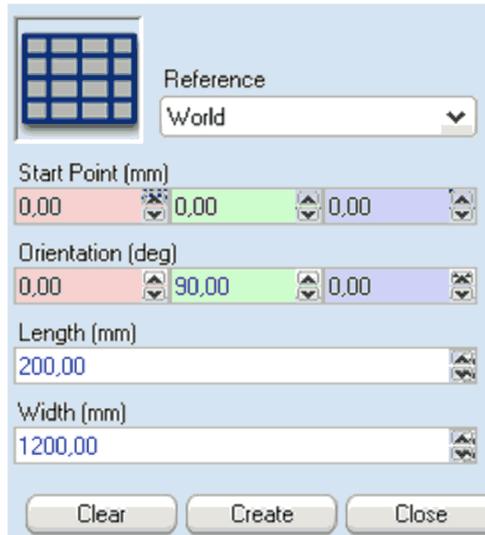


Рис. 27 Створення «смужки гуми»

Назвемо створений об'єкт «Attacher» і перемістимо його на захоплювальний пристрій. Встановимо робот в початкове положення, натиснувши «Jump Home». Зв'яжемо положення об'єкта «Attacher» і захоплювача. Вибираємо вузол «Attacher» в меню «Layout», в контекстному меню вибираємо «AttachTo – IRB_660». Встановимо положення об'єкта «Attacher». Вибираємо вузол «Attacher» в меню «Layout», в контекстному меню вибираємо «Set Position». Вводимо дані, як на Рис. 28.

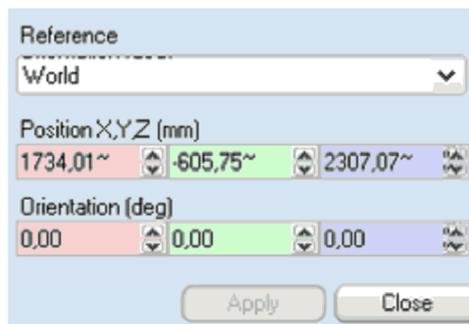


Рис. 28 Налаштування «Attacher»

Об'єкт переміщається на внутрішню поверхню нерухомої частини схвата. Пов'язуємо сигнал з подією. Відкриваємо вкладку «Simulation», натискаємо кнопку «Event Manager». У віконці, що з'явилося, натискаємо кнопку «Add». З'являється вікно «Choose Trig Type and Activation». Нічого в ньому не змінюємо, натискаємо «Next». У лівій частині вікна «I / O Signal Trigger» вибираємо сигнал «Attach», перевіряємо, що в правій частині вікна точка стоїть навпроти пункту «Signal is true» ('1'). Натискаємо «Next». У вікні «Choose Action Type» вибираємо пункт «Attach Object». Натискаємо «Next». Вибираємо об'єкт, який треба прикріпити, і об'єкт, до якого відбувається прикріплення

(Рис. 29).

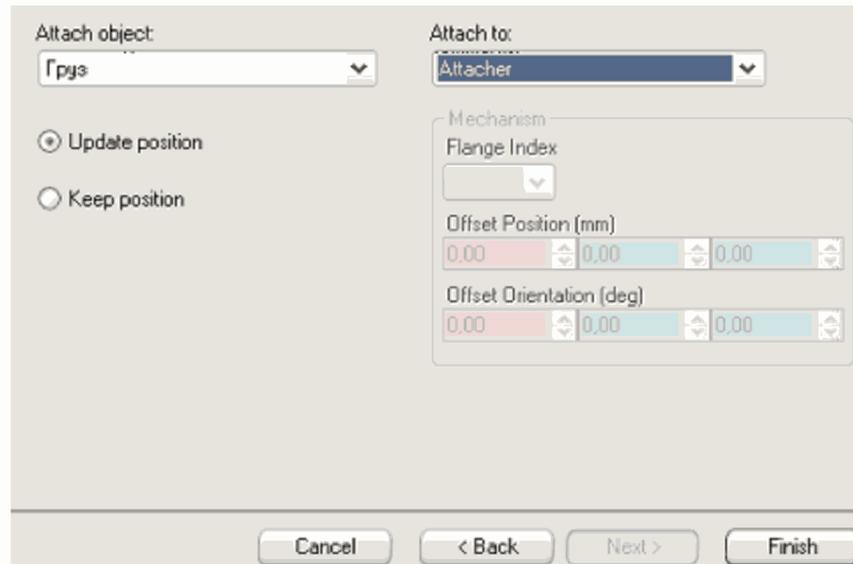


Рис. 29 Зв'язка вантажу і захоплювального пристрою

Ці дії повторюємо і для сигналу «Detach».

Вибираємо вкладку «Simulation», натискаємо кнопку «I / O Simulator». Крім сигналів «doCloseGripper» і «doOpenGripper» на ній з'являються сигнали «Attach» і «Detach». При натисканні на кнопку «Attach» вантаж прикріплюється до захоплювального пристрою. Тому при переміщенні маніпулятора функцією «Jog Joint» вантаж переміщається разом з ним. При натисканні на кнопку «Detach» вантаж відкріплюється від захватного пристрою. Тому при переміщенні маніпулятора функцією «Jog Joint» вантаж залишається в своєму колишньому положенні.

Відкріємо текст керуючої програми в «Rapid Editor». Змініть програму, щоб вона виглядала наступним чином:

PROC Path_10()

```

MoveJ Home_position,v1000,z100,My_Gripper_1\WObj:=wobj0;
MoveL take_box_offset,v1000,z100,My_Gripper_1\WObj:=Wobj_box;
MoveL take_box,v1000,fine,My_Gripper_1\WObj:=Wobj_box;
    PulseDO doCloseGripper;
    PulseDo Attach;
    WaitTime 0.5;
MoveL take_box_offset,v1000,z100,My_Gripper_1\WObj:=Wobj_box;
MoveL Home_position,v1000,z100,My_Gripper_1\WObj:=wobj0;
MoveL put_box_offset,v1000,z100,My_Gripper_1\WObj:=Wobj_pallet;
MoveL put_box,v1000,fine,My_Gripper_1\WObj:=Wobj_pallet;
    PulseDO doOpenGripper;
    PulseDo Detach;
    WaitTime 0.5;
MoveL put_box_offset,v1000,z100,My_Gripper_1\WObj:=Wobj_pallet;
MoveJ Home_position,v1000,z100,My_Gripper_1\WObj:=wobj0;

```

ENDPROC

```

PROC main()
  SetDO doOpenGripper,0;
  SetDO doCloseGripper,0;
  SetDo Attach, 0;
  SetDO Detach, 0;
  PulseDO doOpenGripper;
  Path_10;
ENDPROC

```

Додані команди мають таке призначення: «SetDO» – Встановлюємо значення сигналу, «PulseDO» – Подаємо імпульс, «WaitTime» – Затримка.

Натискаємо «Apply Changes» і закриваємо редактор. Моделюємо рух маніпулятора. Тепер захоплювальний пристрій закривається, коли потрібно взяти короб і відкривається, коли потрібно відпустити його. Зберігаємо станцію.

2. Хід роботи

1. Ознайомитися з теоретичним матеріалом з програмування в середовищі RobotStudio.
2. Отримати індивідуальний варіант (робототехнічної комірки) заготовки, додаткового обладнання, промислового робота та інструмента для виконання ним завдання в програмному середовищі RobotStudio.
3. Створити робочу станцію за власним варіантом.
4. Програмування промислового робота із захоплювачем на виконання вантажно-розвантажувальної операції над об'єктом.
5. Перевірити роботу робототехнічної комірки та симулювати її роботу.
6. Після завершення виконання лабораторної роботи слід показати викладачу виконане завдання та оформити звіт.

3. 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.

4. Контрольні запитання

1. Для чого необхідно імпортувати контролер в робочий простір робототехнічного комплексу?
2. Для чого використовується кнопка «System Configuration»?
3. Опишіть процес імпорту та коректування положення палети.
4. Опишіть процес створення нового механізму.
5. Для чого використовується вкладка «Compile Mechanism»?
6. Що таке «Transmission Time»?
7. Як змінити позицію точки траєкторії?
8. Для чого в вантажно-розвантажувальних операціях в першій і останній точці траєкторії використовується команда «MoveJ»?
9. Як додати сигнал в контролер?
10. Налаштування сигналу.
11. Як творити об'єкт, який буде контактувати з вантажем в захоплювачі?
12. Опишіть значення сигналів: «SetDO», «Pulse DO», «WaitTime».

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, ЗНАС 16581-1, 2017.
4. ABB, Operating Manual RoboStudio 6.05, ЗНАС032104-001 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. Mikhailishin // 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 Gripping 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.