

# МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛАЦИЯ НА ДВИЖЕНИЯТА НА КЛАС МАНИПУЛАЦИОННИ РОБОТИ И АНАЛИЗИРАНЕ НА ПОТРЕБИТЕЛСКИ СЦЕНАРИИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВАТА ИНДУСТРИЯ

**Николай Братованов, Владимир Заманов**

***Резюме:** В статията е описан подход за моделиране и симулация на движенията на клас манипулационни роботи, приложими в полупроводниковата индустрия, използвайки CAD пакета SolidWorks. Наличието на пълни 3D модели, симулирането на техните движения и създаването на връзка с управляващия софтуер на роботите дават възможност за извършване на подробни изследвания в геометричен, кинематичен и динамичен аспект. Описани са и методи за създаване на модифицирани 3D модели, подходящи за ефективно анализиране на потребителски сценарии.*

***Ключови думи:** 3D моделиране, манипулационни роботи, симулация на движения, връзка с управляващ софтуер, анализиране на потребителски сценарии*

## MODELING AND MOTION SIMULATION OF A CLASS MANIPULATING ROBOTS AND CUSTOMER LAYOUTS ANALYSIS FOR THE SEMICONDUCTOR INDUSTRY

**Nikolay Bratovanov, Vladimir Zamanov**

***Abstract:** The article describes an approach to modeling and motion simulation of wafer handling robots, applicable in the semiconductor automation. The motion analysis is based on already available SolidWorks models, which have been further modified to comply with the requirements of SolidWorks Motion Analysis package. In order to obtain realistic geometric, kinematic and dynamic characteristics, the simulation software has been connected to the native robot motion control software. In addition, the article addresses methods for creating modified 3D models suitable for effective analysis of customer layouts.*

***Keywords:** 3D modeling, motion simulation, manipulating robots, connection with motion control software, customer layouts analysis*

## 1. Въведение

Полупроводниковата индустрия използва специфичен клас манипулационни работи и роботизирани системи, работещи в чисти производствени среди [1]. Кинематиката на тези работи ги причислява към цилиндричните манипулатори със сгъваща се ръка [2]. Отличават се с ниско тегло, компактни размери, високо бързодействие и чистота. Най-често манипулираните обекти са силициеви пластини (wafers), които трябва да се транспортират бързо, точно и надеждно [3]. Тенденция в развитието на този клас работи е редуцирането на масата, увеличаване на товароносимостта и планирането на максимално ефективни движения, гарантиращи висока надеждност и производителност. САD пакетите и мултифункционалните 3D симулатори играят важна роля в изучаването на движенията на манипулационните работи и ефективното анализиране на изискванията на клиентите.

## 2. Основна цел и задачи на разработката

Моделирането на манипулационни работи в полупроводниковата индустрия (МРПИ) и симулацията на техните движения се използват предимно за целите на проектирането на механичната, задвижващата и управляващата система. Обикновено анализите на потребителските сценарии се извършват на геометрично ниво, посредством статични 2D или 3D модели, представени в множество конфигурации. Частично се отчитат ограниченията, наложени от конкретната потребителска задача.

Наличието на 3D модели на МРПИ, познаването на законите на техните движения и напредналите симулационни възможности на САD пакетите са предпоставка за разработването на методи, целящи по-ефективното изследване на МРПИ. На тази база потребителските нужди се анализират по-бързо и ефективно, допринасяйки за предлагането на продукти с функционални възможности, адекватни на пазарните изисквания.

*Основната цел на настоящата разработка е изграждане на подход за моделиране и симулация на движенията на МРПИ и анализиране на потребителски сценарии, използвайки САD пакета SolidWorks. За осъществяването ѝ се решават две основни задачи:*

- а) Моделиране и симулация на движенията на манипулационните работи за целите на проектирането и управлението.
- б) Високоэффективно анализиране на потребителски сценарии за роботизация с помощта на модифицирани 3D модели.

## 3. Моделиране и симулация на движенията на МРПИ за целите на проектирането и управлението

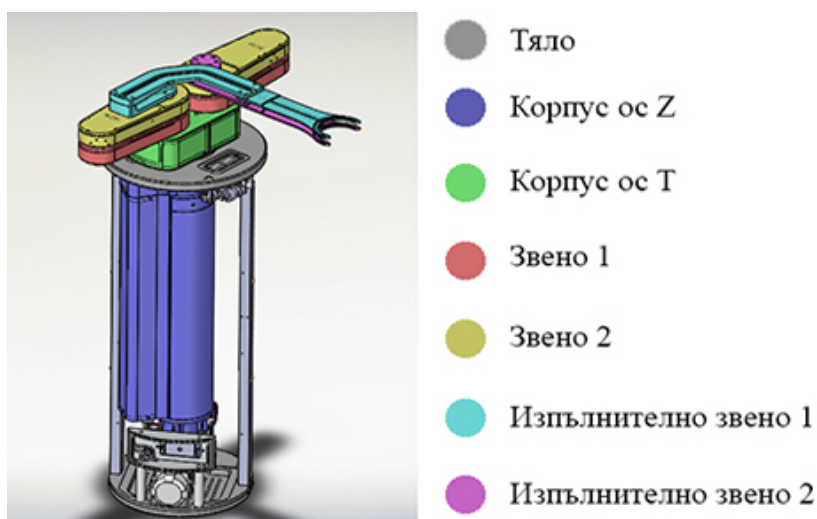
Понастоящем голяма част от съществуващите 3D модели на МРПИ не позволяват директно използване на симулационния модул SW Motion Analysis, поради наличието на следните ограничения:

- липса на подходящи връзки между отделните компоненти;
- наличие на „фиксирани“ компоненти;

Поради тази причина се налага анализиране и модифициране на всички елементи на моделите, последвани от изграждане на нови сглобени единици, подходящи за симулация. Основните стъпки на работа са описани по долу.

### **3.1. Анализ и модифициране на съществуващите 3D модели**

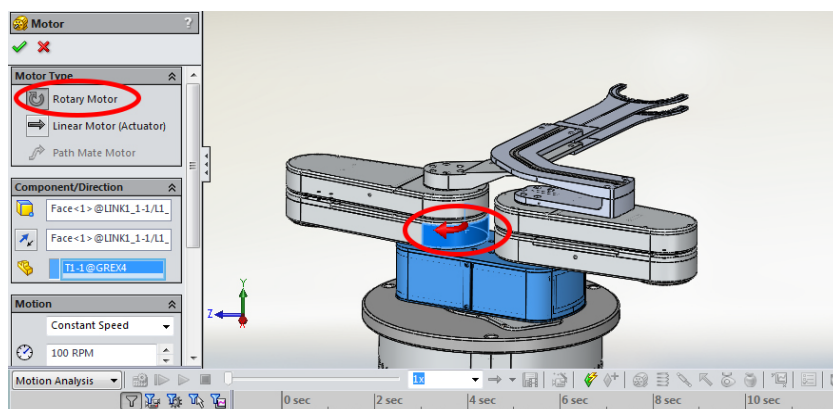
Първата стъпка от разработването на подхода за моделиране и симулация на движенията на *МРПИ* се състои в анализиране на съществуващите 3D модели: оси, кинематика, разположение на мотори и изследване на механиката на отделните елементи. Целта е разграничаване на подвижните детайли (фиг.1) и анализиране на съществуващите връзки между тях. Следва модифициране на сглобените единици на роботите, състоящо се в оформяне на единични 3D модели на вече анализирани подвижни елементи, необходими за последващото изграждане на „подвижни“ модели.



**Фиг.1.** Анализ и разграничаване на подвижните елементи на *МРПИ*.

### **3.2. Изграждане на 3D модели, пригодни за симулация в SW Motion Analysis**

Втората стъпка от разработването на подхода се състои в изграждане на „подвижни“ сглобени единици, съставени от единичните 3D модели на отделните компоненти. Те дават възможност за точно пресъздаване и симулиране на движенията на роботите, използвайки симулационния пакет SW Motion Analysis. Това се осъществява с помощта на подходящи връзки, създадени между отделните детайли. След изграждането на новите модели е необходимо извършването на подходящо позициониране на подвижните елементи на роботите, отговарящо на техните нулеви позиции в абсолютни координати. Работата завършва с добавяне на виртуални мотори (фиг.2), необходими за реализирането на движенията на *МРПИ*.



Фиг.2. Добавяне на виртуален мотор към едно от звената.

### 3.3. Задвижване на новоизградените 3D модели и създаване на връзка между управляващия софтуер и SW Motion Analysis

След въвеждането на моделите в SW Motion Analysis се задава конкретно движение към виртуалните мотори. То се осъществява чрез определяне на:

- постоянна скорост (Constant Speed);
- преместване (Distance);
- осцилиращо движение (Oscillating);
- движение, чрез таблично въвеждане на интервали (Segments);
- движение, чрез въвеждане на стойности по време (Data Points);
- движение, чрез въвеждане на функция (Expression);
- създаване на събития (Event-based Motion);

Различните методи се използват според конкретната ситуация. За целите на разработката се използва опцията 'Data Points', даваща възможност за въвеждане на външен текстови файл, съдържащ преместванията на виртуалните мотори за даден време-интервал. Тази функция дава възможност за създаване на връзка между управляващия софтуер на роботите и SW Motion Analysis. Задаването на движение се реализира чрез стартиране на управляващия софтуер и генериране на конкретен цикъл. Записването на конкретните премествания в текстови файл (.txt) се осъществява с помощта на специална модификация в управляващия софтуер. След подготвянето и въвеждането на отделен файл за всеки един виртуален мотор се преминава към пресмятане и визуализиране на движенията на манипулационните работи.

## 4. Анализирание на потребителски сценарии с помощта на модифицирани 3D модели на манипулационните работи

Втората основна задача на разработката се състои в създаване на модифицирани 3D модели, подходящи за ефективно анализирание на потребителски сценарии. Задачата е мотивирана от все по-високите изисквания на клиентите, свързани с предварителното извършване на подробни тестове и симулации, гарантиращи безпроблемно и ефективно функциониране на МРПИ, интегрирани в технологичните системи. Основните задачи се отнасят към:

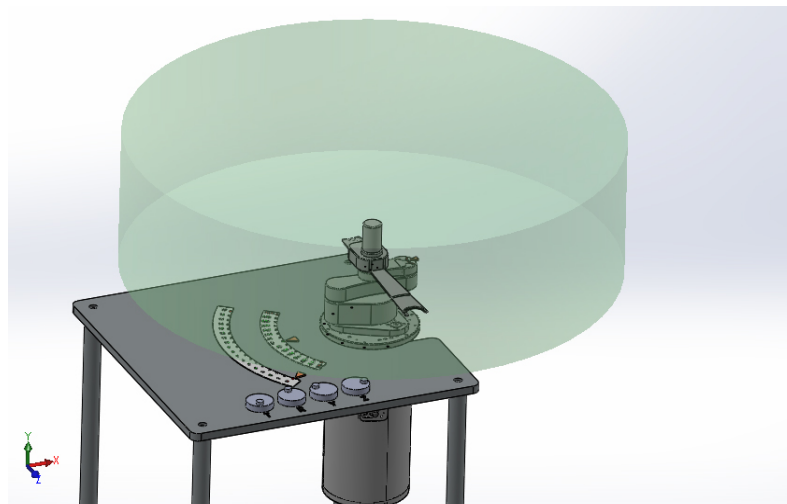
- достижимост на работа до всички важни точки от машините;
- съвместимост на работа с механичните ограничения на машините;

- симулирано движение на робота в индивидуалната сцена на машините;
- експериментално оценяване на производителността на системите;
- изпълнение на скриптове и макроси от високо ниво;
- тестване на комуникационния и командния интерфейс на системите;
- предварителни презентации;

Анализирането на потребителски сценарии чрез 2D модели не отчита всички ограничения. Липсата на симулационни възможности и трудното, понякога дори невъзможно осигуряване на 2D документация, са главните недостатъци на този подход. Наличието на 3D модели на машините и възможността за интегрирането им с 3D моделите на *МРПИ* е предпоставка за създаването на ефективна система, удовлетворяваща гореспоменатите изисквания, използвайки единствено САД пакета SolidWorks. За целта съществуващите модели на *МРПИ* трябва да бъдат модифицирани по подходящ начин. Това се налага поради липсващите в тях кинематични връзки, ограничения на движенията и други, полезни за приложението функции. Основните стъпки на работа са:

#### ***4.1. Създаване на модифицирани 3D модели, подходящи за анализиране на потребителски сценарии***

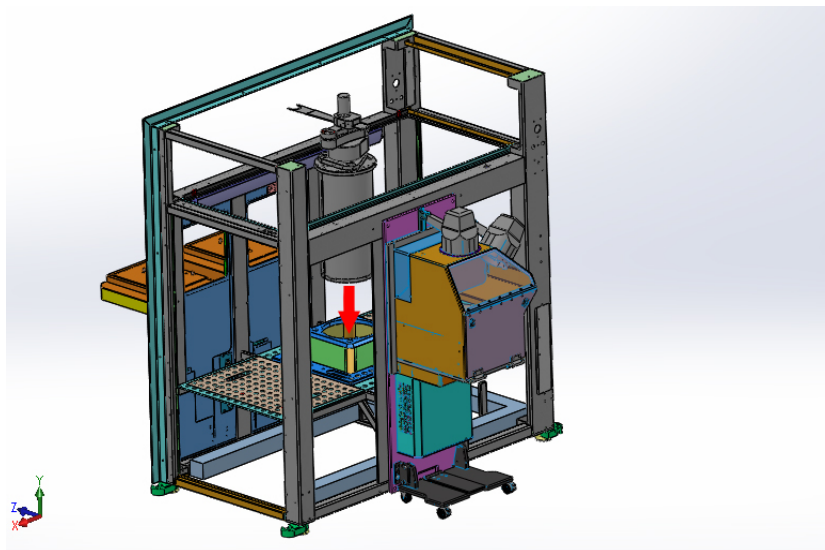
Първата стъпка се състои в създаване на модифицирани 3D модели на *МРПИ*. Започва се с въвеждане на основните компоненти на роботите в нова сглобена единица. За целта се използват опростени модели, осигуряващи информация, свързана единствено с външната геометрия на компонентите. Данни за масовите характеристики на детайлите или за вътрешната конструкция на механизмите не са от значение за конкретната задача. Отделните компоненти се свързват с помощта на подходящи връзки като се спазват съществуващите кинематични зависимости. След изграждането на моделите се задават реалните ограничения на движенията на роботите. Това се осъществява с помощта на специални връзки, дефиниращи границите на ротационните и транслационните движения. Добавят се индикатори, визуализиращи индивидуалните премествания на ставите. Обозначават се и конкретните работните зони (фиг.3).



**Фиг.3.** Работната зона на конкретен *МРПИ*.

#### 4.2. Интегриране на модифицираните 3D модели на манипулационните роботи с 3D модели на технологичните машини

Добавянето на новосъздадените 3D модели на манипулационните роботи към 3D моделите на технологичните машини се реализира чрез задаване на стандартни връзки. След правилното позициониране на роботите спрямо машините (фиг.4) се извършва проверка на всички движения и функции на манипулаторите, дефинирани в първата част на задачата.



**Фиг.4.** Интегриране на 3D модели на МРПМ и на технологична машина.

Добавят се референтни точки и отсечки, разположени на ключови места в технологичните машини. Анализират се различните конфигурации на ръката (ъгъл на сервиз), симулиране на движенията на изпълнителните звена по права линия, проверка на достижимостта и др.

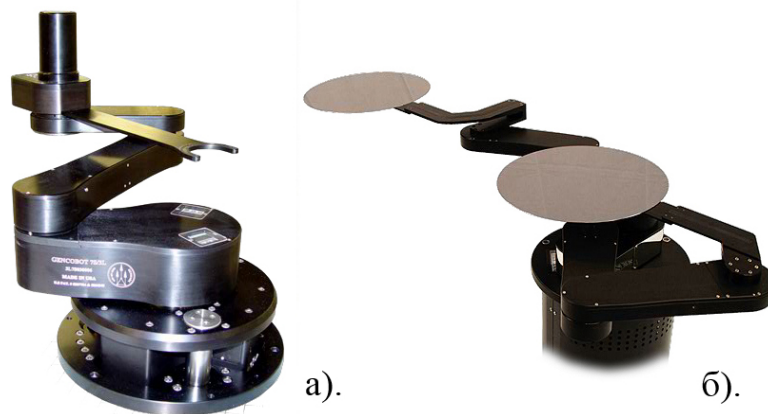
### 5. Анализ на резултатите

Описаният подход се прилага към конкретни манипулационни роботи предназначени за транспортиране на силициевы пластини с размер до 450мм [4], произведени от фирма Genmark Automation, Inc. Предоставени са 3D модели на роботи GB7 и G-Rex4, както и пълен 3D модел на технологична машина.

Роботът GB7 (фиг.5.а) е високоскоростен манипулационен робот с хибридна кинематична структура. Оригиналната GPR система позволява взаимодействие на робота с наклонени касети, носители и обработващи модули, както и компенсиране на еластичните деформации на изпълнителното звено при пренос на големи товари. Различните конфигурации на ръката на робота го адаптират към широка гама от касети и оборудване.

Роботът G-Rex4 (фиг.5.б) е двурък манипулационен робот с отворена кинематична структура. Прецизната изработка, опростеният дизайн и ниската му маса осигуряват високи скорости и ускорения, гарантиращи оптимална производителност и висока надеждност. Гъвкавостта на робота позволява бързо реконфигуриране с разнообразни инструменти и хващачи.





**Фиг.5.** Роботи GB7 (а) и G-Rex4 (б) (Genmark Automation, Inc.).

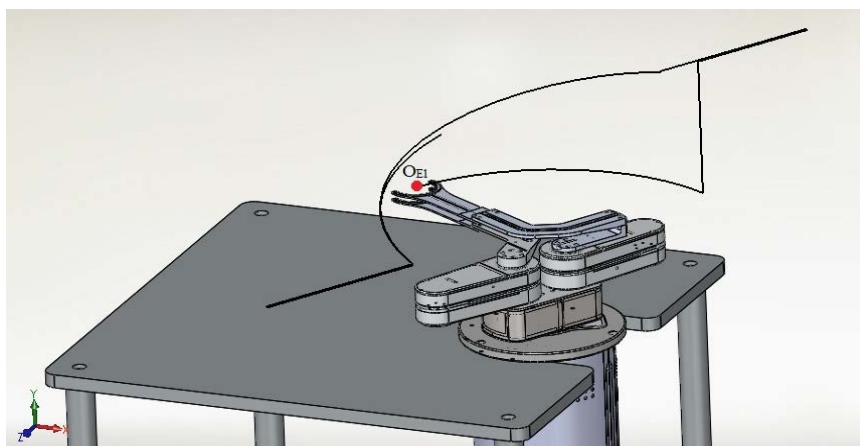
Осите на движение на двата манипуляционни робота са представени в Табл.1.

**Табл.1.** Движения на манипуляционни роботи GB7 и G-Rex4.

	Вид движение	Описание	GB7	G-Rex4
<b>T</b>	Ротационно	Ротация на ръцете около централната ос на робота	✓	✓
<b>R</b>	Линейно	Изпъване и свиване на първата ръка на робота	✓	✓
<b>R2</b>	Линейно	Изпъване и свиване на втората ръка на робота.		✓
<b>Z</b>	Линейно	Вертикално движение на платформата	✓	✓
<b>Z1</b>	Линейно	Коригиращо движение по ос Z1	✓	
<b>Z2</b>	Линейно	Коригиращо движение по ос Z2	✓	
<b>Z3</b>	Линейно	Коригиращо движение по ос Z3	✓	
<b>Y</b>	Ротационно	Ориентация на изпълнителното	✓	

### 5.1. Моделиране и симулация на движенията на G-Rex4

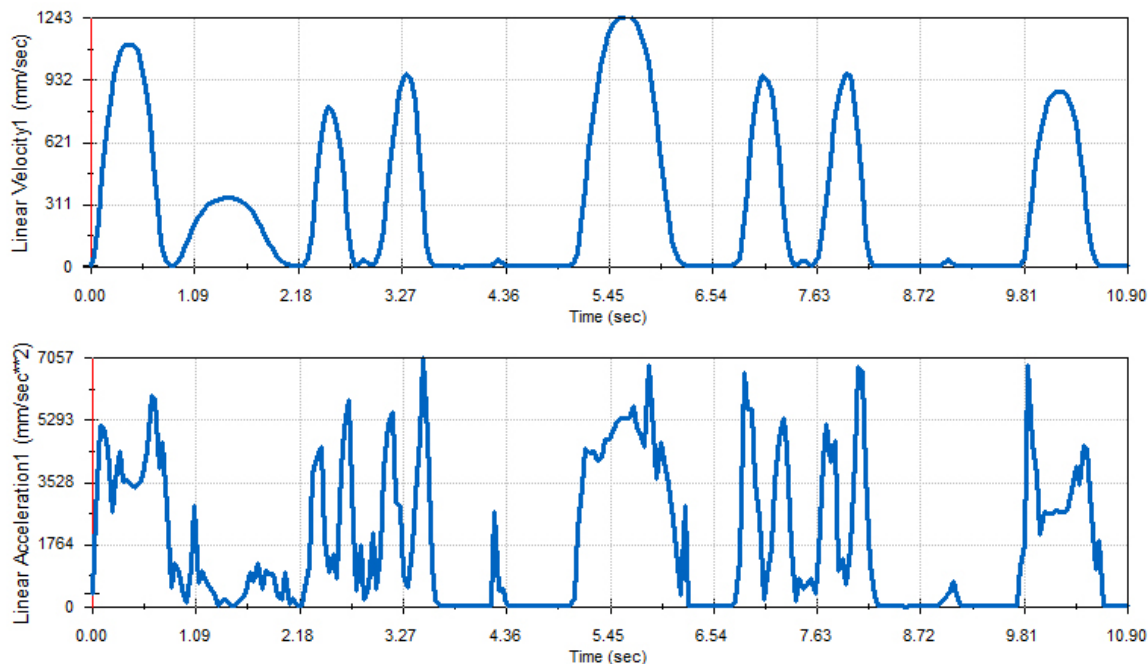
Прилагането на подхода, описан в т.3 към манипуляционен робот G-Rex4 дава широки възможности за изследване на неговите движения. SW Motion Analysis [5] предлага множество полезни функции като задълбочено анализиране на резултати, верифициране на движения, предотвратяване на колизии, структурни анализи с помоща на МКЕ, създаване на висококачествени анимации и други. За целите на разработката се генерира кратък цикъл, демонстриращ индивидуално движение по всички оси, както и едновременно движение по оси T и Z на манипуляционен робот G-Rex4 с траектория, показана на фиг.6. След записване на конкретното движение в текстови файлове и въвеждането му в SW



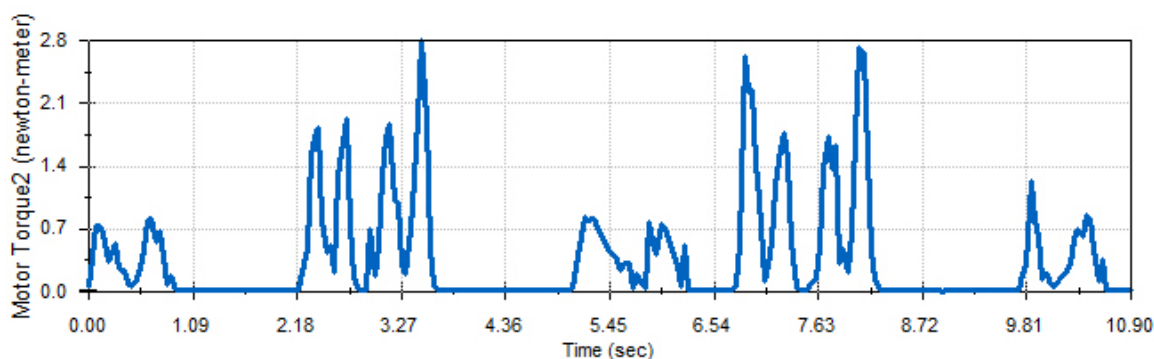
**Фиг.6.** Траектория на центъра на изпълнителното звено на ръка R.

Motion Analysis, с помощта на опцията 'Data Points', се преминава към изследване и анализиране на резултати. То се състои в изчертаване на графики, визуализиращи изменението на следните примерни величини:

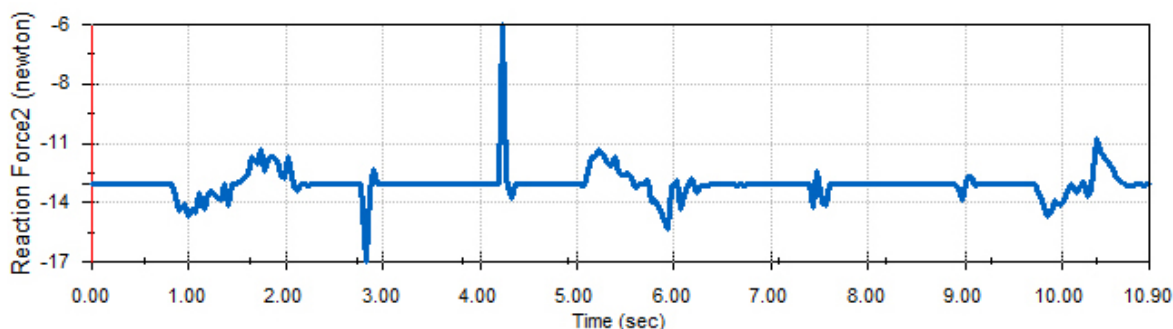
- големина на линейните скорост и ускорение на центъра на изпълнителното звено на ръка R (фиг.7);
- въртящ момент на двигател, задвижващ ръка R (фиг.8);
- големина на аксиалната реакционна сила в един от лагерите на първата ротационна връзка на ръка R (фиг.9);



**Фиг.7.** Големина на линейните скорост [mm/sec] и ускорение [mm/sec<sup>2</sup>] на центъра на изпълнителното звено на ръка R.



**Фиг.8.** Въртящ момент [Nm] на двигател, задвижващ ръка R.



**Фиг.9.** Реакция в един от лагерите на първата става на ръка R.

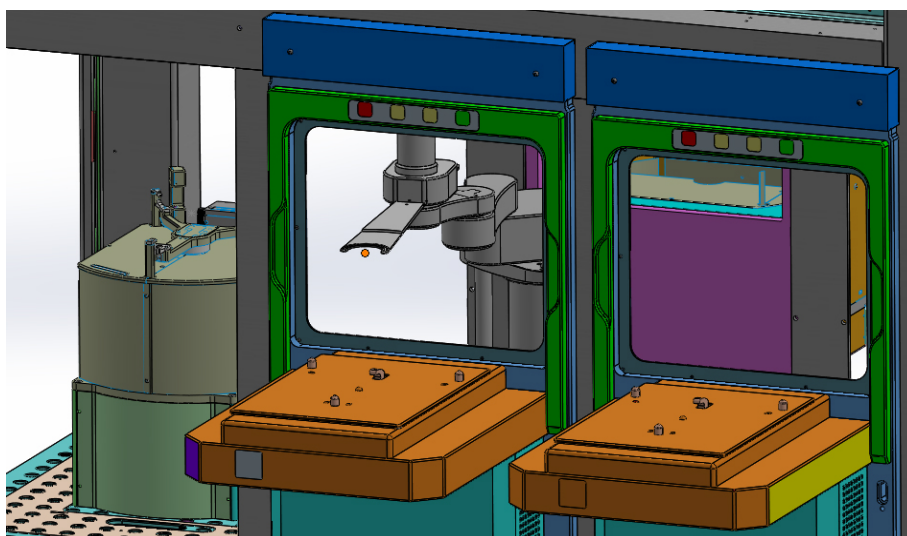


Изследването и анализирането на резултати с помощта на SW Motion Analysis целят точния избор на двигатели и тяхното управление, определянето на вида и товароносимостта на съответните лагери, оразмеряването на ключови елементи от конструкцията и управлението.

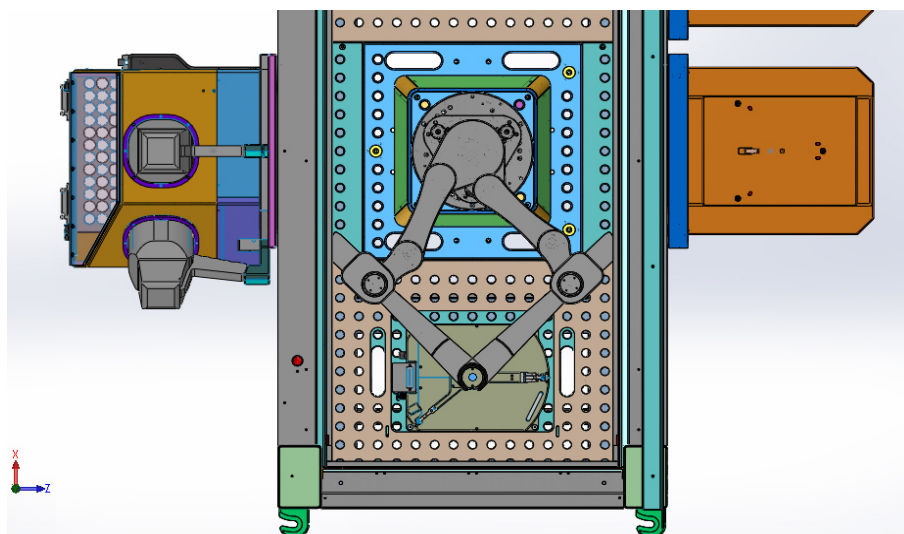
### **5.2. Анализиране на потребителски сценарии с помощта на модифициран 3D модел на робот GB7 и 3D модел на технологична машина**

Подходът за анализиране на потребителски сценарии, описан в т.4 се осъществява с помощта на 3D модел на конкретна технологична машина и модифициран 3D модел на робот GB7. Интегрирането на двете сглобени единици се осъществява с помощта на стандартни връзки. То дава възможност за извършването на следните полезни дейности:

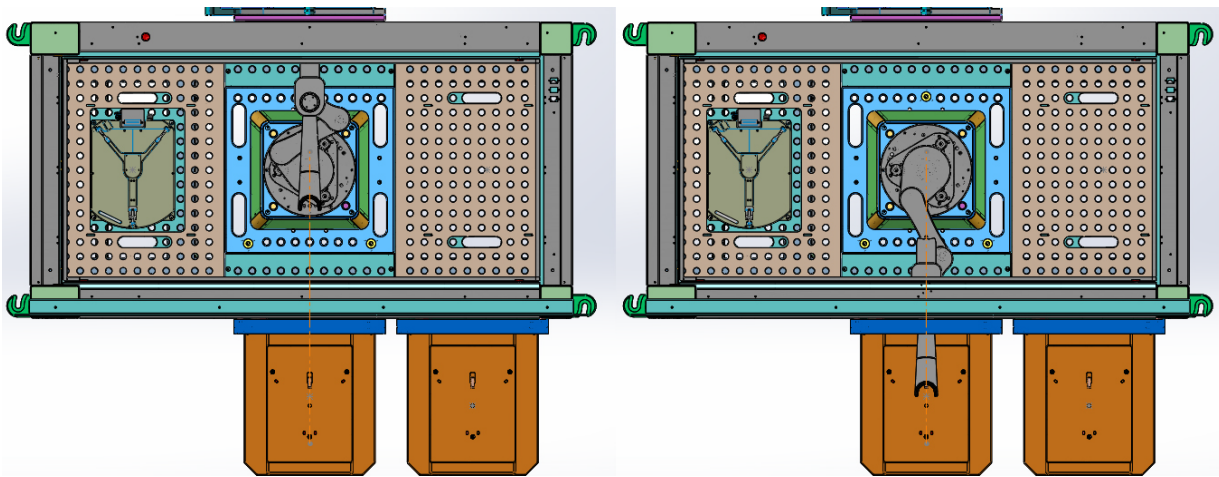
- позициониране на изпълнителното звено на робота до ключови точки от технологичната машина (фиг.10);
- анализиране на различните конфигурации на робота (фиг.11);
- симулиране на движение на хващача по права линия (фиг.12);
- проверка на достижимост;



**Фиг.10.** Позициониране на изпълнителното звено до важна точка от машината.



**Фиг.11.** Анализиране на различните конфигурации (ъгъл на сервис) на робота.



**Фиг.12.** Симулиране на движение на изпълнителното звено по права линия.

## 6. Заключение

В настоящата разработка се предлага подход за моделиране и симулация на движенията на клас *МРПИ*. Целта е изучаването на движенията на роботите и оптимизирането на системите. Тя се постига чрез модифициране на съществуващите 3D модели на *МРПИ*, както и чрез интегрирането им с наличните 3D модели на технологични машини и анализиране на потребителски сценарии. По този начин се създава ефективна система, осигуряваща множество полезни функции, използвайки единствено CAD пакета SolidWorks. Перспектива е създаване на управляващ команден интерфейс и изграждане на връзка между SolidWorks и съществуващи симулатори, използвайки приложно програмния интерфейс на пакета.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mathia, K. *Robotics for Electronics Manufacturing Principles and Applications in Cleanroom Automation*. Cambridge University Press, 2010.
- [2] Заманов В., Карастоянов Д. и Сотиров З., *Механика и управление на роботите*, София, 1993.
- [3] Brumson, B., *Robots and Vision for Semiconductors and Electronics Manufacturing*, 2012  
[http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Robots-and-Vision-for-Semiconductors-and-Electronics-Manufacturing/content\\_id/3806](http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Robots-and-Vision-for-Semiconductors-and-Electronics-Manufacturing/content_id/3806)
- [4] Genmark Automation, Inc. *Atmospheric Products*. <http://www.genmarkautomation.com/products/tool-automation/atmospheric.html>
- [5] *SolidWorks Help – Introduction to Motion Studies*. [http://help.solidworks.com/2014/English/solidworks/motionstudies/c\\_introduction\\_to\\_motion\\_studies.htm](http://help.solidworks.com/2014/English/solidworks/motionstudies/c_introduction_to_motion_studies.htm)

**Автори:** Николай Братованов, студент маг. инж., специалност Компютърно проектиране и технологии в машиностроенето, Технически Университет – София, Е-mail: [nbratovanov@gmail.com](mailto:nbratovanov@gmail.com); Владимир Заманов, доц. д-р, Факултет Автоматика, Технически университет – София, Е-mail: [vzamanov@tu-sofia.bg](mailto:vzamanov@tu-sofia.bg)