



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

МАШИНОСТРОИТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ

Катедра „Автоматизация на дискретното производство”

маг. инж. Вълко Запрянов Митев

ПОДХОД ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА МОНТАЖНИ АВТОМАТИЗИРАНИ КОМПЛЕКСИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.1 „Машинно инженерство”

Научна специалност: „Автоматизация на производството”

Научен ръководител: проф. дн инж. Иво Малаков

СОФИЯ, 2026 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Автоматизация на дискретното производство“ към „Машиностроителен факултет“ на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 16.02.2026 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 17.04.2026 г. от 13:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.1-22 / 19.02.2026 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р инж. Ренета Димитрова – председател
2. проф. дн инж. Иво Малаков – научен секретар
3. проф. дн инж. Димитър Дичев
4. проф. д-р инж. Илия Железаров
5. доц. д-р инж. Цанко Караджов

Рецензенти:

1. проф. д-р инж. Ренета Димитрова
2. проф. дн инж. Димитър Дичев

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в канцеларията на „Машиностроителен факултет“ на ТУ-София, блок №4, кабинет № 3242.

Дисертантът е задочен докторант към катедра „Автоматизация на дискретното производство“ на „Машиностроителен факултет“. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Вълко Запрянов Митев

Заглавие: Подход за проектиране на монтажни автоматизирани комплекси

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

В практиката по проектиране на монтажни автоматизирани комплекси началният етап на разработката често се характеризира с непълни данни, неясно формулирани изисквания и висока степен на неопределеност. Често техническото задание не е формализирано в писмен вид, липсват чертежи с нанесени допуски и отклонения от форма, а предоставените мостри не представят реалното производствено качество, защото са селектирани специални, като некачествени образци (брак) са премахнати от мострената извадка, която се предоставя на изпълнителя на проекта.

Напълно погрешно е схващането, че за целите на автоматизацията следва да се предоставят само „годни“ детайли, без да се отчитат реалните отклонения в качеството спрямо чертежите. Това води до подценяване на влиянието на допуските, формата и отклоненията на повърхнините върху надеждността на автоматизирания монтаж. В резултат възникват допълнителни проектни рискове, необходимост от конструктивни доработки и увеличаване на разходите в по-късен етап. По време на конструиране на един монтажен автоматичен комплекс никога не могат да се предвидят всички рискове и винаги има етап на фина настройка и „оживяване“ на съоръжението. Ако към това се прибавят и прикрити от клиента дефекти в качеството, или специфики за детайлите, възможните трудности на етап реализация със сигурност ще се увеличат.

Посочените обстоятелства обуславят необходимостта от систематизиран подход, при който анализът на реалното качество на детайлите и формализирането на техническото задание се разглеждат като задължителна предпоставка за ефективно проектиране на монтажни автоматизирани комплекси.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е да се разработи системен подход за проектиране на монтажни автоматизирани комплекси

За постигане на поставената цел следва да се решат следните **задачи**:

1. Да се анализират характеристики на сглобяваните детайли, които оказват влияние върху избора на технически средства за автоматизиран монтаж.
2. Да се разработи методика за подпомагане избора на технически средства за изграждане на МАК с отчитане на характеристиките на сглобяваните детайли.
3. Да се определят основните етапи и задачи на системен подход за проектиране на МАК.
4. Да се апробира разработеният инструментариум при решаване на задачи от индустрията.

Научна новост

Разработена е методика за подпомагане избора на технически средства за осъществяване на манипулационните функции при автоматизация на монтажа с отчитане характеристиките на сглобяваните детайли и изделия.

Разработена е класификация на характеристиките на сглобяваните детайли и изделия, които оказват влияние върху избора на методи и технически средства за автоматизиран монтаж.

Разработен е подход за проектиране на МАК, който включва 28 етапа и представлява организирана съвкупност от методики, класификации и препоръки към конструкторите.

Практическа приложимост

Формулираните препоръки към конструкторите на МАК дефинират една рамка, която може да се използва в много широк диапазон от проекти, независимо в коя област на промишлеността.

Разработена е необходимата документация по време на проектирането на МАК – техническо задание, оферта, договор, чертежи с нанесени допуски и отклонения от форма, график на проекта, циклограма. Всички тези документи са носители на частица от успеха на проектите. Някои от тях могат да се пропуснат, но това води до редица затруднения и неразбирателство с клиента.

Определени са функциите, отговорностите и взаимоотношенията между основните участници в процеса на разработване на МАК.

Разработеният инструментариум е апробиран за решаване на индустриални задачи.

Апробация

Всички резултати от дисертационния труд – подход, методики и конструкции на МАК, както и на други системи, са внедрени в проекти на КМС ИНЖЕНЕРИНГ ООД и успешно работят в различни индустриални производства.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 4 научни статии, от които две са самостоятелни и две в съавторство, една от които е в индексирано издание. Публикациите са докладвани на:

1. Международна научно-техническа конференция „АДП-2018”, 2018, Созопол
2. Международна научно-техническа конференция „АДП-2020”, 2020, Созопол.
3. Международна научно-техническа конференция „АДП-2022”, 2022, Созопол.
4. International Conference on Engineering Physics, Electronics and Earth Science (EPEES 2023), 2023, Kavala.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **163** страници, като включва увод, **4** глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на научно-приложните и приложните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **91** литературни източника, като **31** са на латиница, **36** на кирилица, а останалите **24** са интернет източници. Работата включва общо **98** фигури и **4** таблици. Номерацията на фигурите и таблиците в автореферата съответства на тази в дисертационния труд.

II. СЪКРАТЕНО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ НА ПРОБЛЕМА. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

В тази глава е направен преглед и анализ на състоянието на проблема, обект на разглеждане в дисертационния труд.

1.5 Обзор и анализ на технически средства за изграждане на МАК – класификации, области на приложимост, анализ на пазара.

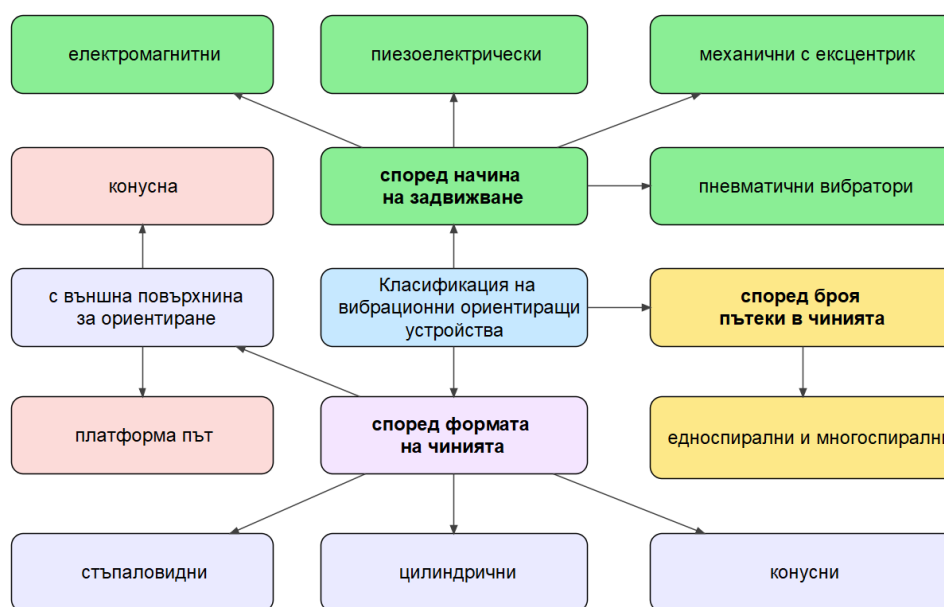
- **Теоретична рамка на автоматизирания монтаж**

Монтажните автоматизирани комплекси (МАК) в литературата се разглеждат като дискретни производствени системи, с висока степен на интеграция, в които се реализира съвкупност от операции – технологични, монтажни, транспортни.

- **Захранващи и ориентиращи устройства**

Захранването на детайли е един от най-критичните процеси в МАК, защото към него има предявени повишени изисквания за производителност и надеждност.

Показаната на Фиг. 1.6 класификация представя вибробункерите по няколко признака. Според **начина на задвижване** те са електромагнитни (най-разпростреният вид), механични с ексцентрик (за реализиране на големи амплитуди), пиезоелектрически (за миниатюрни детайли) или пневматични (при агресивни среди). Според **формата на чинията** – цилиндрични, конусни, стъпаловидни, както и с външна повърхнина за ориентиране, което обикновено се базира на някой от предходните типове, с реализация на външна периферия, по която се извършва ориентирането. Според **броя пътеки в чинията** чиниите биват едноспирални и многоспирални.



Фиг. 1.6 Класификация на вибробункери

- **Сензорни системи и контрол на качеството**

Контролът в МАК включва позиционни датчици, измерване на сила и момент, контрол на налягане и вакуум, както и системи за машинно зрение.

- **Управляващи системи и комуникационни платформи**

PLC контролерите и индустриалните комуникационни мрежи представляват основата на управлението на МАК.

- **Пазарни тенденции в областта на автоматизираните монтажни системи**

Глобалните тенденции показват устойчив растеж на инвестициите в автоматизирани монтажни системи, стимулиран от недостиг на работна сила, повишени изисквания за качество и необходимост от проследимост.

Резултатите от тази глава могат да се обобщят в следните изводи:

1. Съвременните МАК като обект за проектиране представляват сложни технически системи, характеризиращи се с многообразие на изпълняваните функции, на видовете подсистеми и отношения (връзки) между тях, голям брой на възможните структурни варианти, на изискванията за проектиране и значителен брой параметри, върху които оказват влияние редица фактори, част от които са неопределени.

2. На пазара не се предлагат готови МАК – те се проектират като уникални решения, което затруднява тяхното разработване.

3. Анализираните методи за проектиране на технически изделия и МАК се основават на системния подход и представляват итеративен творчески процес, във всеки основен етап на който се решават задачите за синтез, анализ и избор на оптимален вариант от множеството на допустими проектни решения, които удовлетворяват наложените изисквания и ограничения.

4. Известните методики за проектиране на МАК имат редица нерешени проблеми и е необходимо те да се усъвършенстват, с цел подобряване на тяхната ефективност.

1.7 Цел и задачи на дисертационната работа.

Въз основа на направеното проучване и анализ на постиженията в разглежданата област е формулирана **целта** на дисертационната работа:

Да се разработи системен подход за проектиране на монтажни автоматизирани комплекси.

За постигане на поставената цел следва да се решат следните **задачи**:

1. Да се анализират характеристики на сглобяваните детайли, които оказват влияние върху избора на технически средства за автоматизиран монтаж.

2. Да се разработи методика за подпомагане избора на технически средства за изграждане на МАК с отчитане на характеристиките на сглобяваните детайли.

3. Да се определят основните етапи и задачи на системен подход за проектиране на МАК.

4. Да се апробира разработеният инструментариум при решаване на задачи от индустрията.

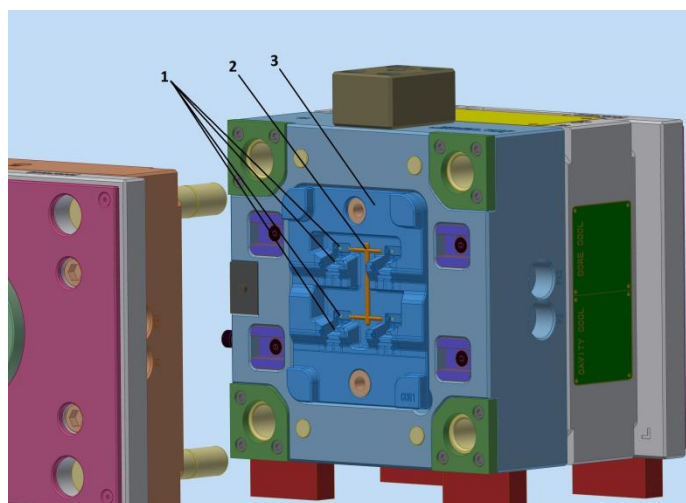
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТВАНЕ НА МЕТОДИКА ЗА ПОДПОМАГАНЕ ИЗБОРА НА ТЕХНИЧЕСКИ СРЕДСТВА ЗА ОСЪЩЕСТВЯВАНЕ НА СЪВКУПНОСТТА ОТ ФУНКЦИИ НА МОНТАЖНИ АВТОМАТИЗИРАНИ КОМПЛЕКСИ

В тази глава е направена класификация на характеристиките на сглобяваните детайли и изделия, които оказват влияние върху избора на методи и технически средства за автоматизиран монтаж. Това са материал, форма, размери, взаимно положение на детайлите, начин на монтаж, желана производителност, критерии за качество и др.

Направен е анализ на отклоненията от размери, форма и физически свойства на детайлите в зависимост от методите на производство.

2.2 Анализ на отклоненията от размери, форма и физически свойства на детайлите в зависимост от методите на производство.

Основно внимание е обърнато върху анализа на детайлите, които са изработени от полимерни материали. При тях са налице редица недостатъци, причинени от производствения процес, които се отразяват на по-късен етап в системите за автоматично захранване и ориентиране на детайли, както и при опит за хващане на детайлите в монтажните задачи.



Фиг. 2.4 Шприцформа

1 - изхвъргачи; 2 - леяк; 3 - делителна равнина

Шприцформата е показана на Фиг. 2.4. Това е високопрецизен инструмент, който с течение на времето и милиони цикли на шприца се износва. Заедно с износване започват да се наблюдават редица дефекти, които се отразяват на качеството.

Описаните в дисертацията девет вида дефекти и отклонения са често срещани, но не изчерпват всички възможности, затова при анализа на детайлите следва да се познава конструкцията на шприцформата и технологията на производство, за да могат да се предвидят. Освен това голяма част от тях са свързани с настройването на оборудването за шприцване от операторите и необходимата технологична дисциплина. Те могат да се появяват периодично и стохастично и трябва да се имат предвид като възможност. Като правило тези евентуални дефекти не се отбелязват на чертежите на детайлите, освен ако

производителят на монтажна техника изрично не ги добави и съгласува предварително.

Фиг. 2.5, Фиг. 2.6, Фиг. 2.7 и Фиг. 2.8 визуализират някои от тези дефекти.



Фиг. 2.5 Отливък по делителната равнина



Фиг. 2.6 Отклонение от равнинност 5 мм при зададено по чертеж 0,4 мм.



Фиг. 2.7 Теоретично отклонение от форма

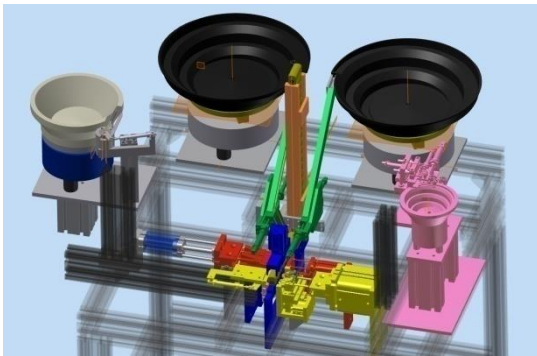


Фиг. 2.8 Характерни „косми“, получаващи се при шприцване на материал POM.

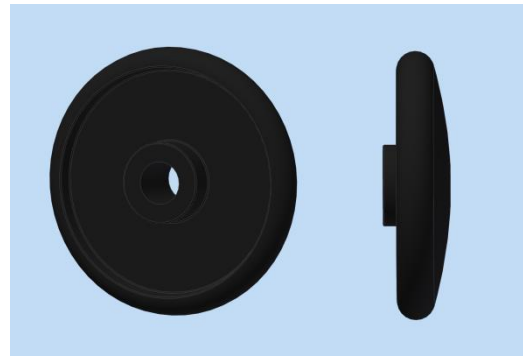
Обикновено описаните дефекти на детайлите за автоматично сглобяване се появяват след внедряване на автоматизираните монтажни комплекси и не могат да се установят, нито по мострени бройки, нито по чертежите, които се предоставят от инвеститорите. Тези проблеми с качеството на детайлите трябва да се предвиждат и очакват и при избора на съответните повърхнини за функционално взаимодействие с автоматизиращите устройства. Въздействието на тези дефекти се открива или при тестовете по предаване на автоматизиращата техника, или се проявяват след време при експлоатацията чрез престои и намаляване на производителността.

Автоматизираната монтажна машина е изработена и тествана при изпълнителя, а при доставка на клиента се оказва, че част от колелата (Фиг. 2.13)

не могат да се движат нормално в предвидения за тях самотечен улей (показан в зелено на модела на машината на Фиг. 2.12) и заклинват.



Фиг. 2.12 МАК за сглобяване на влакчета



Фиг. 2.13 Колело с лещовидна външна геометрия.

При детайли, произведени чрез **стружкоотнемане**, номиналната геометрия обикновено се постига с висока точност, но въпреки това са налице характерни отклонения, които следва да бъдат отчетени при проектиране на монтажни процеси.

Летите детайли се характеризират с по-големи отклонения от номиналната геометрия в сравнение с онези, които са произведени по технологията на стружкоотнемане.

При **щампованите** детайли характерни са отклонения, свързани с еластично връщане на материала след деформация.

Кованите детайли обикновено имат добра механична якост, но се отличават с относително груба повърхност и отклонения във формата, обусловени от процеса на пластична деформация.

Детайлите, произведени чрез **адитивни технологии (3D печат)**, се характеризират със специфични отклонения от номиналната геометрия, обусловени от основния характер на процеса – работа слой по слой. Детайли, произведени чрез такива технологии са показани на Фиг. 2.19.



Фиг. 2.19 Полимерни детайли, произведени чрез 3D печат

2.4. Методика за оценка на монтажопригодността на детайли и избор на технически средства при автоматизация на монтажа.

Въз основа на извършения анализ на характеристиките на сглобяваните детайли, отклоненията от размери и форма, както и изискванията към обектите за автоматично сглобяване, в настоящата точка се предлага методика за оценка на пригодността на детайлите за автоматичен монтаж и подпомагане избора на технически средства при автоматизация на монтажа, наричана по-нататък Методика МПМ.

В практиката на проектиране на монтажни автоматизирани комплекси изборът на технически средства често се извършва на базата на инженерна интуиция и предходен опит, без формализирана процедура, отчитаща в достатъчна степен характеристиките, теоретичното (чертежи с допуски и отклонения от форма) и реалното качество на сглобяваните детайли. Това води до повишен риск, необходимост от последващи корекции и намалена надеждност на системите, които се проектират и впоследствие произвеждат. Решенията, които се взимат в началото на всеки проект са съобразени със спецификата на проектираното изделие.

С цел преодоляване на посочените ограничения се предлага Методика МПМ (Методика за оценка на монтажнопригодността на детайли и подпомагане избора на технически средства при автоматизация на монтажа).

Методиката има за цел да осигури структурирана и повторяема процедура за оценка на детайлите и аргументиран избор на средства за автоматизация още в ранните етапи на проектиране на МАК. Фокусирана е върху изграждането на нестандартни МАК, които се проектират за конкретни, специфични за дадено производство цели.

Изборът на технически средства за автоматизация се определя от функциите, които трябва да бъдат изпълнени, а не от наличното оборудване или предпочитания към конкретни технически решения. Въпреки че мехатронните принципи са общи, всяка конкретна задача изисква внимание към специфичните детайли. Всеки производствен процес, а в частност всеки монтажен процес, се обуславя от ясно дефиниран набор от функции (захранване, ориентиране, захват, позициониране, монтаж, контрол и др.), които следва да бъдат идентифицирани и анализирани преди избора на конкретни средства за автоматизация.

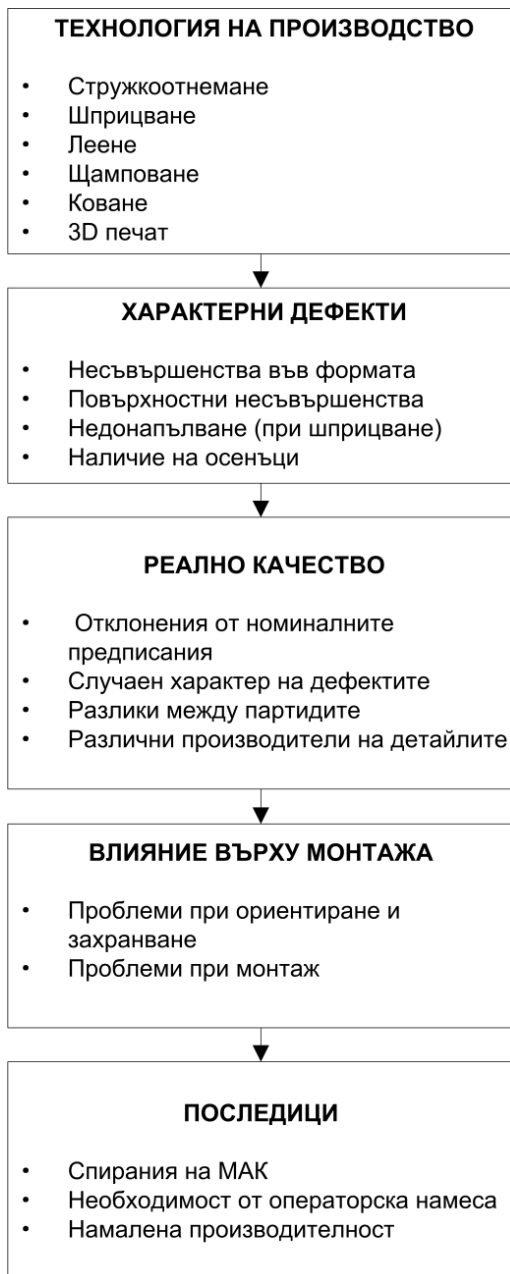
Правилното определяне на функциите е необходимо условие за по-нататъшният успех на проекта. Входните изисквания обикновено се дефинират от клиента (Възложителя), но в редица случаи не са технически издържани и описанието (ако съществува) е в разговорна форма. Отговорност на машиностроителя е да помогне за допълване и обогатяване на техническото задание. Един от най-важните компоненти на всеки производствен процес, респективно разработката на МАК е търсената производителност.

Производителността е съществена, защото е количествена мярка. Изискванията за качество са етап, който не трябва да се пропуска нито по отношение на входните компоненти (единични детайли), нито по отношение на сглобените единици. Дефинирането на точни изисквания е необходимо условие за по-нататъшното изпълнение на поръчката и договора като цяло. Въпреки че договорът е обект на правото и работа на юристите, всички съпътстващи документи като техническо задание, чертежи и други важни части са неразделна част от него. Допълнително, важно е същите да са подписани от възложителя на поръчката (в общия случай МАК, но не ограничено само до тях), за да се гарантира, че той приема това качество официално. Всички бъдещи дефекти, които са причинени от неотговарящи на качеството детайли не се считат нито за брак, нито за проблем на разработената мехатронна система. Ограниченията обикновено са свързани с пространството за инсталация, както при изпълнителя, така и при крайния клиент. На Фиг. 2.23 е показана графично последователността при определяне на функциите на даден процес, както и техните основни параметри.

Ясно дефинираните параметри на пространствените и организационните ограничения гарантират, че съоръжението може да бъде сглобено, тествано, да му се извърши квалификация при изпълнителя, след което, успешно да бъде разглобено, транспортирано и повторно монтирано при възложителя.



Фиг. 2.23 Основни компоненти на функционалната определеност



Фиг. 2.24 Анализ на реалното качество

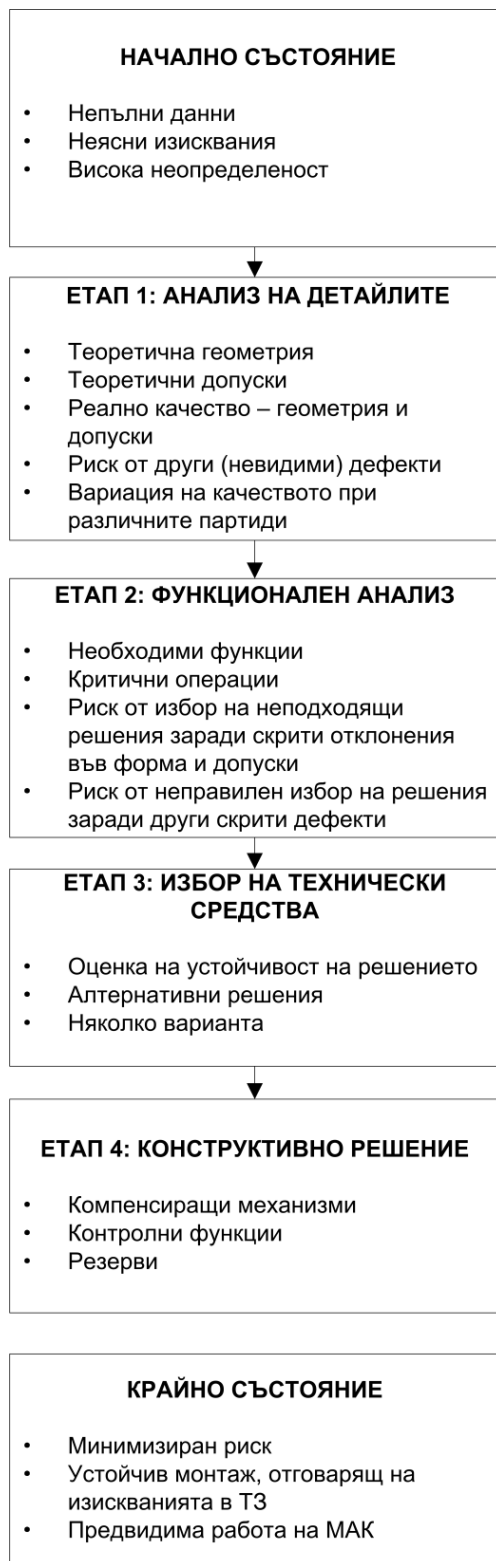
Фиг. 2.24 показва графично последователността от стъпки, през които трябва да премине анализът на реалното качество, както и проследява технологията на производство като първа и главна причина, която трябва да се анализира. При детайли, произведени чрез стружкоотнемане, основен проблем представлява наличието на заусенъци (англ. burrs) по ръбовете и отворите, особено при операции като пробиване, фрезоване и разстъргване. Освен това могат да се наблюдават локални повърхостни несъвършенства, свързани с износване на инструмента или нестабилност на процеса. Тези дефекти оказват влияние върху процесите на захранване и ориентиране, като увеличават вероятността от заклиняване или некоректно позициониране на детайлите при автоматичен монтаж.

Детайлите, произведени по технологията на шприцване, са особено чувствителни към отклонения в параметрите на процеса, което води до характерни дефекти като недонапълване на формата, формовъчни заусенъци (на англ: flash), деформации и стърчащи артефакти по линията на разделяне на формата. Допълнително влияние оказват свиването на материала и температурните градиенти, които водят до вариации в геометрията между отделните партиди.

При летите детайли често се наблюдава незадоволително повърхостно качество, наличие на шупли, неравномерности и геометрични отклонения, обусловени от процесите на запълване и охлаждане на формата.

При щампованите/щанцованите детайли основните проблеми са свързани с деформации, неравномерна дебелина и заусенъци по ръбовете, възникващи вследствие на пластичната деформация и износването на инструмента.

Кованите детайли се характеризират с висока механична якост, но често имат груба повърхност, геометрични отклонения и остатъци от заготовката или формовъчни заусенъци. Допълнително, отклоненията в размерите между отделните детайли са по-значителни в сравнение с обработените по технологията чрез стружкоотнемане, което



Фиг. 2.25 Поетапна редукция на риска при проектиране на МАК

изисква по-големи допуски или компенсиращи механизми при автоматичен монтаж.

Практическият аспект на принципа за поетапна редукция на риска е показан на Фиг. 2.25. Той разглежда процеса от гледна точка на стремежа да се намали общият риск при проектиране на МАК, като се отчетат основните влияещи на риска фактори.

Началното състояние се характеризира с непълни данни, неясни изисквания и висока неопределеност. Често заданието на клиента не е в писмен вид, не са приготвени чертежи, не са подготвени мостри от реално качество. Много често, клиентите считат, че трябва да селектират и филтрират реалното качество, като предоставят само годни детайли. Това схващане по своята същност е концептуално погрешно, защото по този начин не могат да се установят реалните стойности на допуски, отклонения от форма и други важни характеристики на единичните детайли и на сглобените единици, които участват в процеса. В края на този етап трябва да са налице първоначално техническо задание, в достатъчен обем, написано в технически издържан стил и чертежи, с нанесени допуски и отклонения от форма, съобразени и с измерванията на реалното качество.

Анализът на детайлите стартира с анализ на чертежите, размерите, техните допуски и отклоненията от форма. Ако чертежи не съществуват, задължително трябва да бъдат изготвени. Без ясно дефинирани чертежи няма ясно дефинирани изисквания към детайлите, което е предпоставка за проблеми на по-късен етап. Редица прощаващи машиностроители се доверяват на клиента, пропускат етапа с чертежите и залагат изключително и само на реалното качество. Това е погрешно и може да доведе след себе си до ненадеждност на конструираните МАК. Проследяването на качеството е тема, на която дългосрочно трябва да се обърне внимание. В практиката има случаи, при които възложители на МАК претендират, че са изпратили голямо количество мостри, сред които е имало реална извадка, която представя реалното качество. С това те считат своя ангажимент към качеството за изпълнен, защото машиностроителят „трябва да ги е прегледал”. Преглеждането се прави на база извадки, а не на цялото количество,

детайл по детайл. Точно по тази причина съществуват чертежите, които дефинират теоретично, а след това реалното качество се основава на тях.

2.5 Изводи към Глава 2

1. Характеристиките на детайлите влияят пряко върху избора на конструктивни принципи и технически решения при проектиране на МАК.
2. Всяка технология на производство е носител на определени особености на реалното качество, които трябва да се вземат предвид при проектиране на МАК.
3. Предложена е методика за оценка на монтажопригодността на детайли и избор на технически средства, като са разгледани основни и допълнителни функции на МАК, които са дефинирани в базов и в подробен вариант. Методиката може да се разширява и адаптира за други области на приложение.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТВАНЕ НА СИСТЕМЕН ПОДХОД ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА МОНТАЖНИ АВТОМАТИЗИРАНИ КОМПЛЕКСИ.

3.1 Основни участници в процеса на проектиране на МАК

- Машинни инженери
- Електроинженери
- Инженери по автоматизация (PLC/роботика/управление)
- Софтуерни инженери
- Специалисти по пневматика и хидравлика
- Инженери по качество (QA)
- Технологи / Процесни инженери
- Проектни мениджъри
- Специалисти по производство (CNC оператори, заварчици, монтажници)
- Специалисти по снабдяване (логистика)
- Експерти по безопасност и ергономия
- Специалисти по документация

3.2 Основни етапи

На Фиг. 3.1 са показани основните аспекти на процеса на създаване на ново АО. **Научно-технически** – свързани с инженерните предизвикателства, които представлява дадената разработка.

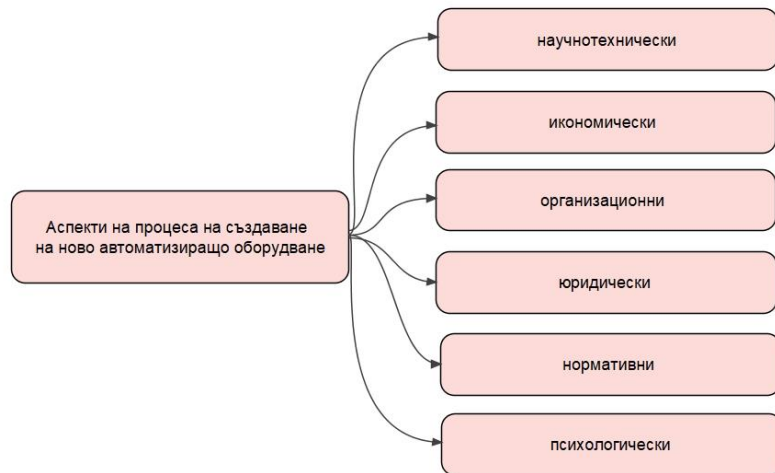
Икономически – правилното определяне на себестойност и цена за клиента.

Организационни – правилната организация е от първостепенно значение за успех на проекта.

Юридически – взаимноизгодният договор е важен фундамент за успешните отношения.

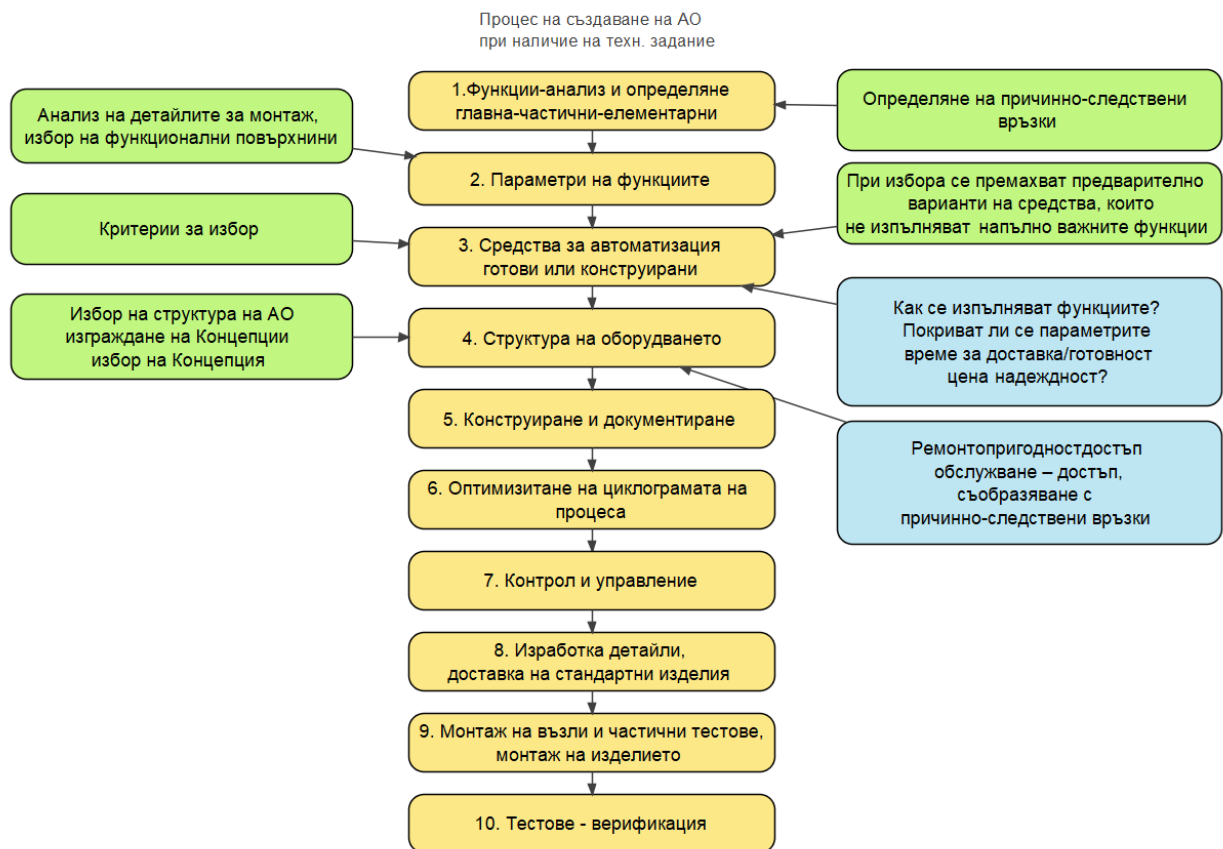
Нормативни – спазването на всички приложими европейски и национални директиви и стандарти е задължително.

Психологически – комуникацията с клиента има характерни особености и тези процеси трябва да се управляват.



Фиг. 3.1 Аспекти на процеса на създаване на ново АО

На Фиг. 3.2 са показани основните функции, които могат да се открият в процеса на създаване на АО. Може да се твърди убедително, че този процес започва със срещата с клиент и в широк смисъл продължава до края на живота на оборудването, което обикновено е 10 – 15 години от конструирането. Това е важно уточнение, защото от една страна, основните задачи приключват с предаването на клиента и гаранционното обслужване, но от друга, трябва да се мисли за извънгаранционна поддръжка, ремонти, както и за рециклиране и утилизиране на АО.



Фиг. 3.2 Основни етапи на процеса на създаване на АО

- **ЕТАП 1 – Среца с клиент**

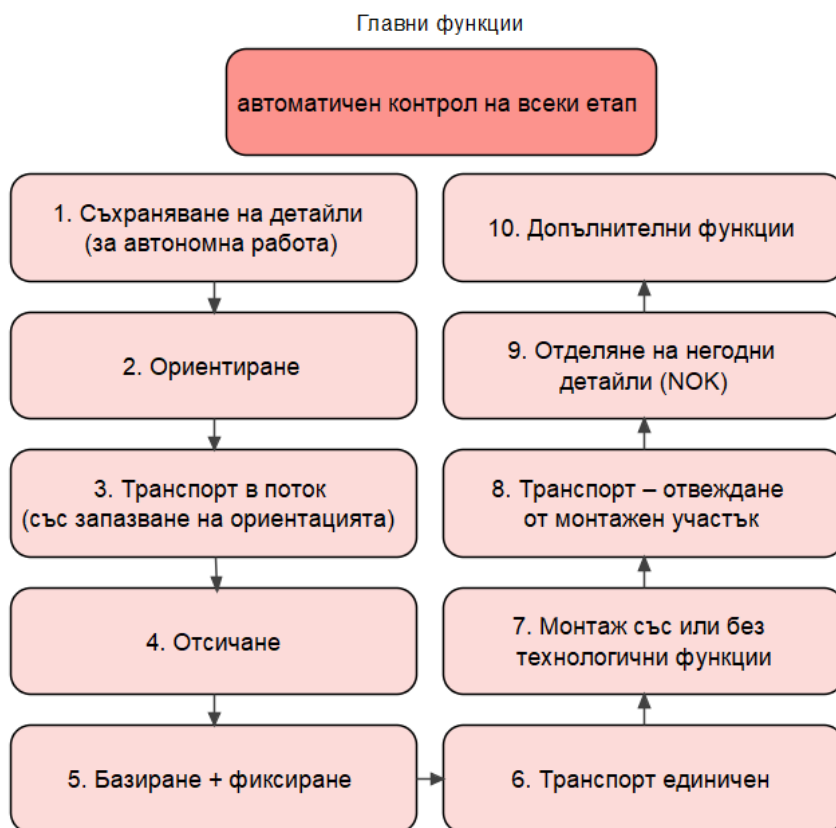
Срещата с клиент е продиктувана от желание за закупуване на АТ, като съществуват различни видове клиентска мотивация, показани на Фиг. 3.3.



Фиг. 3.3 Основни типове мотивация на клиента за закупуване на АТ

- **ЕТАП 2 – Дефиниране на необходимите функции**

Дефиницията на необходимите функции е основен етап, защото всеки автоматизиран процес преминава през най-малко три или четири такива функции, а при по-сложна технология – през множество функции. На Фиг.3.4 са показани най-основните.



Фиг. 3.4 Главни функции при автоматичен монтаж

- ЕТАП 3 – Търсене на технически средства за всяка функция
- ЕТАП 4 – Заместване на функциите с техните параметри с готови средства за автоматизация
- ЕТАП 5 – Синтезиране на варианти за функциите, които нямат готово решение
- ЕТАП 6 – Оценка и избор на вариант
- ЕТАП 7 – Изготвяне на предварителна оферта
- ЕТАП 8 – Приемане на офертата
- ЕТАП 9 – Подготовка след приемане на офертата
- ЕТАП 10 – Получаване на мостри и реални детайли
- ЕТАП 11 – Анализ на реалното качество
- ЕТАП 12 – Формализиране на техническото задание
- ЕТАП 13 – Изготвяне на график на проекта
- ЕТАП 14 – Проектиране на концепция
- ЕТАП 15 – Създаване на 3D модел
- ЕТАП 16 – Приемане на 3D модел от клиента
- ЕТАП 17 – Изготвяне на конструкторска документация
- ЕТАП 18 – Доставка и производство на детайли
- ЕТАП 19 – Монтаж на машината
- ЕТАП 20 – Програмиране и интеграция
- ЕТАП 21 – Провеждане на тестове
- ЕТАП 22 – Вътрешно приемане
- ЕТАП 23 – Демонтаж и транспорт
- ЕТАП 24 – Изработване на клиентска документация. Инструкция за експлоатация и поддръжка
- ЕТАП 25 – Монтаж при клиента. Психологически аспекти
- ЕТАП 26 – Настройки и постигане на параметрите
- ЕТАП 27 – Приемо-предаване. Подписване на приемо-предавателни протоколи
- ЕТАП 28 – Обучение на персонала и предаване на документация

3.4 Препоръки към конструкторите на МАК за ефективна работа

Основните препоръки са насочени към инвестиция в подходящ хардуер, който да може да се справя със сложни конструкции, особено такива с над 1000 детайла. Допълнително полезен хардуер е специализирана мишка за проектиране, показана на Фиг. 3.7.

Конструкторската работа в областта на машиностроенето не е просто техническа дисциплина, а истинско изкуство, което съчетава креативност, естетика и инженерна мисъл. Въпреки че конструкторът работи с физични закони, стандарти, ограничения и изискванията, неговата роля често изисква иновативен подход, въображение и усет към формата, функцията и начинът на изпълнение.

Подобно на художник, който рисува картина, инженер-конструкторът трябва да съчетае елегантност с функционалност. Всеки механичен детайл, независимо дали е част от сложен механизъм или корпус на машина, трябва да бъде не само ефективен, но и естетически издържан. Формите, пропорциите и материалите играят роля не само за здравината и ефективността на продукта, но и за неговата визуална привлекателност.

Основните препоръки са конструкторът да спазва режим на баланс по отношение на работата. Този тип дейност не може да се нормира и не е „механична“, т.е. не може човек да си каже „измисли този механизъм за 1 час“. Необходима е предварителна настройка, добро състояние на духа и съзнанието, а обикновено и достатъчно количество сън. По своята същност работата е креативна и това изисква правилно функциониране на мозъчната дейност. Необходимо е да се осигуряват задължителни разходки извън помещението, в което работи, или поне до производството. Това е важно за разсейване и вземане на кратка почивка. Важно за конструкторите е да се занимават с различни хобита, които да им помагат да разтоварват своето съзнание. Някои примери за такива дейности са поддръжка на градина, селскостопанска дейност, занимание с фолклор (танци, пеене и др.).

- **Разбиране на изискванията**

Винаги трябва да се започва с ясни спецификации и изисквания от клиента или производствения екип.

- **Използване на съвременни софтуерни инструменти**

Следва да се работи с CAD системи като SolidWorks, Inventor, CATIA, Siemens NX или в краен случай AutoCAD с цел бързо и точно моделиране.

- **Оптимизиране на конструкциите**

Следва да се постига баланс между здравина, тегло и производствени разходи. Трябва да се минимизира използването на излишни материали чрез прилагане на принципите на оптимизация.

- **Съобразяване с производствените технологии**

Конструкцията следва да бъде съобразена с възможностите на наличното оборудване – обработка с цифрово програмно управление (CNC), триизмерен печат, леене и други технологии.

- **Използване на стандартизирани компоненти**

Следва да се избягва ненужно разработване на нови детайли при наличие на стандартизирани решения. Това води до намаляване на разходите и времето за производство, както и до улесняване на поддръжката.

- **Документация и контрол**

Следва да се води подробна техническа документация, включваща всички спецификации, чертежи и данни от симулации. Трябва да се извършат дълготрайни изпитания на АО, като се използват всички видове детайли, които са предвидени да работят на него. Литературата дефинира 72-часови проби, които, както беше споменато по-горе са икономически неефективни в условията на модерната производствена икономика.

- **Сътрудничество с други отдели**

Следва да се осъществява тясно сътрудничество с производствения, сервизния и маркетинговия отдел с цел осигуряване на функционален и пазарно ориентиран продукт.

Обратната връзка от крайните потребители следва да се използва за бъдещи подобрения.

- **Безопасност и ергономия**

Проектирането следва да се извършва с приоритет към безопасността на операторите.

- **Иновации и креативност**

Актуалните технологии в индустрията и информацията за нови материали трябва да се следят с цел интегриране на иновативни решения при конструиране на МАК.

- **Непрекъснато усъвършенстване**

Развитието на личните умения чрез обучения, конференции и обмен на знания с други специалисти е от първостепенно значение за поддържане на високо ниво. Анализът на предходни проекти и търсенето на възможности за повишаване на ефективността трябва да са обект на постоянно усилие от страна на конструкторите.

3.5 Изводи

1. В настоящата глава са представени основните участници в процеса на проектиране на МАК
2. Дефиниран е системен подход (СП) за проектиране на МАК, с типичните за него основни етапи. Структурата му позволява да се разширява, адаптира, да се скалира, според конкретни нужди.
3. Дефинирани са препоръки към конструкторите на МАК.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТВАНЕ НА НОВИ КОНСТРУКЦИИ НА ТЕХНИЧЕСКИ СРЕДСТВА ЗА ЗАХРАНВАНЕ И ОРИЕНТИРАНЕ НА ДЕТАЙЛИ

4.1.1 Линия за монтаж на детайли от автоматичен прекъсвач

Различните разновидности са показани на Фиг. 4.1.



Фиг. 4.1 Детайли от различни модели автоматични прекъсвачи

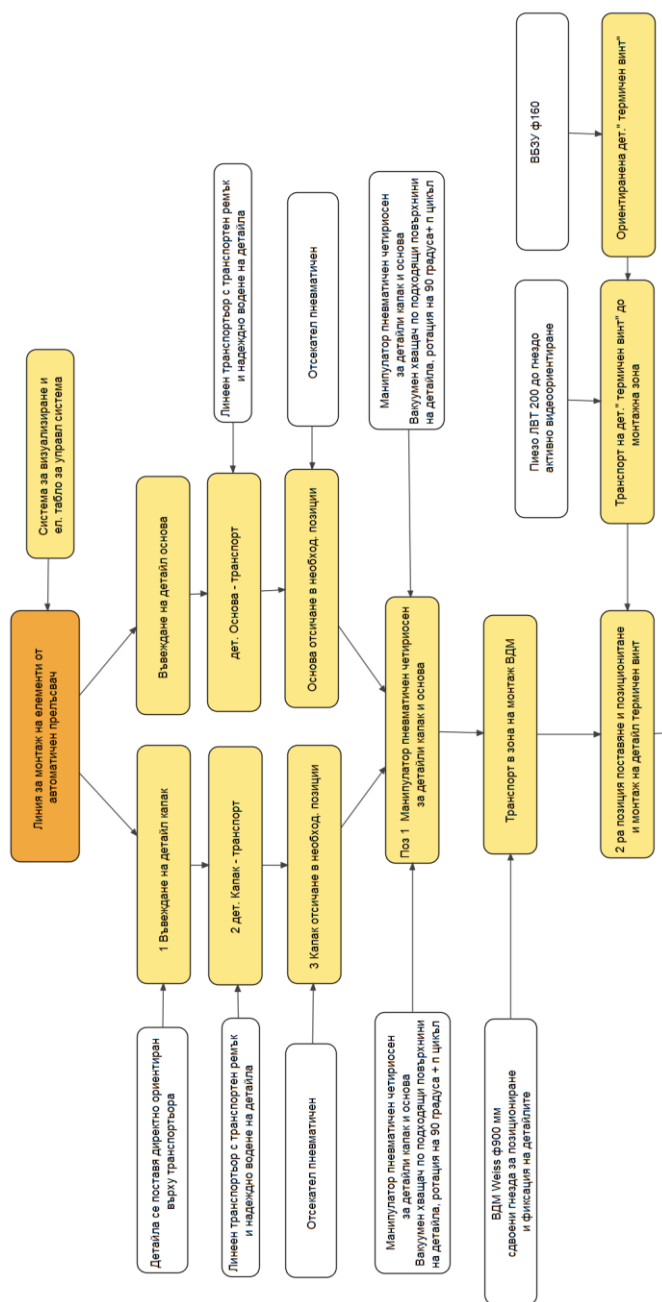
- **Функционален синтез и избор на технически средства**

Необходимите функции са:

- Ориентиране на детайли „Капак“ и „Основа“, „Фланец“, „Шилд“ и „Термичен винт“

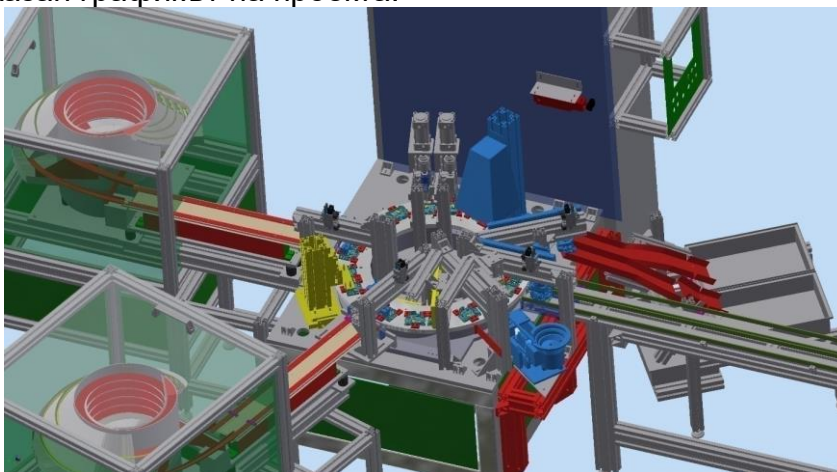
- Подаване на всички детайли
 - Манипулация на всички детайли от типа „Вземи-постави“ (англ. Pick-and-place)
 - Ултразвукова заварка на „Фланец“
 - Транспорт между отделните позиции
 - Контрол на качеството след поставяне на Фланец
 - Контрол на качеството след поставяне на Шилд
 - Превключване на потока между годни и негодни детайли
- **Проектиране на концепция (груб идеен проект)**

Функционалната карта е подробно развита на Фиг. 4.2 и Фиг. 4.3 и поради големия обем е разделена на две части, които са взаимно свързани.



Фиг. 4.2 Функционална карта – част 1

На Фиг. 4.4 е показано изображение от 3D модела на монтажната линия, а на Фиг. 4.5 е показан графикът на проекта.



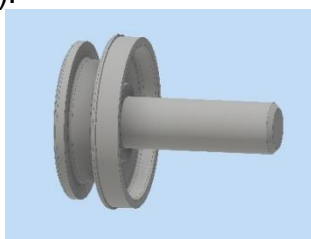
Фиг. 4.4 Линия за монтаж на детайли от автоматичен прекъсвач



Фиг. 4.5 График на проекта

4.1.2 Система за монтаж на о-пръстен във втулка

Задачата е да се монтират детайл „Втулка“ (Фиг. 4.13) и детайл „О-пръстен“ (Фиг. 4.14).



Фиг. 4.13 Втулка

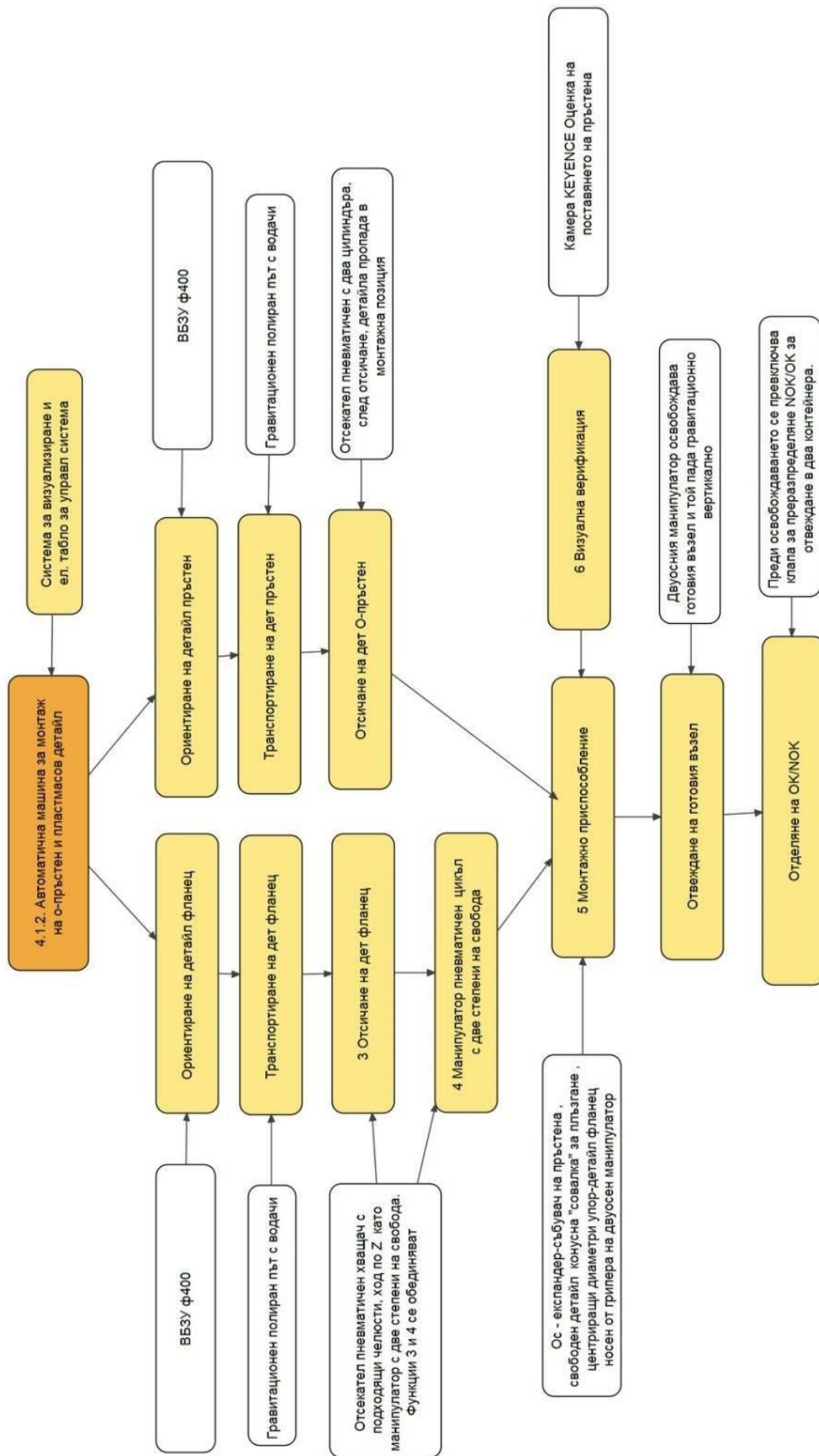


Фиг. 4.14 О-пръстен

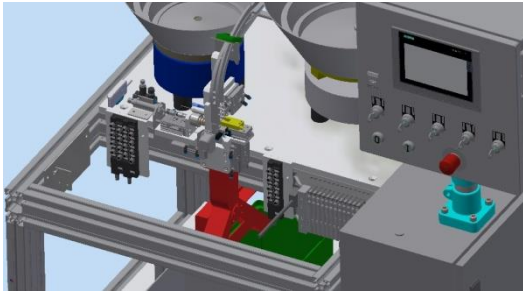
- **Функционален синтез и избор на технически средства**

На Фиг. 4.15 е показана функционалната карта на устройството.

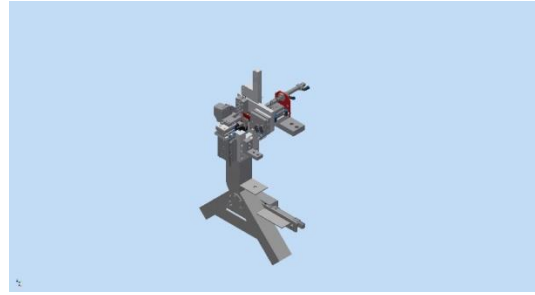
Конструкцията на машината след изпълнение на 3D модела е показана на Фиг. 4.16, а монтажното приспособление в по-близък план – на Фиг. 4.17.



Фиг. 4.15 Функционална карта на МАК за "О-пръстен" и "Втулка"



Фиг. 4.16 Система за монтаж на О-пръстен
във втулка



Фиг. 4.17 Монтажно приспособление -
близък план

- **Проектиране на система за управление**

T3 дефинира изискване контролерът и дисплеят да бъдат произведени от SIEMENS AG, Германия, без да определя конкретен модел. Електрическото захранване трябва да бъде 1 x 230 VAC.

4.1.3 Система за монтаж на сглобена единица от уплътнение, гайка и шпилка

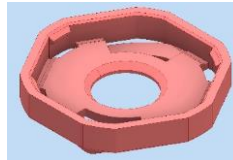
- **Описание на процеса:**

Монтиране на сглобена единица от уплътнение, гайка и шпилка

Видове детайли – показани на Фиг. 4.18, Фиг. 4.19 и Фиг. 4.20:



Фиг. 4.18 Детайл "Шпилка"



Фиг. 4.19 Детайл "Гайка"



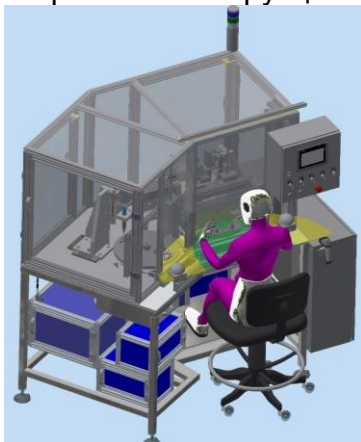
Фиг. 4.20 Детайл
"Уплътнение"

- **Функционален синтез и избор на технически средства**

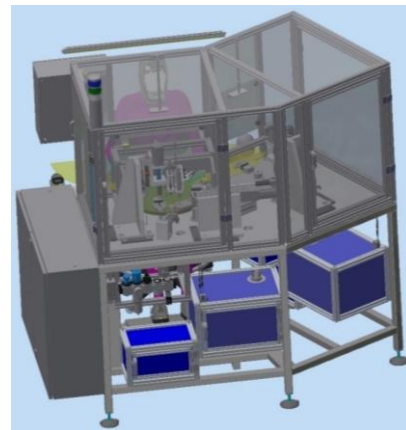
Функциите са монтаж на детайлите „Гайка“ и „Уплътнение“ към детайл „Шпилка“. Подходяща компоновка би била въртяща маса с две позиции.

- **Конструиране и производство**

Реализираната конструкция е показана на Фиг. 4.21 и Фиг. 4.22.



Фиг. 4.21 Система за монтаж на сглобена
единица от уплътнение, гайка и шпилка –
поглед „отпред“



Фиг. 4.22 Система за монтаж на сглобена
единица от уплътнение, гайка и шпилка –
поглед „отзад“

4.1.4 Линия за обработка и опаковка на миди

- **Описание на процеса:**

Обработка и опаковка на живи миди

Важни особености: фиксирането на гацата трябва да е максимално стегнато, за да може продуктът (живи миди) да не си изпусне водата и да загине.

- **Видове детайли**

Показани са на Фиг.4.23 в готов, опакован вариант:



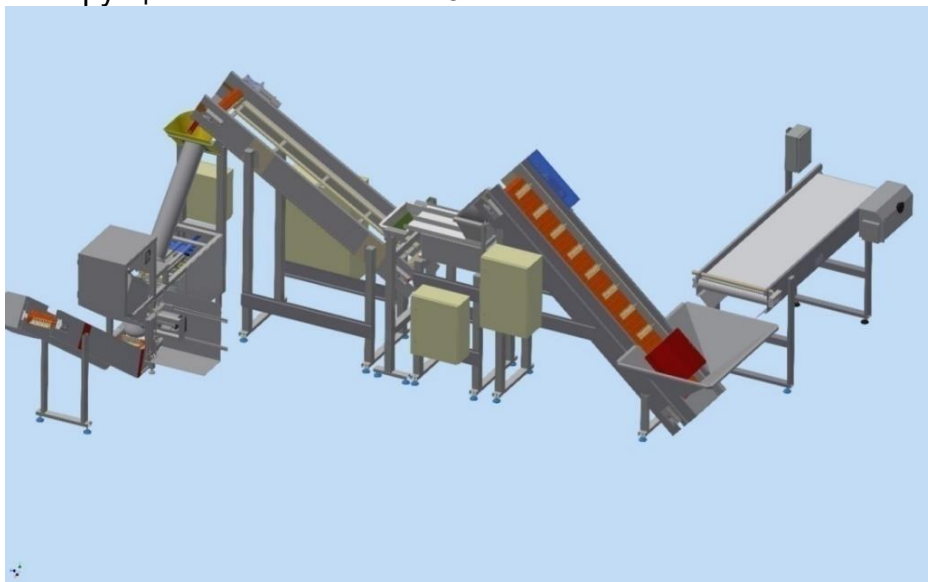
Фиг.4.23 Живи бели миди

- **Последователност:**

Процесът започва с ръчна инспекция на мидите от оператори, които премахват дефектни „детайли“. В последствие се извършва прецизно теглене в доза – 0,25 / 0,5 / 1 kg. Готовите дози се опаковат в мрежи (гаца).

- **Конструкция**

Изглед от конструкцията на този МАК в 3D е показана на Фиг.4.24.



Фиг.4.24 Линия за обработка и опаковка на миди

От софтуерна гледна точка най-предизвикателно е да се постигне необходимата точност. Това е така, защото мидите са продукт, в който има голямо съдържание на вода. Докато се теглят имат така нареченият удар, който може да

предизвика управлението на теглещата система да отчете, че теглото е постигнато, но това да не е така. В самото управление има възможност за филтриране на тези удари и намаляване на техните ефекти. Въпреки това, водата първоначално се претегля, а след това изтича част от нея под съоръжението. Това е много неприятен ефект, който прави тегленето трудно, а софтуерът трябва да използва специализирани математични алгоритми, за да предскаже кога реално е налице точна доза.

4.1.5 Система за опаковка на семена

- **Описание на процеса**

Опаковка на всякакви видове семена в пакети.

- **Видове детайли**

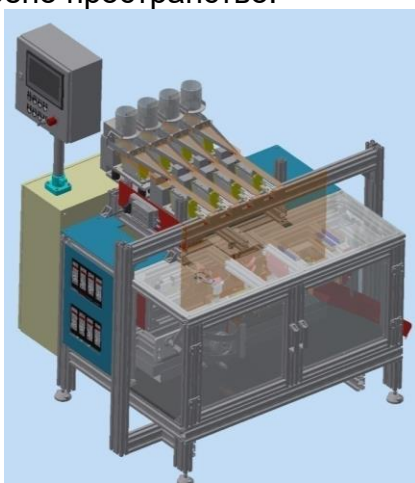
Показани са на Фиг. 4.25 в готов, опакован вариант.



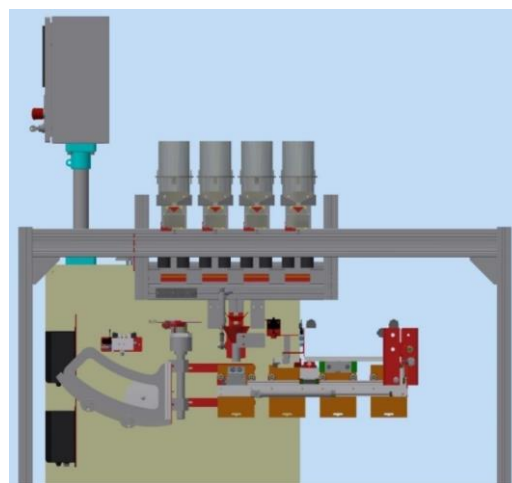
Фиг. 4.25 Семена за посеви

- **Конструирание и производство**

Конструкцията на този МАК е показана на Фиг.4.26 и Фиг.4.27 Цялата машина е изградена от конструкция от алуминиеви профили. Работната зона е реализирана с врата за безопасност, която е снабдена с автоматична ключалка, която не позволява отваряне по време на работа. Всички работни органи са в това затворено пространство.



Фиг.4.26 Система за опаковане на семена
за посеви



Фиг.4.27 Система за опаковане на семена
за посеви

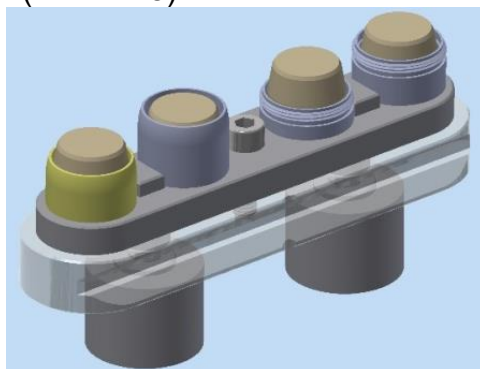
4.2 Други автоматизирани системи

4.2.1 Система за маркиране на метални втулки

- **Описание на процеса:**

Маркиране на метални втулки чрез лазер.

Два вида втулки, които се транспортират на различни видове спътници, на които долната част е идентична (Фиг. 4.28).



Фиг. 4.28 Метални втулки,

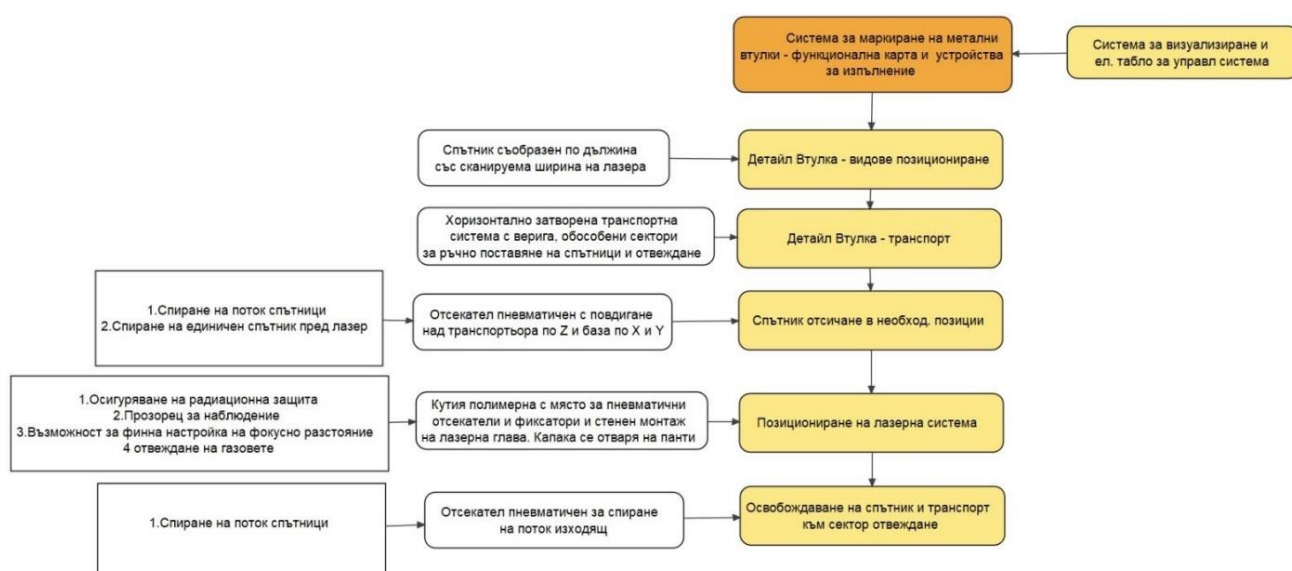
Производителност: 1000 бр. / ч

Важни особености: работната зона трябва да бъде защитена, не се допуска опасно лазерно лъчение

- **Функционален синтез и избор на технически средства**

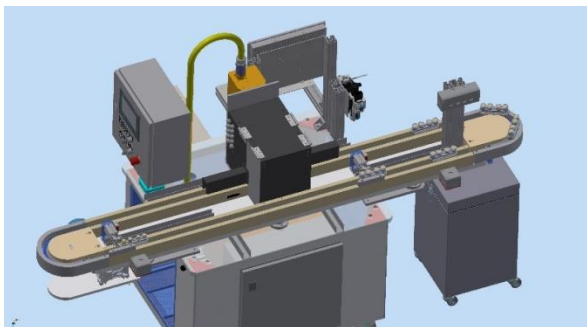
Поставяне на 4 броя детайли в спътник, което се извършва от оператор. Детайлите попадат в зоната за маркиране, където има разположен отсекател. Само един спътник се пропуска в зоната на лазера в един и същи времеви момент.

Функционалната карта е представена на Фиг. 4.29.

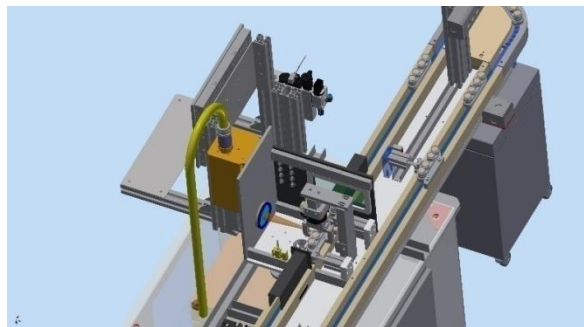


Фиг. 4.29 Функционална карта на система за маркиране на метални втулки

Конструкцията на система за маркиране на метални втулки е представена на Фиг. 4.30 и Фиг. 4.31.



Фиг. 4.30 Система за маркиране на метални втулки



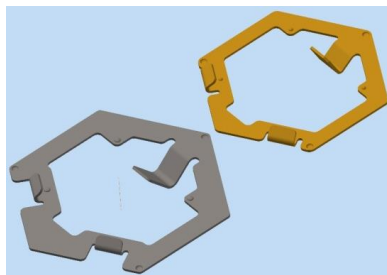
Фиг. 4.31 Система за маркиране на метални втулки

4.2.2 Система за зареждане на детайли към автоматична линия за производство на сензори за автомобилната индустрия

- **Описание на процеса:**

Зареждане на два типоразмера детайли към автоматична линия за производство на сензори за автомобилната индустрия. Детайлите са показани на Фиг.4.32.

- **Видове детайли:**



Фиг.4.32 Части от производството на сензор за автомобилната индустрия

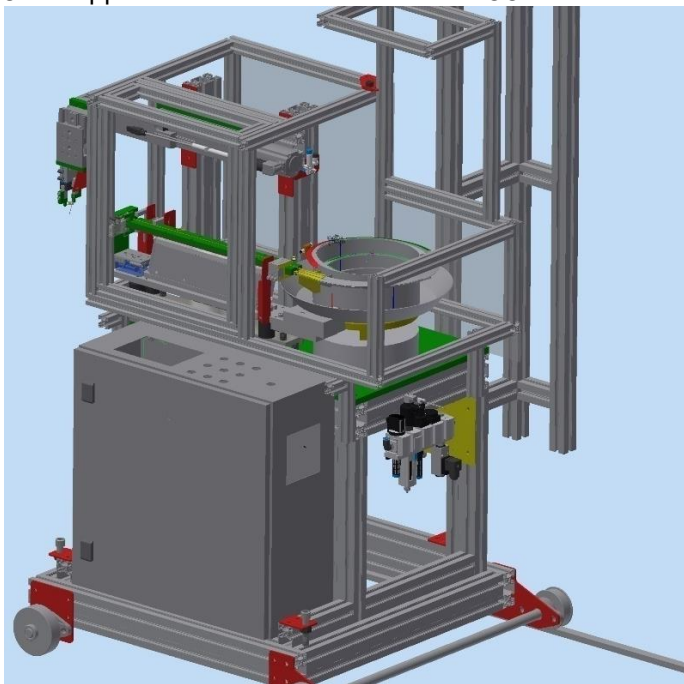
Машината трябва да може да се оттегля и да се възстановява ръчния процес на зареждане. Изборът на технически средства за автоматизация се определя от функциите, които трябва да бъдат изпълнени, а не от наличното оборудване или предпочитания към конкретни технически решения. Въпреки че мехатронните принципи са общи, всяка конкретна задача изисква внимание към специфичните детайли. Всеки производствен процес, а в частност всеки монтажен процес, се обуславя от ясно дефиниран набор от функции (захранване, ориентиране, захват, позициониране, монтаж, контрол и др.), които следва да бъдат идентифицирани и анализирани преди избора на конкретни средства за автоматизация. Това позволява системен и обективен подход при проектирането на МАК и намалява риска от неправилни или прибързани решения. От полза е, ако има съществуващ ръчен производствен процес, от който могат да се взимат функциите, да се анализира тяхната последователност, обща циклограма на ръчния процес, както и други параметри.

Правилното определяне на функциите е необходимо условие за по-нататъшният успех на проекта. Входните изисквания обикновено се дефинират от клиента (Възложителя), но в редица случаи не са технически издържани и описанието (ако съществува) е в разговорна форма. Това се дължи на факта, че повечето клиенти не са с инженерно образование, въпреки че не липсват и такива. Отговорност на машиностроителя е да помогне за допълване и обогатяване на техническото задание. Един от най-важните компоненти на всеки

производствен процес, респективно разработката на МАК е търсената производителност.

Производителността е съществена, защото е количествена мярка. Изискванията за качество са етап, който не трябва да се пропуска нито по отношение на входните компоненти (единични детайли), нито по отношение на сглобените единици. Дефинирането на точни изисквания е необходимо условие за по-нататъшното изпълнение на поръчката и договора като цяло. Въпреки че договорът е обект на правото и работа на юристите, всички съпътстващи документи като техническо задание, чертежи и други важни части са неразделна част от него. Допълнително, важно е същите да са подписани от възложителя на поръчката (в общия случай МАК, но не ограничено само до тях), за да се гарантира, че той приема това качество официално. Всички бъдещи дефекти, които са причинени от неотговарящи на качеството детайли не се считат нито за брак, нито за проблем на разработената мехатронна система. Ограниченията обикновено са свързани с пространството за инсталация, както при изпълнителя, така и при крайния клиент. На Фиг. 2.23 е показана графично последователността при определяне на функциите на даден процес, както и техните основни параметри.

Изображение от 3D модела е показано на Фиг. 4.33.

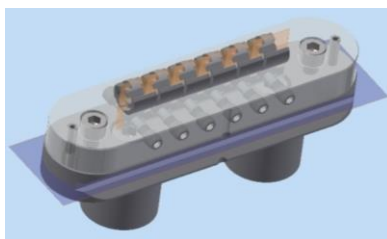


Фиг.4.33 Система за зареждане на детайли към автоматична линия за производство на сензори за автомобилната индустрия

4.2.3 Система за маркиране на ръкохватки за автоматични прекъсвачи

- **Описание на процеса:**

Маркиране на два вида ръкохватки за автоматични прекъсвачи, като на Фиг.4.34 е показан единият тип, заедно със съответния спътник. Спътниците за другия вид се различават в горната част. Долната част е обща за всички спътници.



Фиг.4.34 Носач за един вид детайли

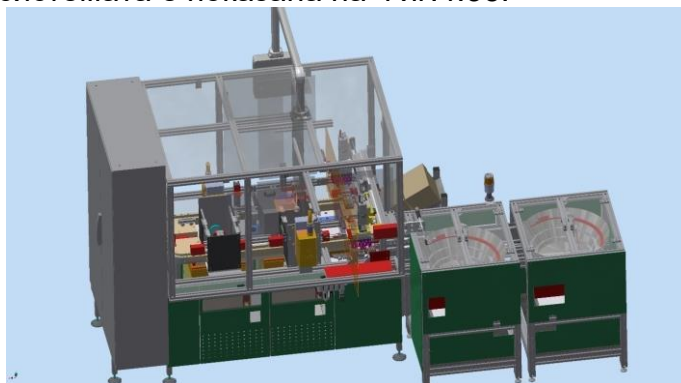
- **Функционален синтез и избор на технически средства**

Основните функции на машината са:

- Ориентиране на два вида ръкохватки, които са различни по геометрия
- Зареждане на ръкохватките в спътници
- Станция за маркиране от предна страна
- Станция за маркиране от задна страна
- Станция за контрол с машинно зрение от предна страна
- Станция за контрол с машинно зрение от задна страна
- Станция за разреждане на ръкохватки към годни / негодни съдържатели
- Система за управление на кашони с буфер от 3 кашона – наличие на секция за празни, секция за активен кашон и секция за пълни кашони

- **Конструиране и производство**

Конструкцията на системата е показана на Фиг.4.35.



Фиг. 4.35 Система за маркиране на ръкохватки за автоматични прекъсвачи

4.3 Изводи

1. В настоящата глава бяха представени 5 бр. оригинални конструкции на МАК, като за някои от тях беше проследен подробно процеса от проектиране до внедряване при клиента, с приложение на системния подход от Глава 3.
2. Системният подход не е гаранция за безпроблемна работа по даден проект, но е платформа, на която може да се „стъпи“ по един стандартизиран начин и с лекота да се проследяват различните етапи от проекта.
3. Подходът позволява адаптиране, скалиране (не зависи от големината на проектите) и промени според конкретните нужди или личните предпочитания на конструкторите, които работят с него.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Разработен е системен подход за проектиране на монтажни автоматизирани комплекси, представляващ организирана съвкупност от

методики, класификации, процедури и препоръки, състоящ се от 28 етапа, като за всеки един от тях са изяснени основните задачи и е предложен инструментариум за тяхното решаване.

2. На основата на дефинирани принципи е разработена методика за подпомагане избора на технически средства за осъществяване на съвкупността от функции на монтажните автоматизирани комплекси.
3. Систематизирани са основни видове технически средства за изграждане на монтажни автоматизирани комплекси.

ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Разработеният инструментариум е апробиран за решаване на индустриални задачи, внедрени в производството, като са разработени оригинални конструкции на:

а) автоматизирани комплекси за:

- монтаж на автоматични прекъсвачи;
- монтаж на възел, включващ О-пръстен и втулка;
- монтаж на възел, включващ крепежен елемент тип „шпилка“, гайка и уплътнение;
- опаковане на миди
- опаковане на семена

б) автоматизирани мехатронни системи за:

- маркиране на метални втулки
- зареждане на детайли към автоматична машина за производство на сензори за автомобилна промишленост
- маркиране на ръкохватки за автоматични прекъсвачи

2. Анализирани са характеристики на сглобяваните детайли, обусловени от технологията на тяхното производство, оказващи негативно влияние върху производителността и надеждността на монтажните автоматизирани комплекси.

3. Формулирани са препоръки към конструкторите на монтажни автоматизирани комплекси за ефективна работа и за разработване на техническо задание.

4. Определени са функциите, отговорностите и взаимоотношенията между основните участници в процеса на разработване на монтажни автоматизирани комплекси.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Mitev, V., & Malakov, I. (2024). Analysis of the quality of polymer parts for automatic assembly. In *Proceedings of the International Conference on Electronics, Engineering Physics, and Earth Science (EEPES 2023)*, Kavala, Greece (21–23 June 2023). *AIP Conference Proceedings*, 3063(1), 060012. <https://doi.org/10.1063/5.0195873>
2. Митев, В., Митев, К. (2022). Дефиниране на параметри, функции, функционални зони и елементи на устройство за ориентиране на капачки тип пулверизиращи помпи. *XXXI Международна научно-техническа конференция "АДП-2022"* (стр. 63-65), ISSN: 2682-9584. Созопол: ТУ-София.
3. Митев, В. (2020). Дизайн на монтажна машина за детайл "wing seal" и неръждаема лента. *XXXIX Международна научно-техническа конференция "АДП-2020"* (стр. 101-103), ISSN: 2682-9584. Созопол: ТУ-София.
4. Митев, В. (2018). Анализ на условията за монтаж на детайл термичен лост. Коровина и прецизност срещу еластичност и адаптивност. *XXVII Международна научно-техническа конференция "АДП-2018"* (стр. 150-156), ISSN: 2682-9584. Созопол: ТУ-София.

SUMMARY

SYSTEMATIC APPROACH FOR DESIGN OF ASSEMBLY AUTOMATED COMPLEXES

Valko Mitev

The present dissertation is devoted to the development of a systematic approach for the design of assembly automated complexes (AAC), which represents a significant engineering challenge in contemporary industrial production. The increasing demand for productivity, quality, flexibility and traceability requires structured methodologies that support designers in making technically and economically justified decisions throughout the entire project lifecycle.

In Chapter 1 a comprehensive review and analysis of the problem is presented. The specific features of assembly automated complexes as engineering objects are examined, including their interdisciplinary nature, limited serial production, and strong dependence on the characteristics of the assembled parts. Existing design methodologies, including general-purpose engineering design approaches and assembly-oriented methods, are analysed. Special attention is dedicated to the limitations of currently known methodologies regarding the selection of technical means in relation to part characteristics. Based on the conducted analysis, the aim and the research tasks of the dissertation are formulated.

Chapter 2 presents a developed methodology for supporting the selection of technical means for implementation of manipulation functions in automated assembly. The influence of part characteristics such as geometry, dimensions, material, surface properties and tolerances is systematized. Criteria for evaluating the suitability of parts for automatic assembly are defined. The proposed methodology assists designers in identifying appropriate technical solutions by considering both functional requirements and technological constraints, while reducing risk at early design stages.

In Chapter 3 a systematic approach for the design of assembly automated complexes is developed. The approach is structured into sequential stages, beginning with the meeting with the customer and analysis of the technical specification, followed by functional decomposition, selection of technical means, substitution with available automation components, and synthesis of original solutions when standard components are insufficient. Each stage includes decision points and recommendations for designers. Emphasis is placed on risk reduction, documentation, interdisciplinary collaboration, economic justification and compliance with safety and regulatory requirements. The approach is scalable and adaptable to projects of different complexity and size.

Chapter 4 demonstrates the application of the developed methods, which have been tested. Original constructions of automated systems and subsystems are presented, including systems for feeding, orienting, assembling and quality control of parts. The systematic approach is applied in real industrial conditions, validating its practicality and effectiveness. The results confirm that structured stage-based design improves traceability, decision transparency and overall project reliability.

The dissertation concludes with a summary of the achieved scientific and applied contributions. The proposed approach provides a structured platform for engineering practice, supports informed decision-making, and contributes to increasing the efficiency and sustainability of assembly automated complexes.



TECHNICAL UNIVERSITY – Sofia
Faculty of Automation of Discrete Manufacturing

Department of Automation of Discrete Manufacturing

Eng. Valko Zapryanov Mitev

**SYSTEMATIC APPROACH FOR DESIGN OF ASSEMBLY
AUTOMATED COMPLEXES**

AUTHOR ABSTRACT

of a dissertation for the acquisition of an educational and scientific degree
"DOCTOR"

Field: 5. Technical Sciences

Professional field: 5.1 "Mechanical Engineering"

Scientific specialty: „Production Automation”

Scientific supervisor: Prof. DSc Ivo Malakov

SOFIA, 2026

The dissertation has been discussed and approved for public defense by the Department Council of the Department of Automation of Discrete Production Engineering at the Faculty of Mechanical Engineering of the Technical University of Sofia at a regular meeting held on 16 February 2026.

The public defense of the dissertation will take place on 17 April 2026 at 13:00 in the Conference Hall of the Library and Information Center (LIC) of the Technical University of Sofia, at an open session of the Scientific Jury appointed by Order No. OЖ-5.1-22 / 19.02.2026 of the Rector of the Technical University of Sofia, composed as follows:

1. Prof. Reneta Dimitrova, PhD – Chair
2. Prof. Ivo Malakov, DSc – Scientific Secretary
3. Prof. Dimitar Dichev, DSc
4. Prof. Iliya Zhelezarov, PhD
5. Assoc. Prof. Tsanko Karadzhov, PhD

Reviewers:

1. Prof. Reneta Dimitrova, PhD
2. Prof. Dimitar Dichev, DSc

The defense materials are available to interested parties at the office of the Faculty of Mechanical Engineering at the Technical University of Sofia, Block No. 4, Room No. 3242.

The doctoral student is a part-time PhD student at the Department of Automation of Discrete Production Engineering at the Faculty of Mechanical Engineering. The research presented in the dissertation has been carried out by the author, some of which has been supported by research projects.

Author: Eng. Valko Zapryanov Mitev, MSc
Title: Systematic approach for design of assembly automated complexes
Circulation: 30 copies
Printed at the Technical University of Sofia

I. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE DISSERTATION

Relevance of the problem

In the practice of designing assembly automated complexes, the initial stage of development is often characterized by incomplete data, unclearly formulated requirements, and a high degree of uncertainty. The technical specification is often not formalized in written form, drawings with specified tolerances and form deviations are lacking, and the provided samples do not represent the actual production quality, as specially selected ones are used, with defective samples (scrap) removed from the sample set that is provided to the project contractor.

It is completely incorrect to assume that, for the purposes of automation, only “acceptable” parts should be provided, without taking into account the real deviations in quality relative to the drawings. This leads to an underestimation of the influence of tolerances, shape, and surface deviations on the reliability of the automated assembly. As a result, additional design risks arise, the need for design modifications increases, and costs increase at a later stage. During the design of an assembly automated complex, it is never possible to foresee all risks, and there is always a stage of fine adjustment and “commissioning” of the equipment. If hidden defects in quality or specific characteristics of the parts, concealed by the client, are added to this, the possible difficulties at the implementation stage will certainly increase.

The stated circumstances determine the need for a systematic approach, in which the analysis of the actual quality of the parts and the formalization of the technical specification are considered as a mandatory prerequisite for the effective design of assembly automated complexes.

Purpose of the Dissertation, Main Tasks and Research Methods

The purpose of the dissertation is to develop a systematic approach for the design of assembly automated complexes.

To achieve the stated objective, the following **tasks** must be solved:

1. To analyze the characteristics of the assembled parts that influence the selection of technical means for automated assembly.
2. To develop a methodology to support the selection of technical means for the construction of assembly automated complexes, taking into account the characteristics of the assembled parts.
3. To determine the main stages and tasks of a systematic approach for the design of assembly automated complexes.
4. To validate the developed toolkit in solving industrial tasks.

Scientific novelty

A methodology has been developed to support the selection of technical means for the implementation of manipulation functions in the automation of assembly, taking into account the characteristics of the assembled parts and products.

A classification of the characteristics of the assembled parts and products that influence the selection of methods and technical means for automated assembly has been developed.

An approach for the design of assembly automated complexes has been developed, which includes 28 stages and represents an organized set of methodologies, classifications, and recommendations for designers.

Practical applicability

The formulated recommendations to the designers of assembly automated complexes define a framework that can be used in a very wide range of projects, regardless of the field of industry.

The necessary documentation during the design of assembly automated complexes has been developed – technical specification, offer, contract, drawings with specified tolerances and form deviations, project schedule, cyclogram. All these documents carry a part of the success of the projects. Some of them may be omitted, but this leads to a number of difficulties and misunderstandings with the client.

The functions, responsibilities, and relationships between the main participants in the process of development of assembly automated complexes have been defined.

The developed toolkit has been validated in solving industrial tasks.

Approval

All results of the dissertation – the approach, methodologies, and designs of assembly automated complexes, as well as other systems – have been implemented in projects of KMS Engineering Ltd. and are successfully operating in various industrial productions.

Publications

The main achievements and results of the dissertation have been published in 4 scientific papers, two of which are independent and two co-authored, one of which is in an indexed publication. The publications have been presented at:

1. International Scientific and Technical Conference “ADP-2018”, 2018, Sozopol
2. International Scientific and Technical Conference “ADP-2020”, 2020, Sozopol
3. International Scientific and Technical Conference “ADP-2022”, 2022, Sozopol
4. International Conference on Engineering Physics, Electronics and Earth Science (EEPES 2023), 2023, Kavala.

Structure and scope of the dissertation

The dissertation is **163** pages long and includes an introduction, **4** chapters addressing the formulated main tasks, a list of scientific-applied and applied contributions, a list of publications related to the dissertation, and a bibliography. A total of **91** literature sources are cited, **31** of which are in Latin, **36** in Cyrillic, and the remaining **24** are Internet sources. The work includes a total of **98** figures and **4** tables. The numbering of the figures and tables in the abstract corresponds to that in the dissertation.

II. ABRIDGED CONTENT OF THE DISSERTATION

CHAPTER 1. OVERVIEW AND ANALYSIS OF THE PROBLEM. PURPOSE AND TASKS OF THE DISSERTATION

In this chapter, a review and analysis of the state of the problem, which is the subject of the dissertation, is presented.

1.5 Review and analysis of technical means for the construction of assembly automated complexes – classifications, fields of application, market analysis.

Theoretical framework of automated assembly

Assembly automated complexes (AAC) are considered in the literature as discrete manufacturing systems with a high degree of integration, in which a set of operations is carried out – technological, assembly, and transport.

Feeding and orienting devices

The feeding of parts is one of the most critical processes in assembly automated complexes, as increased requirements are imposed on it in terms of productivity and reliability.

The classification shown in Fig. 1.6 presents vibratory bowl feeders according to several criteria. According to **the method of actuation**, they are electromagnetic (the most widely used type), mechanical with an eccentric drive (for achieving large amplitudes), piezoelectric (for miniature parts), or pneumatic (for aggressive environments). According to the **shape of the bowl** – cylindrical, conical, stepped, as well as with an external surface for orientation, which is usually based on one of the previous types, with the implementation of an external periphery along which the orientation is carried out. According to the **number of tracks**, the bowls are single-spiral and multi-spiral.

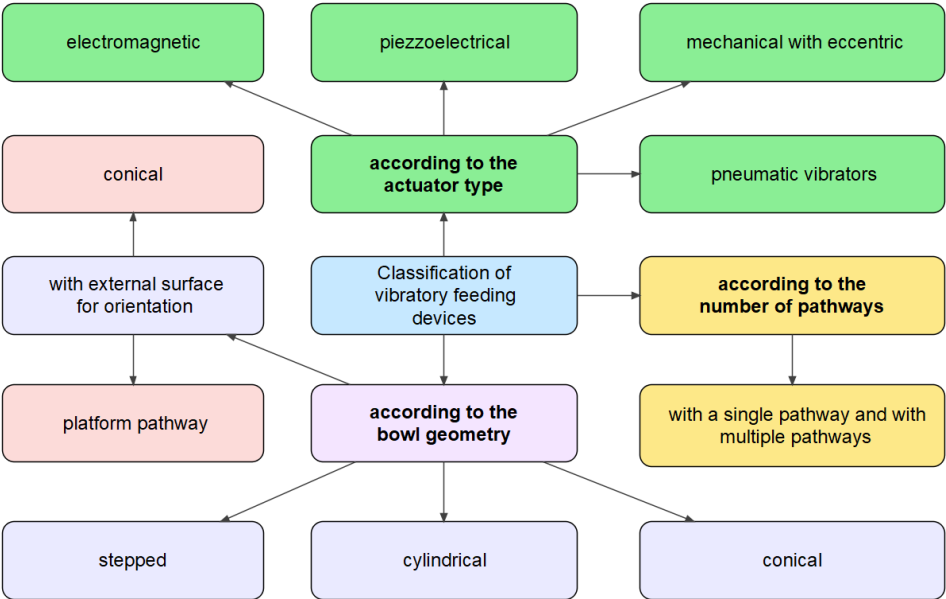


Fig. 1.6 Classification of vibratory bowl feeders

Sensor systems and quality control

Control in assembly automated complexes includes position sensors, measurement of force and torque, control of pressure and vacuum, as well as machine vision systems.

Control systems and communication platforms

PLC controllers and industrial communication networks represent the basis of the control of assembly automated complexes.

Market trends in the field of automated assembly systems

Global trends show a steady growth in investments in automated assembly systems, driven by labor shortages, increased quality requirements, and the need for traceability.

The results of this chapter can be summarized in the following conclusions:

1. Modern assembly automated complexes, as a design object, represent complex technical systems characterized by a variety of performed functions, types of subsystems and relationships (connections) between them, a large number of possible structural variants, design requirements, and a significant number of parameters influenced by a number of factors, some of which are uncertain.

2. Ready-made assembly automated complexes are not available on the market – they are designed as unique solutions, which makes their development more difficult.

3. The analyzed methods for the design of technical products and assembly automated complexes are based on the systems approach and represent an iterative creative process, in each main stage of which the tasks of synthesis, analysis, and selection of an optimal variant from the set of admissible design solutions that satisfy the imposed requirements and constraints are solved.

4. The existing methodologies for the design of assembly automated complexes have a number of unresolved problems and need to be improved in order to enhance their efficiency.

1.7 Purpose and tasks of the dissertation.

Based on the conducted study and analysis of the achievements in the considered field, the **purpose** of the dissertation has been formulated:

To develop a systematic approach for the design of assembly automated complexes.

To achieve the stated objective, the following **tasks** must be solved:

1. To analyze the characteristics of the assembled parts that influence the selection of technical means for automated assembly.

2. To develop a methodology to support the selection of technical means for the construction of assembly automated complexes, taking into account the characteristics of the assembled parts.

3. To determine the main stages and tasks of a systematic approach for the design of assembly automated complexes.

4. To validate the developed toolkit in solving industrial tasks.

CHAPTER 2. DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR SUPPORTING THE SELECTION OF TECHNICAL MEANS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE SET OF FUNCTIONS OF ASSEMBLY AUTOMATED COMPLEXES

In this chapter, a classification of the characteristics of the assembled parts and products that influence the selection of methods and technical means for automated assembly is presented. These include material, shape, dimensions, relative position of the parts, method of assembly, required productivity, quality criteria, etc.

An analysis of deviations in dimensions, shape, and physical properties of the parts depending on the manufacturing methods is presented.

2.2 Analysis of deviations in dimensions, shape, and physical properties of the parts depending on the manufacturing methods.

Main attention is focused on the analysis of parts made of polymer materials. In these parts, a number of disadvantages are present, caused by the manufacturing process, which affect at a later stage the systems for automatic feeding and orientation of parts, as well as during attempts to grasp the parts in assembly tasks.

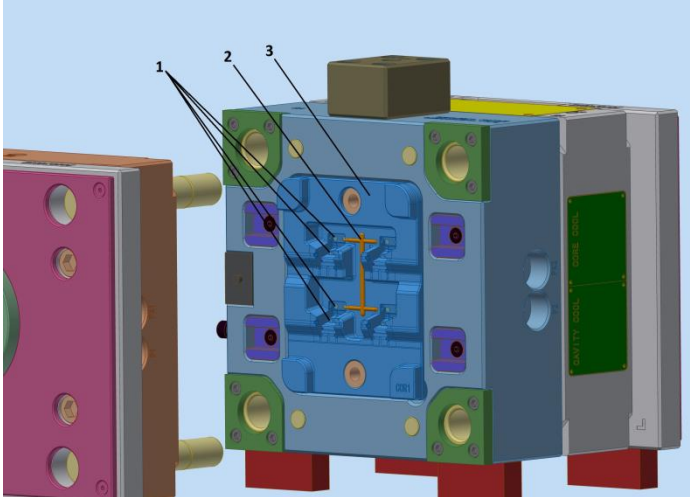


Fig. 2.4 Injection mold

1 – ejectors; 2 – sprue; 3 – parting line

The injection mold is shown in Fig. 2.4. It is a high-precision tool which, over time and after millions of injection cycles, undergoes wear. Along with the wear, a number of defects begin to appear, which affect the quality.

The nine types of defects and deviations described in the dissertation are commonly encountered but do not exhaust all possibilities; therefore, in the analysis of the parts, it is necessary to be familiar with the design of the injection mold and the manufacturing technology in order to be able to anticipate them. In addition, a large part of them are related to the adjustment of the injection equipment by the operators and the required technological discipline. They may occur periodically and stochastically and should be considered as a possibility. As a rule, these potential defects are not indicated in the drawings of the parts, unless the manufacturer of the assembly equipment explicitly includes them and agrees on them in advance.

Figures 2.5, 2.6, 2.7, and 2.8 illustrate some of these defects.



Fig. 2.5 Flash along the parting line



Fig. 2.6 Deviation from flatness of 5 mm compared to 0.4 mm specified in the drawing.



Fig. 2.7 Theoretical form deviation



Fig. 2.8 Characteristic “stringing” occurring during the molding of POM material.

Usually, the described defects of parts for automated assembly appear after the implementation of the assembly automated complexes and cannot be detected either from sample parts or from the drawings provided by the investors. These problems related to the quality of the parts must be anticipated and expected when selecting the corresponding surfaces for functional interaction with the automation devices. The impact of these defects is revealed either during the acceptance tests of the automation equipment or manifests over time during operation through downtime and reduced productivity.

The automated assembly machine is manufactured and tested at the contractor, but upon delivery to the client it turns out that some of the wheels (Fig. 2.13) cannot move normally in the designated gravity chute (shown in green in the machine model in Fig. 2.12) and become jammed.

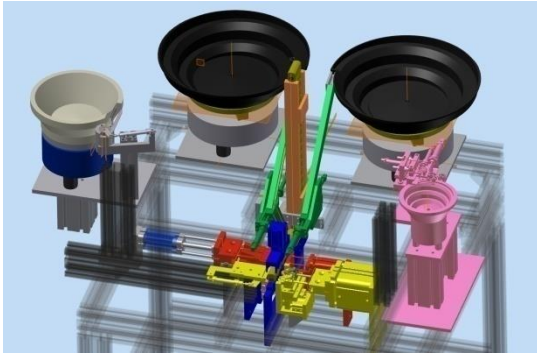


Fig. 2.12 Assembly automated complex for assembling toy trains

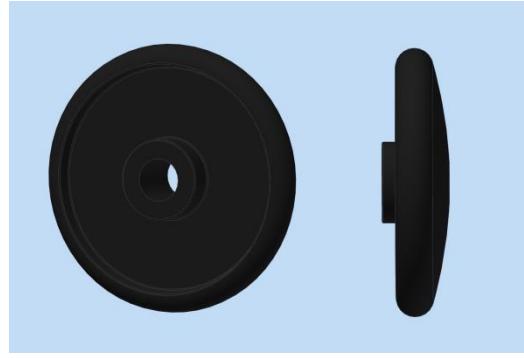


Fig. 2.13 Wheel with a lenticular outer geometry.

In parts produced by **machining**, the nominal geometry is usually achieved with high accuracy; however, characteristic deviations are still present, which must be taken into account when designing assembly processes.

Cast parts are characterized by larger deviations from the nominal geometry compared to those produced by machining.

In **stamped** parts, characteristic deviations are associated with the elastic springback of the material after deformation.

Forged parts usually have good mechanical strength, but are characterized by a relatively rough surface and deviations in shape, caused by the plastic deformation process.

Parts produced by **additive technologies (3D printing)** are characterized by specific deviations from the nominal geometry, determined by the fundamental nature of the process – layer-by-layer operation. Parts produced by such technologies are shown in Fig. 2.19.



Fig. 2.19 Polymer parts produced by 3D printing

2.4. Methodology for assessing the assemblability of parts and selecting technical means in the automation of assembly.

Based on the conducted analysis of the characteristics of the assembled parts, the deviations in dimensions and shape, as well as the requirements for the objects for automated assembly, in this section a methodology is proposed for assessing the suitability of the parts for automated assembly and supporting the selection of technical means in the automation of assembly, hereinafter referred to as the MPM Methodology.

In the practice of designing assembly automated complexes, the selection of technical means is often carried out based on engineering intuition and previous experience, without a formalized procedure that sufficiently takes into account the characteristics, the theoretical (drawings with tolerances and form deviations), and the actual quality of the assembled parts. This leads to increased risk, the need for subsequent corrections, and reduced reliability of the systems that are designed and subsequently manufactured. The

decisions made at the beginning of each project are tailored to the specifics of the designed product.

In order to overcome the identified limitations, the MPM Methodology (Methodology for assessing the assemblability of parts and supporting the selection of technical means in the automation of assembly) is proposed.

The methodology aims to provide a structured and repeatable procedure for evaluating parts and making a reasoned selection of automation means at the early stages of designing assembly automated complexes. It is focused on the development of non-standard assembly automated complexes, designed for specific objectives characteristic of a given production.

The selection of technical means for automation is determined by the functions that must be performed, rather than by the available equipment or preferences for specific technical solutions. Although mechatronic principles are common, each specific task requires attention to its particular details. Every production process, and in particular every assembly process, is determined by a clearly defined set of functions (feeding, orienting, gripping, positioning, assembly, control, etc.), which must be identified and analyzed before selecting specific automation means.

The correct determination of functions is a necessary condition for the subsequent success of the project. Input requirements are usually defined by the client (the Contracting Authority), but in many cases they are not technically well-founded, and the description (if available) is in conversational form. It is the responsibility of the mechanical engineer to assist in completing and refining the technical specification. One of the most important components of any production process, and respectively the development of assembly automated complexes, is the required productivity.

Productivity is essential because it is a quantitative measure. Quality requirements are a stage that must not be omitted, neither with regard to the input components (individual parts) nor with regard to the assembled units. Defining precise requirements is a necessary condition for the further execution of the order and the contract as a whole. Although the contract is a legal subject and the responsibility of legal professionals, all accompanying documents such as the technical specification, drawings, and other essential parts are an integral part of it. Additionally, it is important that these documents are signed by the contracting authority (in general for assembly automated complexes, but not limited to them), in order to ensure that the required quality is officially accepted. Any future defects caused by parts that do not meet the required quality are not considered defects nor a problem of the developed mechatronic system.

The constraints are usually related to the installation space, both at the contractor and at the end client. Fig. 2.23 graphically shows the sequence for determining the functions of a given process, as well as their main parameters.

Clearly defined parameters of the spatial and organizational constraints ensure that the equipment can be assembled, tested, and qualified at the contractor, and subsequently successfully disassembled, transported, and reassembled at the client.

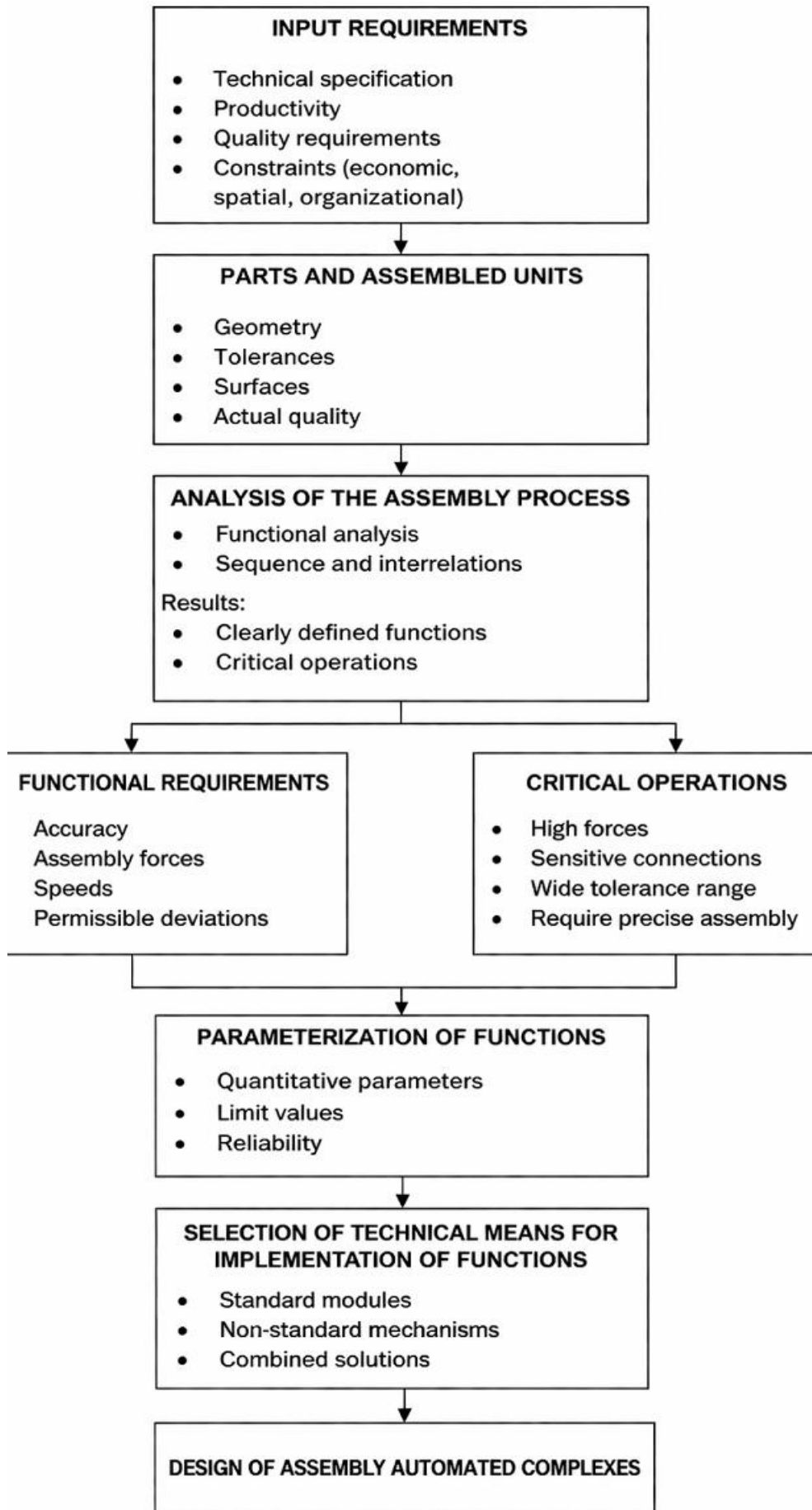


Fig. 2.23 Main components of functional definition

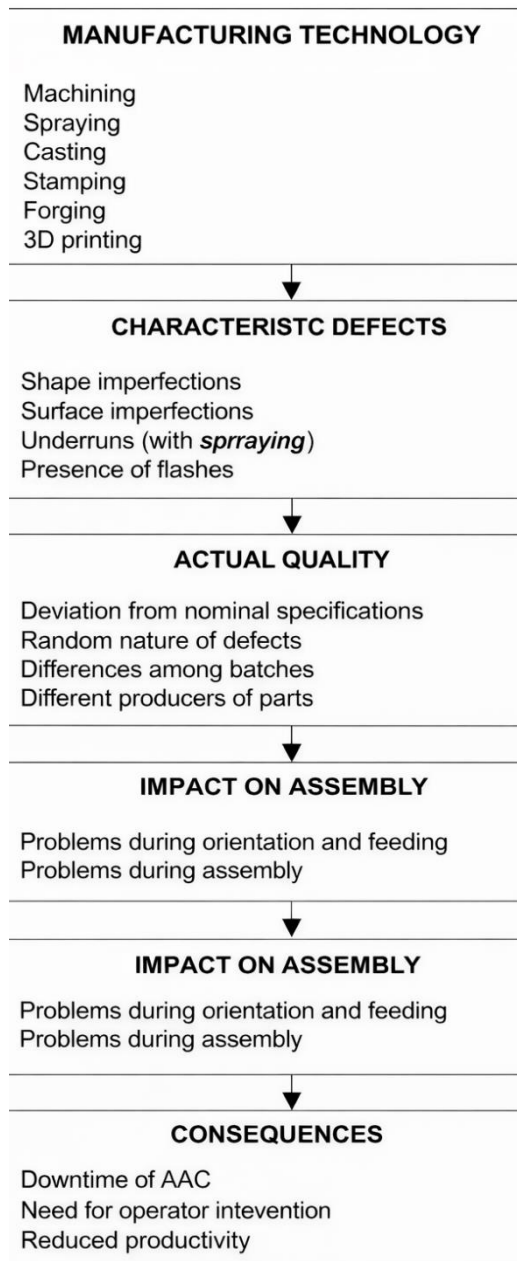


Fig. 2.24 Analysis of the actual quality

Fig. 2.24 graphically shows the sequence of steps through which the analysis of the actual quality must pass and also traces the manufacturing technology as the first and main cause that must be analyzed. In parts produced by machining, the main problem is the presence of burrs along edges and holes, especially in operations such as drilling, milling, and boring. In addition, local surface imperfections may be observed, related to tool wear or process instability. These defects affect the processes of feeding and orienting, increasing the probability of jamming or incorrect positioning of the parts during automated assembly.

Parts produced by injection molding are particularly sensitive to deviations in process parameters, which leads to characteristic defects such as incomplete filling of the mold, molding burrs (flash), deformations, and protruding artifacts along the parting line. Additional influence is exerted by material shrinkage and temperature gradients, which lead to variations in geometry between different batches.

In cast parts, unsatisfactory surface quality, the presence of pores, irregularities, and geometric deviations are often observed, caused by the processes of mold filling and cooling.

In stamped/punched parts, the main problems are related to deformations, non-uniform thickness, and burrs along the edges, resulting from plastic deformation and tool wear.

Forged parts are characterized by high mechanical strength, but often have a rough surface, geometric deviations, and remnants of the preform or molding burrs. Additionally, dimensional deviations between individual parts are more significant compared to those produced by machining, which requires larger tolerances or compensating mechanisms in automated assembly.

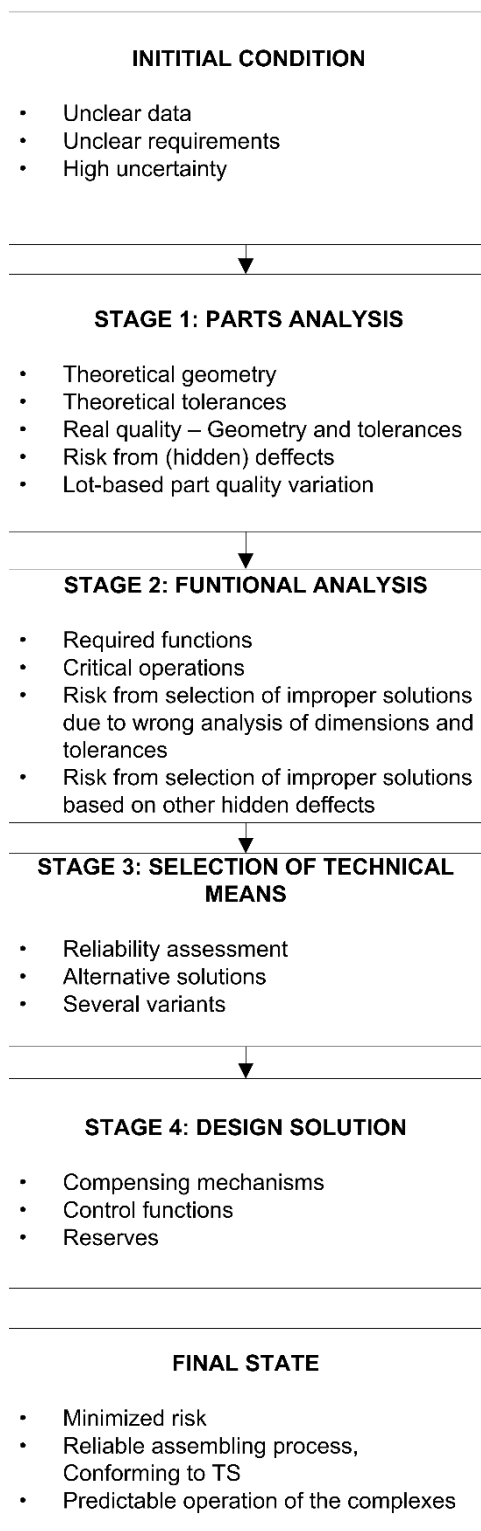


Fig. 2.25 Stage-based risk reduction when designing automation assembly complexes

The practical aspect of the principle of step-by-step risk reduction is shown in Fig. 2.25. It considers the process from the perspective of striving to reduce the overall risk in the design of assembly automated complexes by taking into account the main factors influencing the risk.

The initial state is characterized by incomplete data, unclear requirements, and high uncertainty. Often, the client's assignment is not in written form, drawings are not prepared, and samples of actual quality are not provided. Very often, clients consider that they should select and filter the actual quality by providing only acceptable parts. This concept is fundamentally incorrect, because in this way the real values of tolerances, form deviations, and other important characteristics of individual parts and assembled units involved in the process cannot be determined. At the end of this stage, an initial technical specification must be available, of sufficient scope, written in a technically sound style, along with drawings with specified tolerances and form deviations, consistent with the measurements of the actual quality.

The analysis of the parts begins with an analysis of the drawings, dimensions, their tolerances, and form deviations. If drawings do not exist, they must be prepared. Without clearly defined drawings, there are no clearly defined requirements for the parts, which is a prerequisite for problems at a later stage. Many novice mechanical engineers rely on the client, skip the drawing stage, and rely exclusively on the actual quality. This is incorrect and may lead to unreliability of the designed assembly automated complexes. Quality tracking is a topic that must be addressed in the long term. In practice, there are cases where clients of assembly automated complexes claim that they have sent a large number of samples, among which there was a representative set reflecting the actual quality. In this way, they consider their obligation regarding quality to be fulfilled, because the mechanical engineer "should have inspected them." The inspection is performed on the basis of samples, not on the entire quantity, part by part. This is precisely why drawings exist – they define the theoretical quality, and subsequently the actual quality is based on them.

2.5 Conclusions to Chapter 2

1. The characteristics of the parts directly influence the selection of design principles and technical solutions in the design of assembly automated complexes.
2. Each manufacturing technology carries specific features of the actual quality, which must be taken into account in the design of assembly automated complexes.
3. A methodology for assessing the assemblability of parts and selecting technical means has been proposed, considering the main and additional functions of assembly automated complexes, defined in a basic and in a detailed version. The methodology can be extended and adapted for other fields of application.

CHAPTER 3. DEVELOPMENT OF A SYSTEMATIC APPROACH FOR THE DESIGN OF ASSEMBLY AUTOMATED COMPLEXES

3.1 Main participants in the process of designing assembly automated complexes

- Mechanical engineers
- Electrical engineers
- Automation engineers (PLC/robotics/control)
- Software engineers
- Pneumatics and hydraulics specialists
- Quality engineers (QA)
- Technologists / Process engineers
- Project managers
- Manufacturing specialists (CNC operators, welders, assembly technicians)
- Procurement specialists (logistics)
- Safety and ergonomics experts
- Documentation specialists

3.2 Main stages

In Fig. 3.1, the main aspects of the process of creating new automation equipment are presented.

Scientific and technical – related to the engineering challenges represented by the given development.

Economic – correct determination of cost and price for the client.

Organizational – proper organization is of primary importance for the success of the project.

Legal – a mutually beneficial contract is an important foundation for successful relationships.

Regulatory – compliance with all applicable European and national directives and standards is mandatory.

Psychological – communication with the client has specific characteristics, and these processes must be managed.

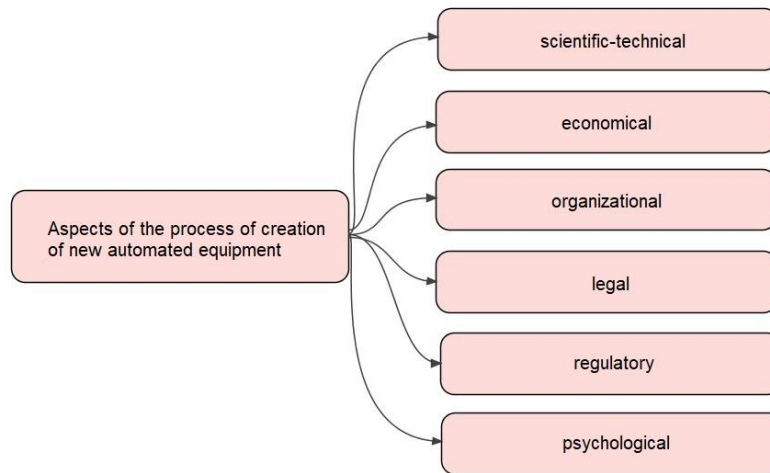


Fig. 3.1 Aspects of the process of creating new automation equipment

In Fig. 3.2, the main functions that can be distinguished in the process of creating automation equipment are presented. It can be convincingly stated that this process begins with the meeting with the client and, in a broad sense, continues until the end of the life cycle of the equipment, which is usually 10–15 years from its design. This is an important clarification, because on the one hand, the main tasks are completed with the delivery to the client and the warranty service, but on the other hand, consideration must be given to post-warranty maintenance, repairs, as well as recycling and disposal of the automation equipment.

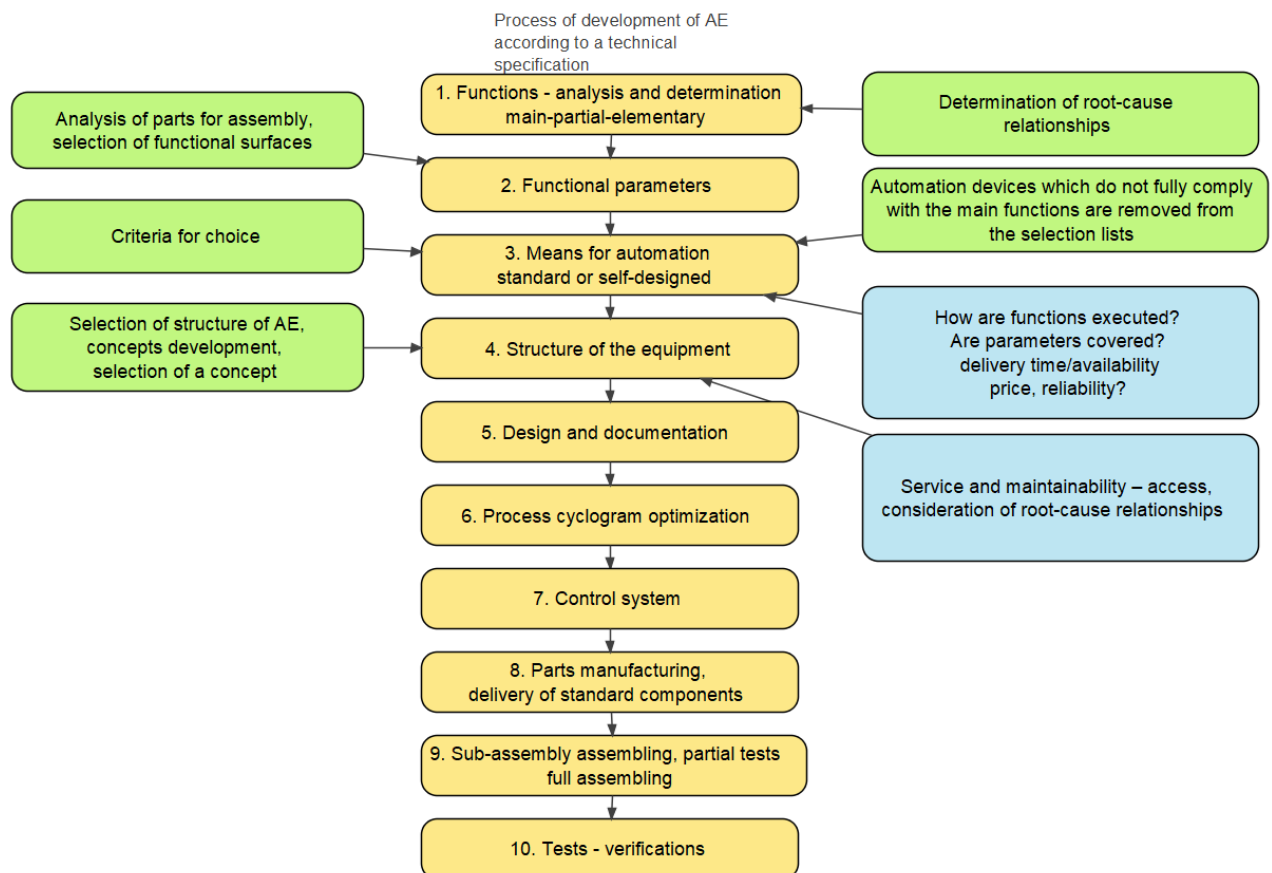


Fig. 3.2 Main stages of the process of creating automation equipment

STAGE 1 – Meeting with a customer

The meeting with the client is driven by the intention to purchase automation equipment, and there are different types of client motivation, shown in Fig. 3.3.

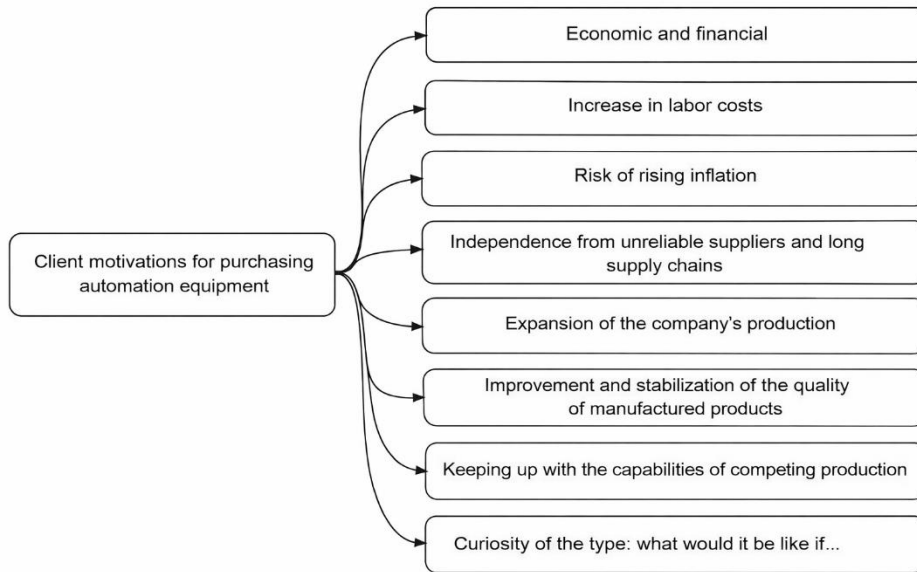


Fig. 3.3 Main types of customer motivation for purchasing automation equipment

STAGE 2 – Definition of the required functions

The definition of the required functions is a main stage, because every automated process passes through at least three or four such functions, and in more complex technology – through multiple functions. The most basic ones are shown in Fig. 3.4.

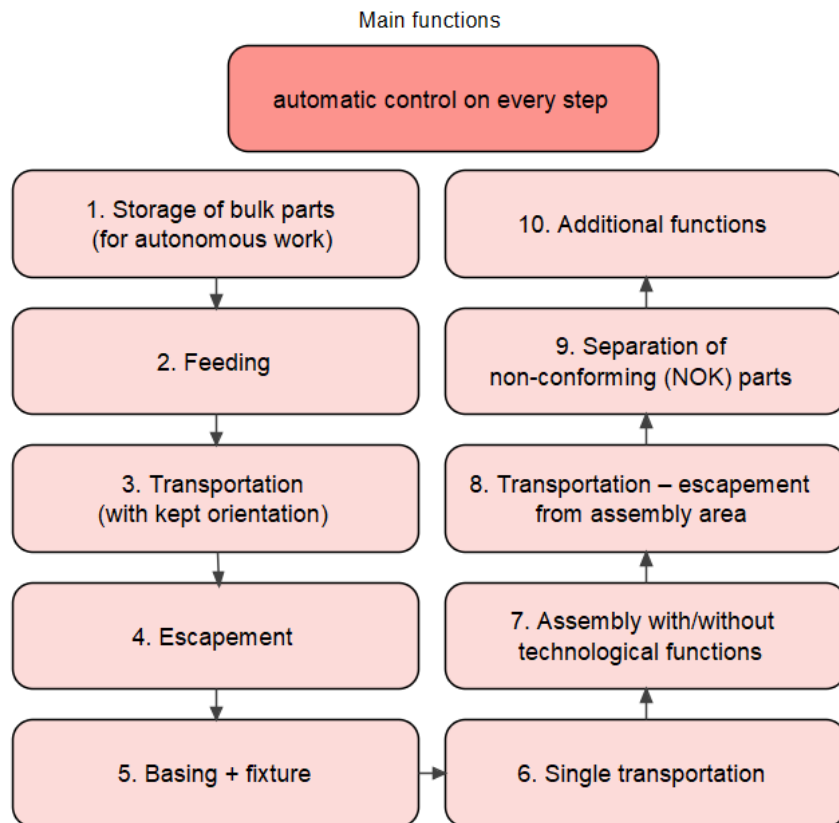


Fig. 3.4 Main functions in automated assembly

- STAGE 3 – Search for technical means for each function**
- STAGE 4 – Replacement of functions with their parameters with ready-made automation means**
- STAGE 5 – Synthesis of variants for the functions that do not have a ready solution**
- STAGE 6 – Evaluation and selection of a variant**
- STAGE 7 – Preparation of a preliminary offer**
- STAGE 8 – Acceptance of the offer**
- STAGE 9 – Preparation after acceptance of the offer**
- STAGE 10 – Receipt of samples and real parts**
- STAGE 11 – Analysis of the actual quality**
- STAGE 12 – Formalization of the technical specification**
- STAGE 13 – Preparation of a project schedule**
- STAGE 14 – Design of the concept**
- STAGE 15 – Creation of a 3D model**
- STAGE 16 – Acceptance of the 3D model by the client**
- STAGE 17 – Preparation of design documentation**
- STAGE 18 – Supply and production of parts**
- STAGE 19 – Assembly of the machine**
- STAGE 20 – Programming and integration**
- STAGE 21 – Conducting tests**
- STAGE 22 – Internal acceptance**
- STAGE 23 – Disassembly and transport**
- STAGE 24 – Preparation of client documentation. Operation and maintenance manual**
- STAGE 25 – Installation at the client. Psychological aspects**
- STAGE 26 – Adjustments and achievement of parameters**
- STAGE 27 – Acceptance and handover. Signing of acceptance protocols**
- STAGE 28 – Training of personnel and handover of documentation**

3.4 Recommendations to designers of assembly automated complexes for effective work

The main recommendations are aimed at investing in appropriate hardware capable of handling complex designs, especially those with more than 1000 parts. Additional useful hardware is a specialized design mouse, shown in Fig. 3.7.

Design work in the field of mechanical engineering is not merely a technical discipline, but a true art that combines creativity, aesthetics, and engineering thinking. Although the designer works with physical laws, standards, constraints, and requirements, their role often requires an innovative approach, imagination, and a sense of form, function, and method of implementation.

Similar to an artist painting a picture, the mechanical designer must combine elegance with functionality. Every mechanical part, whether part of a complex mechanism or a machine housing, must be not only efficient but also aesthetically well-designed. Shapes, proportions, and materials play a role not only in the strength and efficiency of the product but also in its visual appeal.

The main recommendations are that the designer should maintain a balanced working regime. This type of activity cannot be standardized and is not “mechanical”, i.e., one cannot simply say “design this mechanism in 1 hour”. Proper mental preparation, a good state of mind and consciousness, and usually a sufficient amount of sleep are required. By its nature, the work is creative, and this requires proper functioning of cognitive processes. It is necessary to ensure regular walks outside the workspace, or at least visits to the production area. This is important for distraction and taking short breaks. It is also important for designers to engage in various hobbies that help relieve mental load. Examples of such activities include maintaining a garden, agricultural work, and engaging in folklore activities (dancing, singing, etc.).

Understanding of requirements

Work must always begin with clear specifications and requirements from the client or the production team.

Use of modern software tools

Work should be carried out using CAD systems such as SolidWorks, Inventor, CATIA, Siemens NX, or, as a last resort, AutoCAD, in order to achieve fast and accurate modeling.

Optimization of designs

A balance must be achieved between strength, weight, and production costs. The use of unnecessary materials should be minimized by applying optimization principles.

Compliance with manufacturing technologies

The design must be aligned with the capabilities of the available equipment – CNC machining, 3D printing, casting, and other technologies.

Use of standardized components

Unnecessary development of new parts should be avoided when standardized solutions are available. This leads to reduced costs and production time, as well as easier maintenance.

Documentation and control

Detailed technical documentation must be maintained, including all specifications, drawings, and simulation data. Long-term testing of the automation equipment must be carried out using all types of parts intended to operate on it. The literature defines 72-hour tests, which, as mentioned above, are economically inefficient under the conditions of modern manufacturing economy.

Collaboration with other departments

Close cooperation should be maintained with the production, service, and marketing departments in order to ensure a functional and market-oriented product.

Feedback from end users should be used for future improvements.

Safety and ergonomics

Design must be carried out with priority given to the safety of operators.

Innovation and creativity

Current technologies in the industry and information about new materials must be monitored in order to integrate innovative solutions in the design of assembly automated complexes.

Continuous improvement

The development of personal skills through training, conferences, and exchange of knowledge with other specialists is of primary importance for maintaining a high level. The analysis of previous projects and the search for opportunities to increase efficiency must be a constant effort on the part of the designers.

3.5 Conclusions

1. In this chapter, the main participants in the process of designing assembly automated complexes are presented.
2. A systematic approach for the design of assembly automated complexes has been defined, with its typical main stages. Its structure allows it to be expanded, adapted, and scaled according to specific needs.
3. Recommendations to the designers of assembly automated complexes have been defined.

CHAPTER 4. DEVELOPMENT OF NEW DESIGNS OF TECHNICAL MEANS FOR FEEDING AND ORIENTING PARTS

4.1.1 Assembly line for parts of an automatic circuit breaker

The different variants are shown in Fig. 4.1.

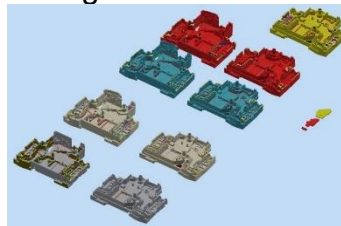


Fig. 4.1 Parts from different models of automatic circuit breakers

Functional synthesis and selection of technical means

The required functions are:

- Orientation of parts “Cover” and “Case”, “Flange”, “Shield”, and “Thermal screw”
- Feeding of all parts
- Manipulation of all parts of the “Pick-and-place” type
- Ultrasonic welding of the “Flange”
- Transport between individual stations
- Quality control after placement of the Flange

- Quality control after placement of the Shield
- Switching of the flow between acceptable and defective parts

Concept design (preliminary design)

A functional card is fully developed in Fig. 4.2 and Fig. 4.3. Due to the big dimension, it is separated into two interconnected parts.

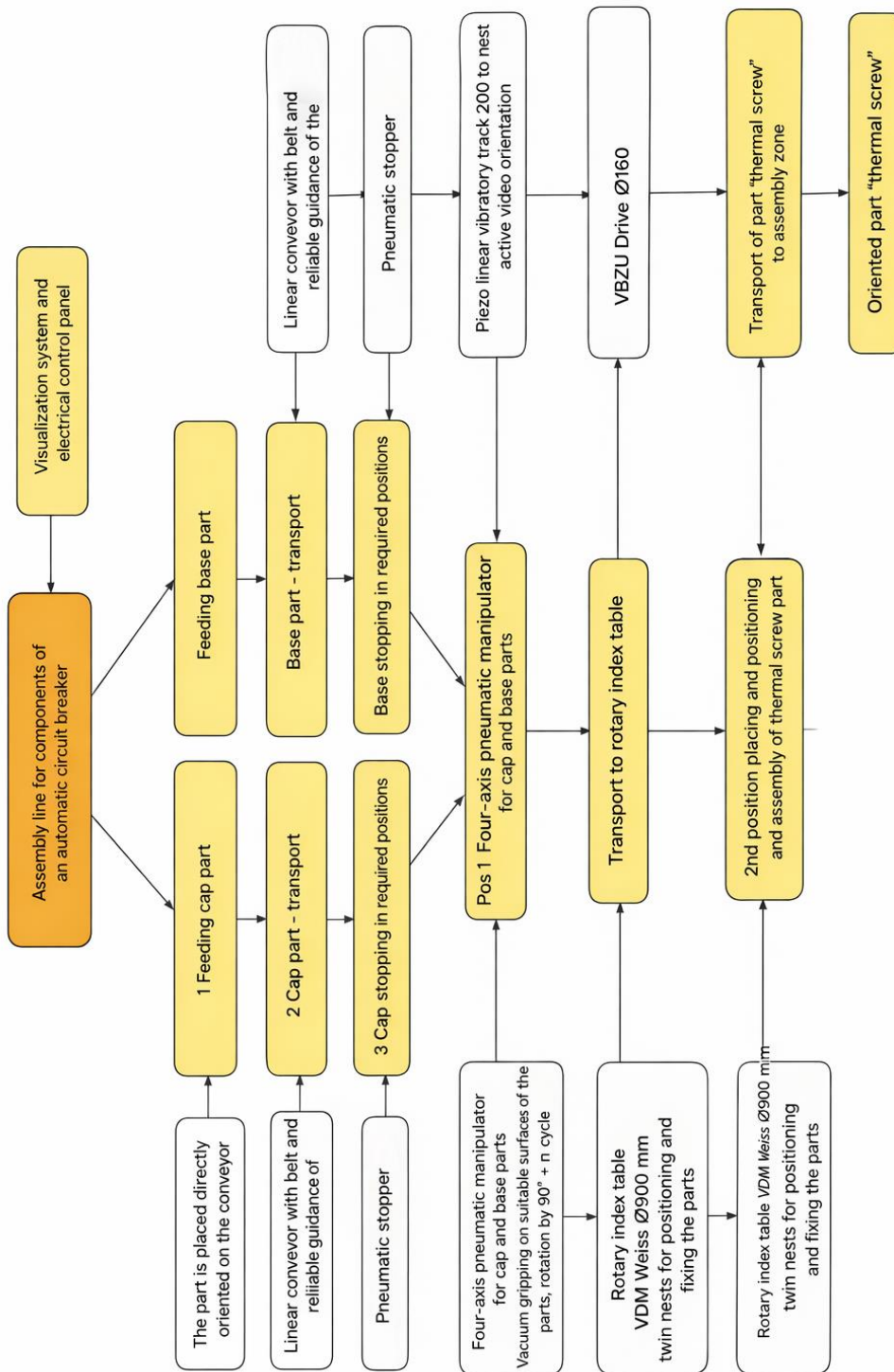


Fig. 4.2 Functional map – part 1

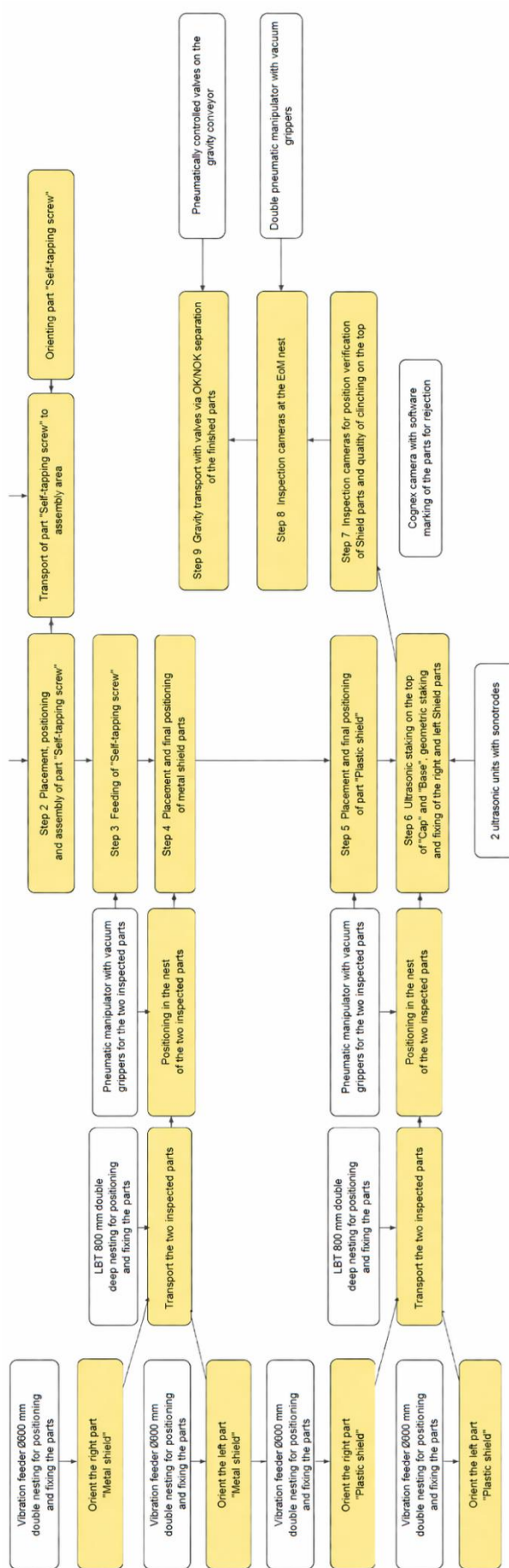


Fig. 4.3 Functional map - part 2

In Fig. 4.4, an image from the 3D model of the assembly line is presented, and in Fig. 4.5, the project schedule is presented..

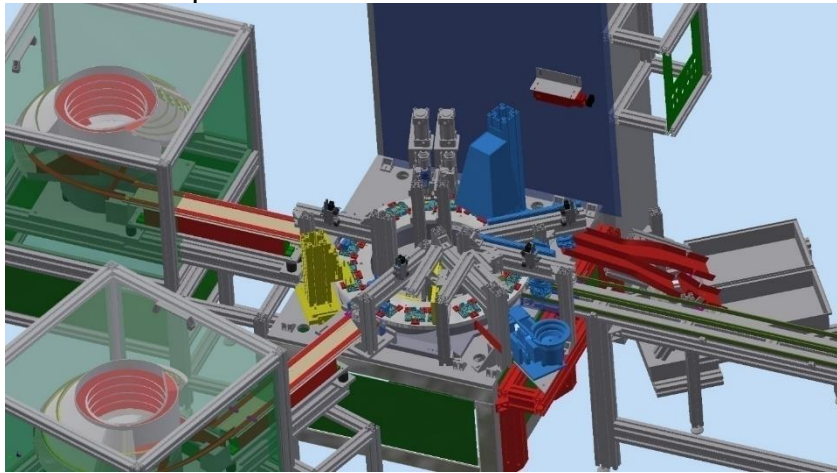


Fig. 4.4 Assembly line for parts of an automatic circuit breaker

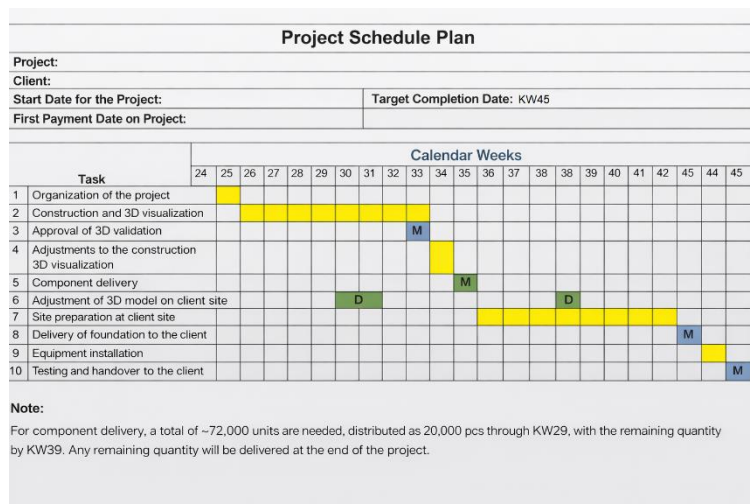


Fig. 4.5 Project schedule

4.1.2 System for assembly of an O-ring into a bushing

The task is to assemble the part “Bushing” (Fig. 4.13) and the part “O-ring” (Fig. 4.14).

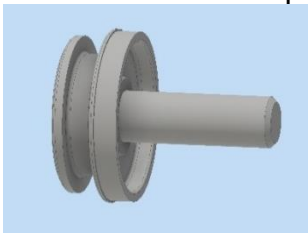


Fig. 4.13 Bushing



Fig. 4.14 O-ring

Functional synthesis and selection of technical means

In Fig. 4.15, the functional map of the device is shown.

The design of the machine after completion of the 3D model is shown in Fig. 4.16, and the assembly fixture in a closer view – in Fig. 4.17.

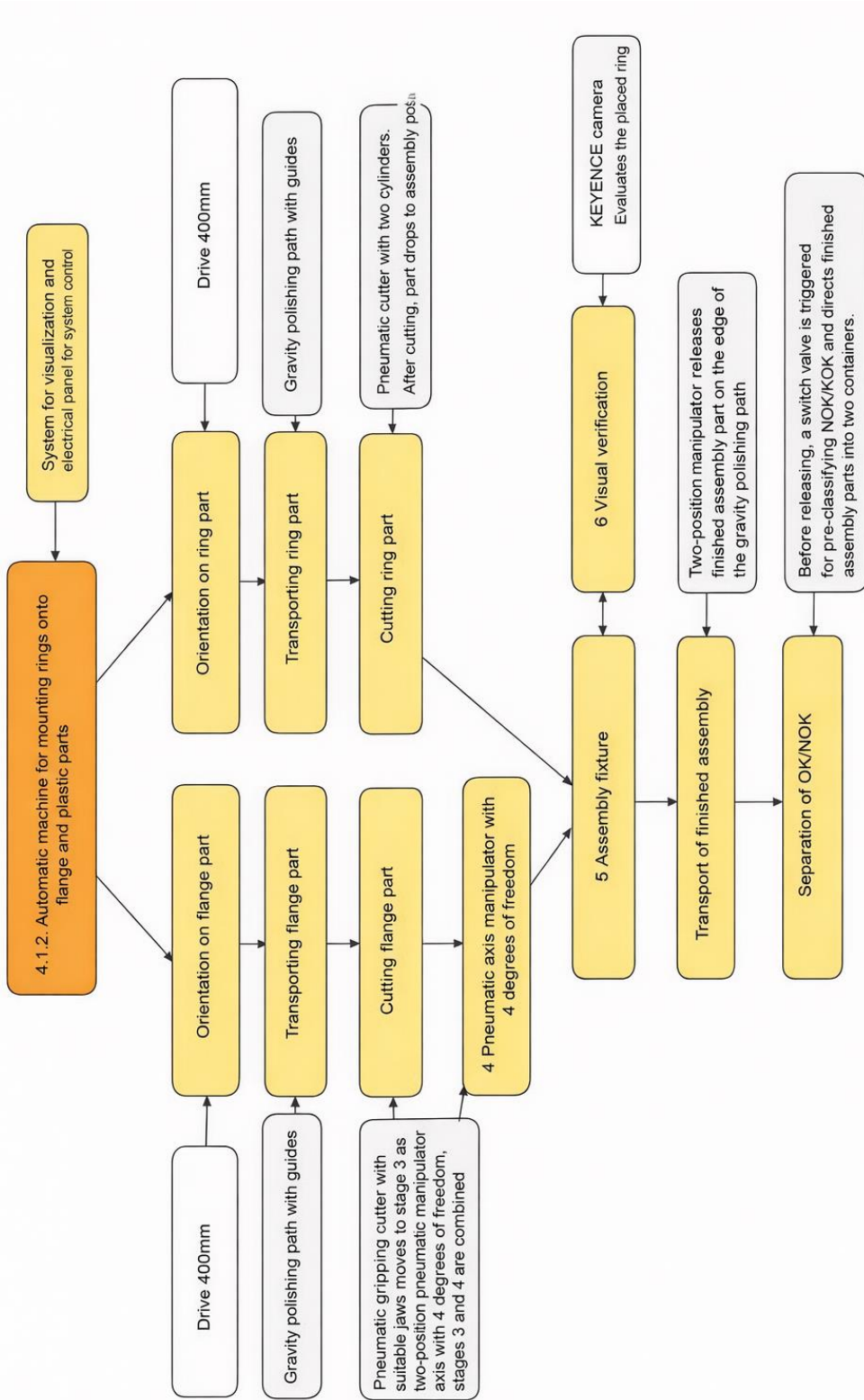


Fig. 4.15 Functional map of assembly machine for "O-ring" and "Bushing"

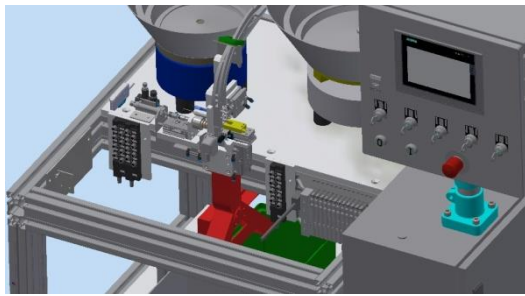
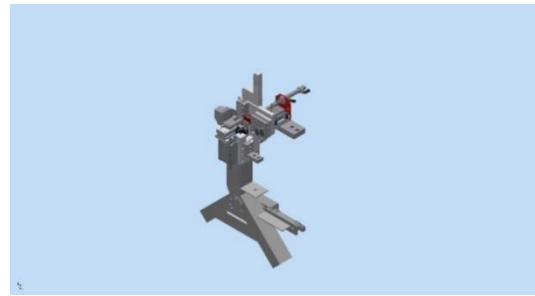


Fig. 4.16 System for assembly of Bushing and O-ring



Фиг. 4.17 Assembly mechanism – closer view

Control system design

The technical specification defines the requirement that the controller and the display be manufactured by Siemens AG, without specifying a particular model. The electrical power supply must be 1 × 230 VAC.

4.1.3 System for assembly of a unit consisting of a seal, nut, and stud

Process description:

Assembling of parts “Stud”, “Nut” and “Sealing” into a joint sub-assembly.

Types of parts – shown in Figures 4.18, 4.19 and 4.20:



Fig. 4.18 Part "Stud"

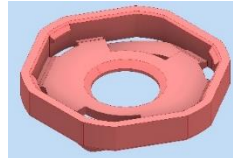


Fig. 4.19 Part "Nut"



Fig. 4.20 Part "Sealing"

Functional synthesis and selection of technical means

The functions are related to the assembly of the parts „Nut“ and „Sealing“ to part „Stud“. A suitable configuration would be a rotary table with two positions.

Design and production

The implemented design is shown in Fig. 4.21 and Fig. 4.22.



Fig. 4.21 System for assembly of a unit consisting of a seal, nut, and stud – front view

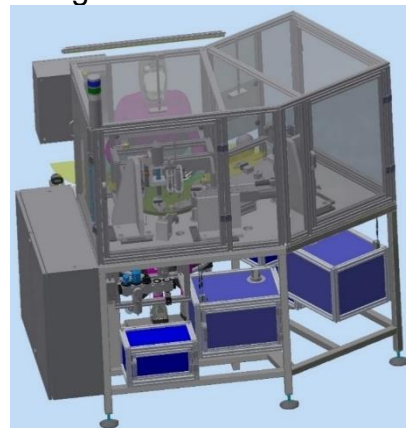


Fig. 4.22 System for assembly of a unit consisting of a seal, nut, and stud – back view

4.1.4 Line for processing and packaging of clams

Process description:

Processing and packaging of live mussels

Important features: the fastening of the net bag must be as tight as possible, so that the product (live mussels) does not lose its water and die.

Parts

Shown in Fig. 4.23 in packaged state:



Fig.4.23 Clams (alive)

Sequence:

The process begins with a manual inspection of the mussels by operators, who remove defective “parts.” Subsequently, precise weighing is performed into doses of 0.25 / 0.5 / 1 kg. The prepared doses are packaged in net bags.

Design

A view of the design of this assembly automated complex in 3D is shown in Fig. 4.24.

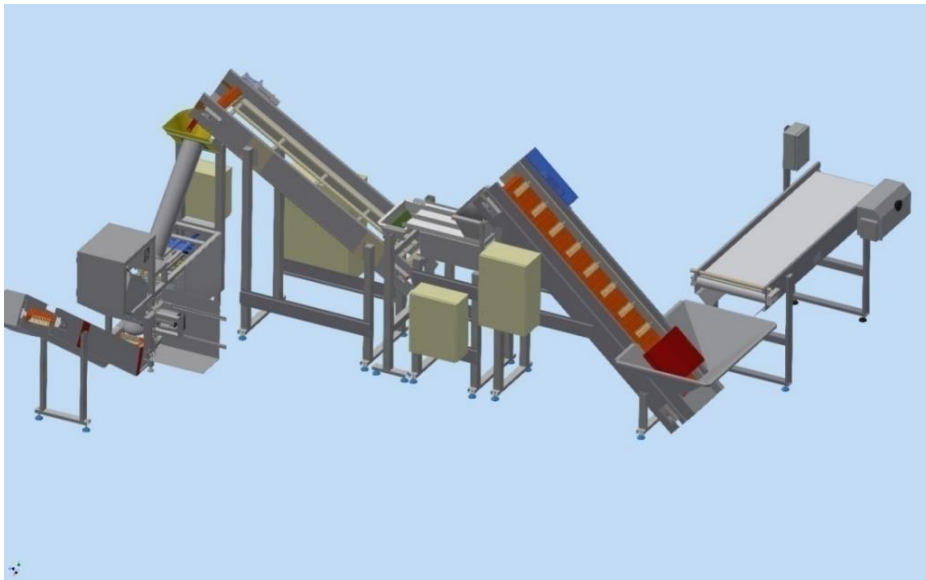


Fig. 4.24 Line for processing and packaging of clams

From a software perspective, the most challenging aspect is achieving the required accuracy. This is because mussels are a product with a high water content. During weighing, they exhibit a so-called impact effect, which may cause the control system of the weighing unit to register that the target weight has been reached, while this is not

actually the case. The control system provides the possibility to filter these impacts and reduce their effects.

However, the water is initially weighed, after which part of it drains under the equipment. This is a very unfavorable effect that makes weighing difficult, and the software must use specialized mathematical algorithms to predict when the exact dose has actually been achieved.

4.1.5 System for packaging of seeds

Process description

Packaging of various types of seeds.

Parts

Shown in Fig. 4.25 in ready, packaged state.



Fig. 4.25 Seeds for sowing

Design and production

The design of this assembly automated complex is shown in Fig. 4.26 and Fig. 4.27. The entire machine is built from a structure of aluminum profiles. The working area is implemented with a safety door equipped with an automatic lock, which prevents opening during operation. All working units are located within this enclosed space.

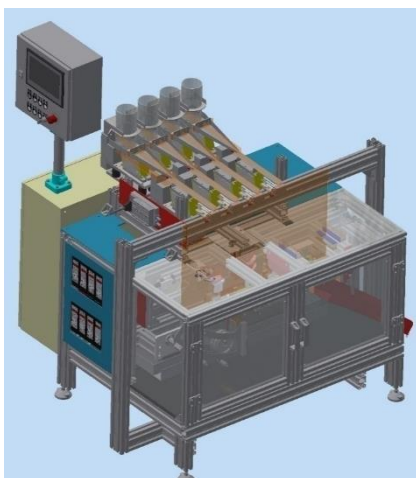


Fig. 4.26 System for packaging of seeds for sowing

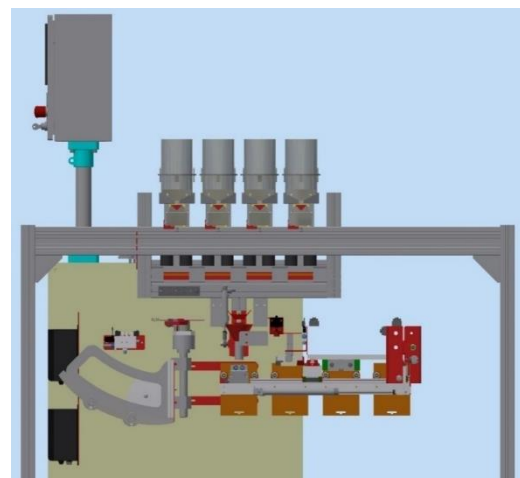


Fig. 4.27 System for packaging of seeds for sowing

4.2 Other automated systems

4.2.1 Marking system for metal sleeves

Process description

Laser marking of metal sleeves.

Two types of sleeves are transported on different types of carriers, whose lower part is identical (Fig. 4.28).

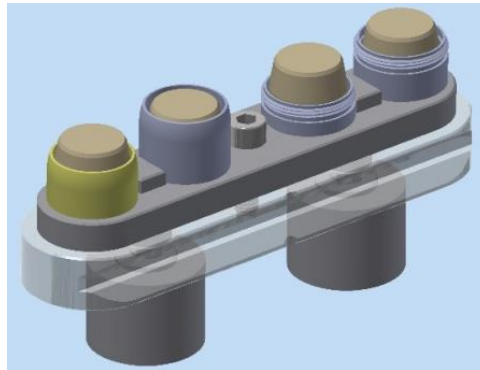


Fig. 4.28 Metal sleeves

Productivity: 1000 pcs / h

Important features: the working area must be protected; hazardous laser radiation must not be allowed.

Functional synthesis and selection of technical means

Placement of 4 parts into a carrier, which is performed by an operator. The parts enter the marking zone, where a stopper is installed. Only one carrier is allowed to enter the laser zone at a given moment.

The functional map is presented in Fig. 4.29.

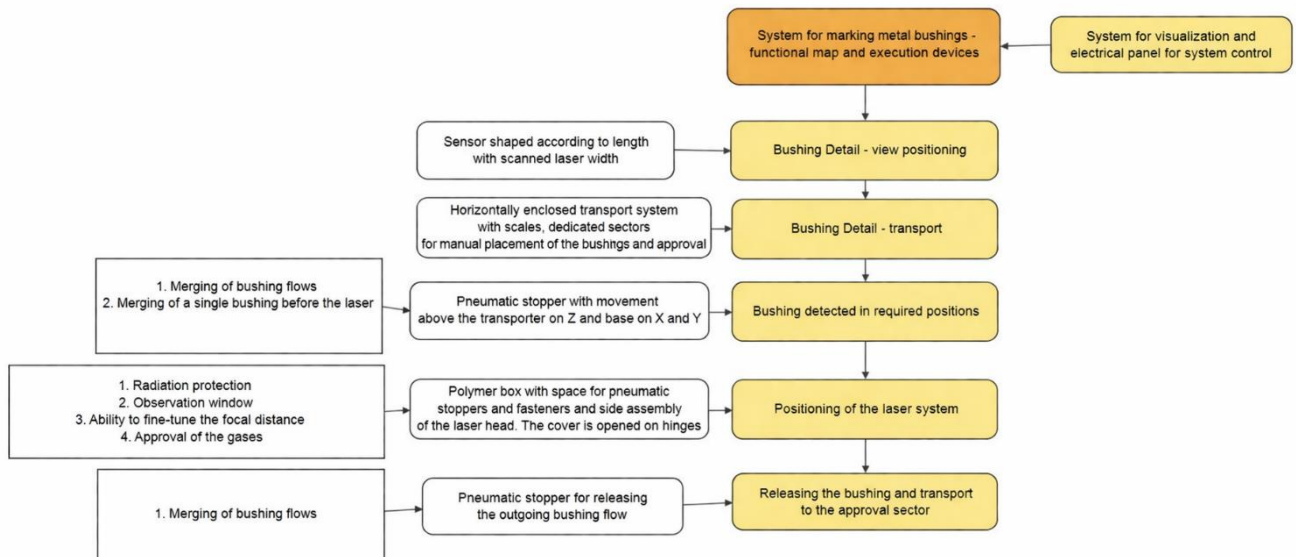


Fig. 4.29 Functional map for a machine for marking of metal sleeves

The design of the system for marking metal sleeves is presented in Fig. 4.30 and Fig. 4.31.

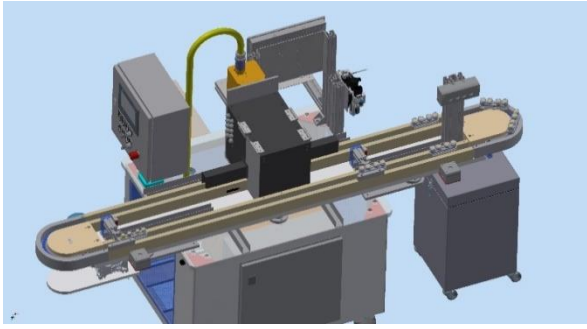


Fig. 4.30 System for marking of metal sleeves

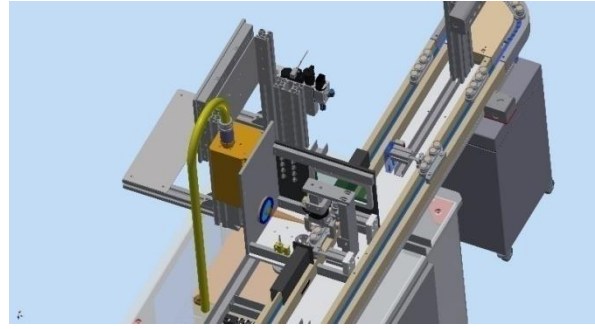


Fig. 4.31 System for marking of metal sleeves

4.2.2 System for feeding parts to an automated line for the production of sensors for the automotive industry

Process description:

Feeding of two sizes of parts to an automated line for the production of sensors for the automotive industry. The parts are shown in Fig. 4.32.

Parts:

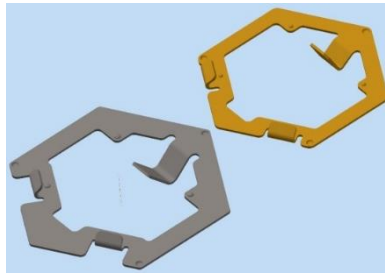


Fig.4.32 Parts from the production of a sensor for the automotive industry

The machine must be able to be withdrawn, allowing the manual feeding process to be restored. The selection of technical means for automation is determined by the functions that must be performed, rather than by the available equipment or preferences for specific technical solutions. Although mechatronic principles are common, each specific task requires attention to its particular details. Every production process, and in particular every assembly process, is determined by a clearly defined set of functions (feeding, orienting, gripping, positioning, assembly, control, etc.), which must be identified and analyzed before selecting specific technical means for automation. This enables a systematic and objective approach in the design of assembly automated complexes and reduces the risk of incorrect or premature decisions. It is beneficial if there is an existing manual production process from which functions can be derived, including analysis of their sequence, the overall cycle chart of the manual process, as well as other parameters.

The correct determination of functions is a necessary condition for the subsequent success of the project. Input requirements are usually defined by the client (the Contracting Authority), but in many cases they are not technically well-founded, and the description (if available) is in conversational form. This is due to the fact that most clients do not have an engineering background, although such cases do exist. It is the responsibility of the mechanical engineer to assist in completing and refining the technical specification. One of the most important components of any production process, and respectively the development of assembly automated complexes, is the required productivity.

Productivity is essential because it is a quantitative measure. Quality requirements are a stage that must not be omitted, neither with regard to the input components (individual parts) nor with regard to the assembled units. Defining precise requirements is a necessary condition for the further execution of the order and the contract as a whole. Although the contract is a legal subject and the responsibility of legal professionals, all accompanying documents such as the technical specification, drawings, and other essential parts are an integral part of it. Additionally, it is important that these documents are signed by the contracting authority (in general for assembly automated complexes, but not limited to them), in order to ensure that the required quality is officially accepted. Any future defects caused by parts that do not meet the required quality are not considered defects nor a problem of the developed mechatronic system.

The constraints are usually related to the installation space, both at the contractor and at the end client. Fig. 2.23 graphically shows the sequence for determining the functions of a given process, as well as their main parameters.

An image from the 3D model is shown in Fig. 4.33.

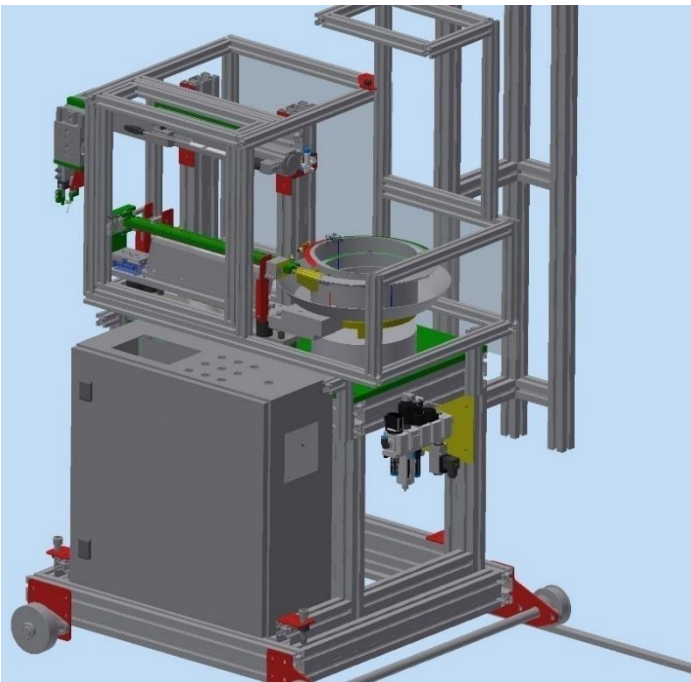


Fig. 4.33 System for feeding parts to an automated line for the production of sensors for the automotive industry

4.2.3 System for marking handles for automatic circuit breakers

Process description:

Marking of two types of handles for automatic circuit breakers, where one type is shown in Fig. 4.34 together with the corresponding carrier. The carriers for the other type differ in the upper part. The lower part is common for all carriers.

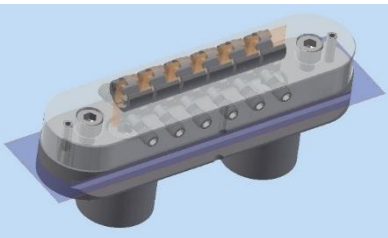


Fig.4.34 Carrier for one type of parts

Functional synthesis and selection of technical means

The main functions of the machine are:

- Orientation of two types of handles with different geometry
- Loading of the handles into carriers
- Front-side marking station
- Rear-side marking station
- Front-side machine vision inspection station
- Rear-side machine vision inspection station
- Station for unloading handles to acceptable / defective containers
- System for handling boxes with a buffer of 3 boxes – section for empty boxes, section for active box, and section for full boxes

Design and production

The machine design is shown in Fig.4.35.

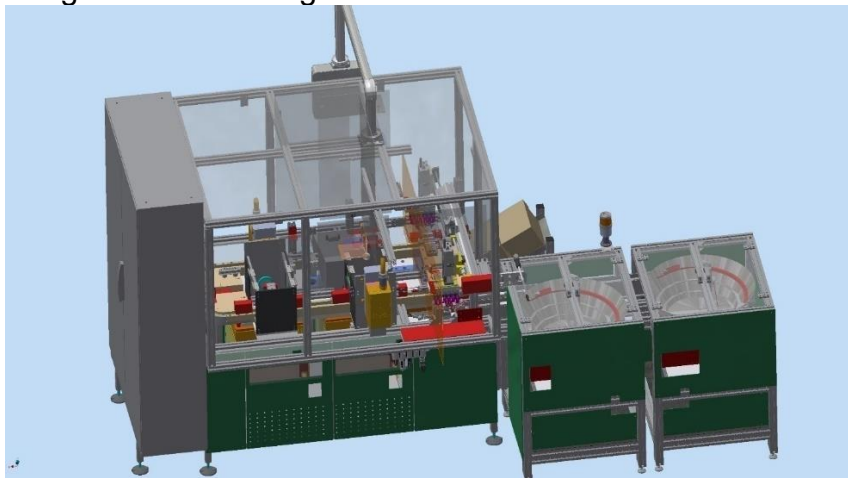


Fig. 4.35 System for marking handles for automatic circuit breakers

4.3 Conclusions

1. In this chapter, 5 original designs of assembly automated complexes were presented, for some of which the process from design to implementation at the client was traced in detail, applying the systematic approach from Chapter 3.
2. The systematic approach is not a guarantee for trouble-free execution of a given project, but it is a platform on which one can rely in a standardized manner and easily track the different stages of the project.
3. The approach allows adaptation, scaling (it does not depend on the size of the projects), and modifications according to specific needs or the personal preferences of the designers working with it.

SCIENTIFIC-APPLIED CONTRIBUTIONS

1. A systematic approach for the design of assembly automated complexes has been developed, representing an organized set of methodologies, classifications, procedures, and recommendations, consisting of 28 stages, for each of which the main tasks are clarified and a toolkit for their solution is proposed.
2. Based on defined principles, a methodology has been developed to support the selection of technical means for the implementation of the set of functions of assembly automated complexes.
3. The main types of technical means for the construction of assembly automated complexes have been systematized.

APPLIED CONTRIBUTIONS

1. The developed toolkit has been validated for solving industrial tasks implemented in production, with original designs developed for:

a) automated complexes for:

- assembly of automatic circuit breakers;
- assembly of a unit including an O-ring and a bushing;
- assembly of a unit including a fastening element of the “stud” type, a nut, and a seal;
- packaging of mussels;
- packaging of seeds;

b) automated mechatronic systems for:

- marking of metal sleeves;
- feeding of parts to an automated machine for the production of sensors for the automotive industry;
- marking of handles for automatic circuit breakers;

2. The characteristics of the assembled parts, determined by their manufacturing technology, which negatively affect the productivity and reliability of assembly automated complexes, have been analyzed.

3. Recommendations to designers of assembly automated complexes for effective work and for the development of a technical specification have been formulated.

4. The functions, responsibilities, and relationships between the main participants in the process of development of assembly automated complexes have been defined.

PUBLICATIONS RELATED TO THE DISSERTATION

1. Mitev, V., & Malakov, I. (2024). Analysis of the quality of polymer parts for automatic assembly. In *Proceedings of the International Conference on Electronics, Engineering Physics, and Earth Science (EEPES 2023)*, Kavala, Greece (21–23 June 2023). *AIP Conference Proceedings*, 3063(1), 060012. <https://doi.org/10.1063/5.0195873>
2. Mitev, V., Mitev, K. (2022). Definition of parameters, functions, functional zones, and elements of a device for orienting caps of the spray pump type. *XXXI International Scientific and Technical Conference "ADP-2022"* (pp. 63–65), ISSN: 2682-9584. Sozopol: Technical University of Sofia.
3. Mitev, V. (2020). Design of an assembly machine for the part "wing seal" and stainless steel strip. *XXXIX International Scientific and Technical Conference "ADP-2020"* (pp. 101–103), ISSN: 2682-9584. Sozopol: Technical University of Sofia.
4. Mitev, V. (2018). Analysis of the conditions for assembly of the part thermal lever. Rigidity and precision versus elasticity and adaptability. *XXVII International Scientific and Technical Conference "ADP-2018"* (pp. 150–156), ISSN: 2682-9584. Sozopol: Technical University of Sofia.

SUMMARY

SYSTEMATIC APPROACH FOR DESIGN OF ASSEMBLY AUTOMATED COMPLEXES

Valko Mitev

The present dissertation is devoted to the development of a systematic approach for the design of assembly automated complexes (AAC), which represents a significant engineering challenge in contemporary industrial production. The increasing demand for productivity, quality, flexibility and traceability requires structured methodologies that support designers in making technically and economically justified decisions throughout the entire project lifecycle.

In Chapter 1 a comprehensive review and analysis of the problem is presented. The specific features of assembly automated complexes as engineering objects are examined, including their interdisciplinary nature, limited serial production, and strong dependence on the characteristics of the assembled parts. Existing design methodologies, including general-purpose engineering design approaches and assembly-oriented methods, are analysed. Special attention is dedicated to the limitations of currently known methodologies regarding the selection of technical means in relation to part characteristics. Based on the conducted analysis, the aim and the research tasks of the dissertation are formulated.

Chapter 2 presents a developed methodology for supporting the selection of technical means for implementation of manipulation functions in automated assembly. The influence of part characteristics such as geometry, dimensions, material, surface properties and tolerances is systematized. Criteria for evaluating the suitability of parts for automatic assembly are defined. The proposed methodology assists designers in identifying appropriate technical solutions by considering both functional requirements and technological constraints, while reducing risk at early design stages.

In Chapter 3 a systematic approach for the design of assembly automated complexes is developed. The approach is structured into sequential stages, beginning with the meeting with the customer and analysis of the technical specification, followed by functional decomposition, selection of technical means, substitution with available automation components, and synthesis of original solutions when standard components are insufficient. Each stage includes decision points and recommendations for designers. Emphasis is placed on risk reduction, documentation, interdisciplinary collaboration, economic justification and compliance with safety and regulatory requirements. The approach is scalable and adaptable to projects of different complexity and size.

Chapter 4 demonstrates the application of the developed methods, which have been tested. Original constructions of automated systems and subsystems are presented, including systems for feeding, orienting, assembling and quality control of parts. The systematic approach is applied in real industrial conditions, validating its practicality and effectiveness. The results confirm that structured stage-based design improves traceability, decision transparency and overall project reliability.

The dissertation concludes with a summary of the achieved scientific and applied contributions. The proposed approach provides a structured platform for engineering practice, supports informed decision-making, and contributes to increasing the efficiency and sustainability of assembly automated complexes.