



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

МАШИНОСТРОИТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ

катедра „Автоматизация на дискретното производство”

маг. инж. СЛАВ БОЯНОВ ДИМИТРОВ

ИЗСЛЕДВАНЕ ПРОЦЕСА НА АВТОМАТИЗИРАНО ЗАТВАРЯНЕ НА
СЪДОВЕ С ВИНТОВИ КАПАЧКИ

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 |

Научни ръководители: **доц. д-р инж. Стилиян Николов Николов**
доц. д-р инж. Ренета Красиминова Димитрова

СОФИЯ, 2017

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Автоматизация на дискретното производство” към Машиностроителния факултет на ТУ-София на редовно заседание проведено на 29.05.2017 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 12.09.2017 г. От 13.00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед

№ ОЖ-221/ 02.06.2017 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р Димчо Чакърски – председател
2. доц. д-р Стилиян Николов – научен секретар
3. проф. д.т.н. Христо Шехтов
4. проф. д-р. Веселин Павлов
5. проф. д-р Роман Захариев

Рецензенти:

1. проф. д-р Димчо Чакърски
2. проф. д.т.н. Христо Шехтов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Машиностроителния факултет на ТУ-София, блок №4, кабинет № 3242.

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

Номерата на параграфите, фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

Автор: маг. инж. Слав Димитров
Заглавие: Изследване процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки
Тираж: 30 броя
Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Цел на изследването

Целта на дисертационния труд е изследване на основните параметри на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с използване на винтови капачки и влиянието на тези параметри върху крайния резултат.

Актуалност на проблема

Съдовете, затворени с винтови капачки намират все по-широко разпространение в различни области на съвременният бит, от хранително-вкусовата промишленост през медицината до индустрията. Дейностите, свързани с техният жизнен цикъл от производството през употребата им до възможностите за повторно използване и рециклиране са актуални на фона на нарастващият им се обем.

Научна новост

Разработване на класификации, на винтовите капачки използвани за затваряне на различни съдове и на системите за автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.

Анализ на проблемите в съществуващите решения за автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.

Определяне на технологичността на различни видове винтови капачки и тяхната пригодност за автоматизация на процеса затваряне.

Проектиране и изработване на стенд за изследване на параметрите на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.

Разработване на методика за експериментални изследвания на влиянието на основните параметри на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки върху крайния резултат.

Извършване на изследванията с разработения стенд и обработка на получените резултатите.

Практическа приложимост

Резултатите от дисертационния труд са приложими в инженерната практика на фирма SPV, при проектирането и внедряването на системи за автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.

Обект на изследване

Обект на изследване са винтовите капачки и машините за автоматизирано затваряне на съдове с тях.

Предмет на изследване

Предмет на изследването са основните параметри на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с използване на винтови капачки и тяхното влияние върху работата на машините за автоматизиране на този процес.

Методи на изследване

Проведени са изследвания със специално изработен за целите на дисертационния труд стенд в условията на класически и планиран многофакторен експеримент.

Място на изследване

Изследванията свързани с дисертационния труд са проведени във фирма Rota Machinery и в лабораторната база на катедра „Автоматизация на дискретното производство” на МФ при Технически университет – София.

Одобряване на изследването

Работата е докладвана и одобрявана поетапно в катедра „Автоматизация на дискретното производство” на Технически университет – София.

Публикации по дисертационния труд

Основните резултати от дисертационния труд са публикувани в 4 научни публикации. Две от тях са самостоятелни и две в съавторство с научните ръководители. Списък с нпубликациите е приложен в края на автореферата.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд съдържа основна част от 140 страници, структурирани в пет глави, списък на използваната литература и списък на публикациите по дисертацията. Работата включва общо 100 фигури и 36 таблици.

Списъкът с използваната литература съдържа 64 източника, като 22 са на латиница и 28 на кирилица и останалите са интернет адреси.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1

АКТУАЛНО СЪСТОЯНИЕ НА АВТОМАТИЗИРАНОТО ЗАТВАРЯНЕ НА СЪДОВЕ С ВИНТОВИ КАПАЧКИ

Затварянето на съдовете за съхранение на течности има две основни функции:

- предпазване на съдържанието на съда от разливане, по време на съхранение и транспортиране;
- запазване на качествата на съхранявания продукт.

За постигане на тези цели се използват два основни метода на затваряне чрез тапи или чрез капачки.

Винтовите капачки имат различна конструкция, която зависи от съда за който са предназначени и съхраняваната в него течност.

Независимо от тези различия, основните размери, характеризиращи една винтова капачка са:

- външни диаметри D и d
 - диаметър на основата D [mm];
 - диаметър на надстройката d [mm], само при винтови капачки с допълнителни елементи за бързо отваряне или други функции;
- височина H [mm], включваща основата, надстройката и допълнителната втулка, ако има такава;
- вътрешен диаметър D_i [mm] диаметъра, по който се избира допълнителното уплътнение, ако е необходимо;
- диаметър на резбата.

Автоматичните машини за затваряне на съдове с винтови капачки се използват при необходимост от затваряне на големи по обем серии от съдове с винтови капачки. При тях процесът на затваряне е напълно автоматизиран. Отделните стъпки в този процес са:

- ориентиране и подаване на капачките към позиция за поставяне върху отвора на затваряния съд (1);
- ориентиране и подаване на съдовете към позицията за поставяне на капачките върху затваряния отвор (2);
- поставяне на капачките върху отвора (3);
- придвижване към позицията за затваряне (4);
- затваряне (5);
- извеждане на затворения съд от позицията за затваряне (6).

Машините от този тип могат да се използват самостоятелно или като част от автоматична линия за пълнене на съдове с течности и тяхното последващо пакетиране и палетизиране. Когато машините се използват самостоятелно, някои от горе изброените стъпки могат да изискват участието на работник (зареждане на съдовете в ориентирано състояние, магазиниране на капачките.

1.5. Изводи:

- Направен е обзор на използването на съдовете за съхранение и транспорт на течности и методите на тяхното затваряне.
- Разгледани са конструктивните особености на винтовите капачки, различните резби използвани в тях и начините за изработването им.
- Направен е обзор на съществуващи решения на затваряне на съдове с винтови капачки.
- Въз основа на съществуващите решения са дефинирани основните стъпки на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.

- Не съществува класификационна система обхващаща използваните в момента винтови капачки, предлагани на пазар от различни производители, която да улесни избора на решения при разработване на машини за автоматизирано затваряне на съдове с тях.
- Съществува голямо разнообразие от решения за извършване на процеса автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки, но липсва система за тяхното класифициране, която би подпомогнала избора на оптимално решение за всеки конкретен случай.
- Оскъдни са публикациите посветени на пригодността на различните видове винтови капачки за автоматизирано затваряне и свързаните с това проблеми.
- Липсват публикации за изследване на основните параметри на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки и влиянието им върху крайния резултат.

Целта на дисертационния труд е изследване на основните параметри на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с използване на винтови капачки и влиянието на тези параметри върху повишаване ефективността на автоматизираните системи.

За постигане на тази цел е необходимо да се решат следните **основни задачи**:

- Разработване на класификации на използваните винтови капачки и на системи за автоматизирано затваряне на съдове с тях.
- Анализ на проблемите в съществуващите решения за автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.
- Определяне на технологичността на различни видове капачки и тяхната пригодност за автоматизация на процеса затваряне.
- Проектиране и изработване на стенд за изследване на параметрите на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.
- Разработване на методика за експериментални изследвания на влиянието на основните параметри на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки върху крайния резултат.
- Провеждане на експериментални изследвания с разработения стенд и обработка на получените резултати.

ГЛАВА 2 ПРОБЛЕМИ ПРИ АВТОМАТИЗИРАНОТО ЗАТВАРЯНЕ НА СЪДОВЕ С ВИНТОВИ КАПАЧКИ

2.1. Класификация на винтови капачки

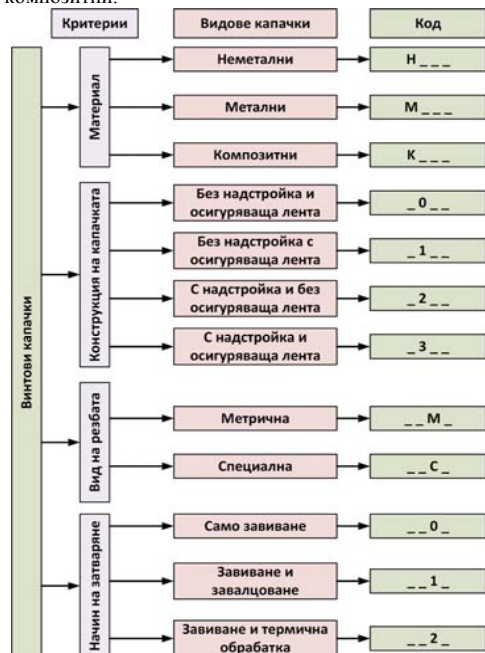
Въпреки голямото разнообразие на използваните за затваряне на съдове винтови капачки не съществува единна система за тяхното класифициране. На фиг.2.1 е показана разработената от автора класификация на съществуващите винтови капачки, в която е включен и буквено цифров идентификационен код за всеки вид винтови капачки.

В класификацията са въведени следните класификационни признаци:

➤ **Материал**

В предложения идентификационен код материалът, от който се изработват капачките се показва с първата буква на кода:

- **Н** - неметални;
- **М** - метални;
- **К** - композитни.



Фиг.2.1 Класификация на винтови капачки

➤ **Конструкция на капачките**

В предложения идентификационен код конструкцията на капачките се показва чрез цифра записана на втора позиция в кода, която означава:

- **0** - без надстройка и осигуряваща лента;
- **1** - без надстройка с осигуряваща лента;
- **2** - с надстройка и без осигуряваща лента;
- **3** - с надстройка и осигуряваща лента.

➤ **Вид на резбата**

В предложения идентификационен код видът на резбата се показва с буква записана на третата позиция в кода, която означава:

- **М** - метрична резба;
- **С** - специална резба;

➤ **Начин на затваряне**

В предложения идентификационен код начина на затваряне на капачките се показва чрез цифра записана на последната позиция в кода, която означава:

- **0** – само завиване;
- **1** – завиване и завалцоване;
- **2** – завиване и термична обработка.

На фиг.2.2 са показани различни видове винтови капачки, тяхната идентификация по предлаганата класификация е както следва:

а/ композитна, без надстройка и осигурителна лента, специална резба, завиване и термична обработка - код **К0С2**;

б/ метална, без надстройка и осигурителна лента, специална резба, само завиване - код **М0С0**;

в/ неметална, без надстройка с осигурителна лента, специална резба, само завиване - код **Н1С0**;

г/ метална, без надстройка с осигурителна лента, метрична резба, завиване и завалцоване - код **М1М1**;

д/ композитна, с надстройка, без осигурителна лента, метрична резба, само завиване - код **К2М0**;

е/ композитна, с надстройка и осигурителна лента, специална резба, само завиване - код **К3С0**.



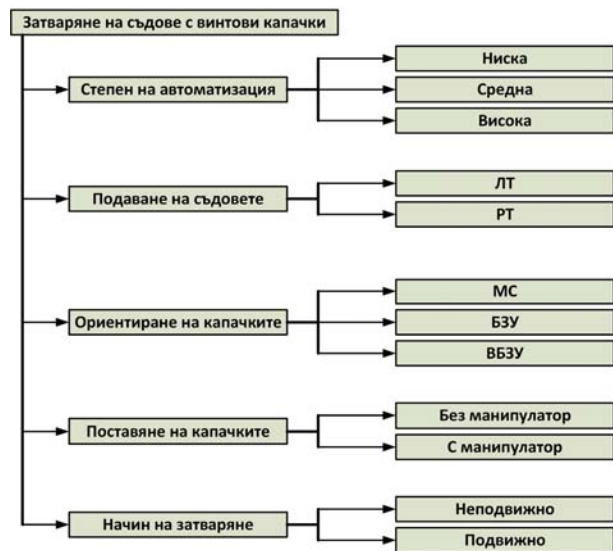
Фиг.2.2 Различни типове винтови капачки

Разработената кодираща система позволява да се улесни търсенето на решение за автоматизиране на процеса на затваряне, за винтови капачки с подобна конструкция.

2.2. Класификация на съществуващите решения за автоматизирано затваряне съдове с винтови капачки

Въз основа на направения в точка 1.4 анализ на съществуващите решения за затваряне на съдове с винтови капачки е разработена класификация, фиг.2.3 на използваните за целта машини. Въведени са следните класификационни признаци:

- Степен на автоматизация
- Подаване на съдовете
- Ориентиране на капачките
- Поставяне на капачките
- Начин на затваряне



Фиг.2.3 Класификация на машините за затваряне на съдове с винтови капачки

2.5. Проблеми при автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки

На база на извършения обзор в глава 1 на различните типове винтови капачки и съществуващите решения, използвани при затваряне на съдове с тях, могат да се дефинират следните групи проблеми.

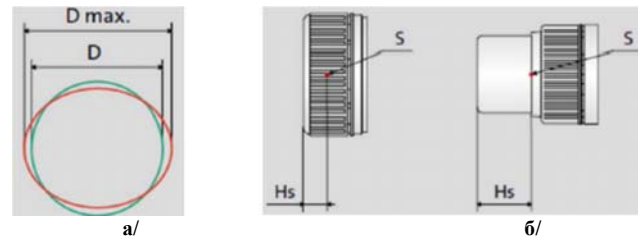
2.5.1. Проблеми с некачествено изработени пластмасови съдове и капачки

Неприемливото качество на бутилките от полиетилентерефталат (PET) по отношение на физико-механичните им показатели се изразява в много на брой дефекти. Някои от тях са:

- спукване на бутилките, при което се причинява загуба на съдържанието;
- меки, неустойчиви стени, които не позволяват нормалното използване на бутилките;
- загуба на CO₂;
- ниска устойчивост на статично осево натоварване;
- недобро изпълване на формата.

2.5.2. Проблеми с конструкцията на капачките

Конструкцията на винтовите капачки оказва съществено влияние върху машините използвани за автоматизиране на процеса на затваряне. Параметрите от конструкцията, които са особено важни за правилното протичане на автоматичното затваряне са показани на фиг.2.13. Те са:



Фиг. 2.13 Проблемни параметри

- **Овалност на капачката** – дава разликата между номиналния диаметър на капачката и максималния диаметър, който се получава при деформирането на капачката в резултат на извършваните с нея манипулации. Определя се по формулата:

$$O = D_{max} - D \text{ [mm]}.$$

Овалността трябва да е в определени граници, за да може да се постави капачката върху затваряния отвор фиг.2.12. а.

- **Център на тежестта на капачката** – задава положението на центъра на тежестта на капачката, като разстоянието (H_s фиг.2.12.б) до него в милиметри от челната ѝ повърхнина. Оказва влияние на средствата, които ще се използват за ориентиране на капачките.

Завиващите глави в машините за автоматично затваряне на винтови капачки се изработват за конкретен тип капачки. Капачките със сложни и несиметрични надстройки, изискват разработване на затварящи глави с по-сложни конструкции. Това води до увеличаване на цената на машините, поради което използването на винтови капачки с такива надстройки се използва, само когато това се налага от функционалността на крайния продукт.

2.5.3. Проблеми с начина на затваряне на винтовите капачки

Основните начини на затваряне на винтовите капачки бяха дефинирани в точка 2.1. Проблемите които възникват при всеки един от тези начини са разгледани по долу.

➤ Само завиване

Основните проблеми при този начин са свързани с деформирането на капачките от затварящата глава фиг.2.14 [64]. Това може да доведе до невъзможност за осъществяване на затварянето или до промяна на формата и външния вид на капачката, със следващи проблеми при отварянето или влошен търговски вид.



Фиг. 2.14 Деформиране на капачката от затварящата глава

➤ Завиване и завалцоване

Проблемите при този начин на затваряне са свързани с нарушаване целостта на капачката при завалцоване фиг.2.15 [62]. В резултат на това може да се наруши херметичността на затварянето и да доведе до трудности при отварянето на капачката.



Фиг. 2.15 Деформиране на капачката от завалцоване и от термична обработка

➤ Завиване и термична обработка

Проблемите при този начин на затваряне са свързани с деформиране на капачката в резултат на термичната обработка фиг.2.16 [61]. При промяната на температурата може да се получи огъване на челната повърхнина на капачката, което да доведе до нарушаване на херметичността на затварянето и до трудности при отварянето на капачката.

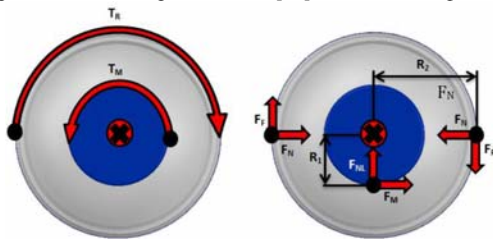
Когато машините за автоматично затваряне са част от автоматични линии, то в структурата на тези линии обикновено се включват позиции, на които се контролира качеството на затваряне и отстраняване на съдовете, в които се наблюдават някои от разгледаните дефекти.

2.5.4. Проблеми със силата на затваряне

Силата на затваряне се реализира в резултат на завиването на винтовата капачка към отвора на затваряния съд. Тя осигурява херметичността необходима за съхраняване на продукта в съда.

Проблемите тук са свързани с получаване на недостатъчна затваряща сила, което ще доведе до загуба на съхранявания продукт или получаване на прекалено голяма затваряща сила, което ще затрудни отварянето.

Схемата за определяне на затварящата сила [42] е показана на фиг.2.16.



Фиг. 2.16 Схема за определяне на затварящата сила

В тази схема:

- T_M е приложеният въртящ момент;
- T_R – необходимият въртящ момент;
- F_M – необходимата радиална затваряща сила;
- F_N – аксиалната сила;
- F_F – силата на триене;
- R_1 – радиусът на гърлото на отвора;
- R_2 – радиусът на резбата.

2.6. Изводи

- ❑ Разработена е класификация на различни типове винтови капачки, по четири основни признака и е предложена система за кодирано означаване на различните видове винтови капачки.
- ❑ Разработена е класификация на машините използвани за затваряне на съдове с винтови капачки по пет признака.
- ❑ Разработената кодираща система позволява да се улесни търсенето на решение за автоматизиране на процеса на затваряне, за винтови капачки с подобна конструкция.
- ❑ Направен е анализ на технологичността и монтажнопригодността на различните видове винтови капачки
- ❑ Автоматизацията на процеса на затваряне на съдове с винтови капачки е от средна и висока сложност, при което е целесъобразно извършването на експериментални проверки.
- ❑ Анализирани са основните проблеми възникващи в процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки и влиянието им върху крайния резултат.

ГЛАВА 3 ПРОЕКТИРАНЕ НА СТЕНД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ПРОЦЕСА НА АВТОМАТИЗИРАНО ЗАТВАРЯНЕ НА СЪДОВЕ С ВИНТОВИ КАПАЧКИ

3.1. Основни изисквания към стенда

Отчитайки препоръките дадени в [14, 42, 44, 46], при проектирането и реализацията на стенда се предвиждат следните характерни етапи:

- Определяне на основните изисквания към стенда;
- Разработване на концептуален модел на стенда;
- Определяне на покупните елементи и тяхното осигуряване;
- Разработване на 3D модел на стенда;
- Разработване на 3D модели на компонентите на стенда;
- Разработване на конструктивна документация на стенда;
- Разработване на технологична документация за изработване на оригиналните детайли и възли;
- Монтаж на стенда;
- Задвижване на стенда;
- Настройване и програмиране на стенда;
- Функционални изпитания на стенда;

Въз основа на направения по-горе анализ, на машините използвани за затваряне на съдове с винтови капачки за разработвания стенд за изследване на параметрите на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки, са определени следните основни изисквания:

- възможност за използване на различни видове винтови капачки;
- възможност за използване на различни затваряни съдове;
- възможност за управление на основните параметрите на процеса на затваряне - честота на въртене и притискаща сила;
- възможност за промяна начина на подаването на капачките в зоната на завиване;
- мобилна и ремонтпригодна конструкция на стенда;
- минимална цена.

3.3. Принцип на действие на стенда

Основните операции при работа с разработвания стенд са:

1. Поставяне на необходимата за съответния тип винтова капачка затваряща глава

2. Настройване на параметрите на автоматично подаване на капачките в зоната за поставяне върху отвора на затваряния съд
3. Зареждане на капачките в МС
4. Настройване на ЛТ към габаритите на затваряните съдове
5. Зареждане на затваряните съдове на ЛТ
6. Задаване на параметрите на процеса на затваряне.
7. Стартира се процеса на затваряне.
8. Затворените съдове се свалят ръчно от ЛТ и се прави оценка на качеството на затваряне.
9. След изчерпване на заредените в МС капачки стенда спира автоматично.

3.3. Принцип на действие на стенда

Основните операции при работа с разработвания стенд са:

1. Поставяне на необходимата за съответния тип винтова капачка затваряща глава
2. Настройване на параметрите на автоматично подаване на капачките в зоната за поставяне върху отвора на затваряния съд
3. Зареждане на капачките в МС
4. Настройване на ЛТ към габаритите на затваряните съдове
5. Зареждане на затваряните съдове на ЛТ
6. Задаване на параметрите на процеса на затваряне.
7. Стартира се процесът на затваряне.
8. Затворените съдове се свалят ръчно от ЛТ и се прави оценка на качеството на затваряне.
9. След изчерпване на заредените в МС капачки стендът спира автоматично.

За изследването на определен комплект съд - винтова капачка е необходимо:

- Разработване на конкретна конструкция на държач на затваряните съдове (поз.5 фиг.3.1), която да позволява отсичането и евентуално фиксиране на конкретния съд в позицията за затваряне на стенда;
- Разработване на конструкция на затваряща глава (поз.6, фиг.3.1), която да позволява захващането на конкретната капачка и предаване на необходимите движения, за осъществяване затварянето;
- Разработване на конструкция на МС (поз.3, фиг.3.1), която да позволява магазинирането на определен брой капачки в ориентирано положение и тяхното подаване в зоната за поставяне върху отвора на затваряния съд.

При разработването на тези конструкции се използват базови модели на съответните модули, в които повърхнините за присъединяване на модулите към стенда са постоянни, а се променят само повърхнините контактуващи с комплекта съд - винтова капачка.

Програмируемият контролер, използван в системата за управление на стенда, позволява предварително да се задават параметрите на движенията, изпълнявани от задвижванията на стенда и последователността на тяхното изпълнение. Това заедно с възможността за промяна на траекторията на подаване на капачките в зоната за поставяне върху отвора на затваряния съд, позволява да се изследват различни параметри на процеса на затваряне на съдове с винтови капачки.

3.4. Разработване на конструкцията на стенда

3.4.1. Определяне на работните параметри на стенда

С цел осигуряване на мобилност на разработвания стенд и отчитайки габаритните размери на повечето от съдовете затваряни с винтови капачки определям:

➤ Габаритни размери на затваряните съдове

Минимални / Максимални габаритни размери на затваряните съдове:

- Ширина - **0,05[m]** / **0,1[m]**;
- Дължина - **0,05[m]** / **0,2[m]**;

- Височина - **0,1[m]** / **0,35[m]**.

➤ Габаритни размери на винтовите капачки

Минимални / Максимални габаритни размери на винтовите капачки:

- Диаметър - **ø0,01[m]** / **ø0,1[m]**;
- Височина - **0,015[m]** / **0,05[m]**.

➤ Тип на винтовите капачки

Стенда ще позволява използването на капачки от различен материал, с различна конструкция, затваряни само със завиване. Това са капачки чиито идентификационен код завършва на **0**, съгласно разработената в глава 2 класификация (фиг.2.1).

➤ Габаритни размери на стенда

Габаритните размери на стенда ще бъдат:

- Ширина - **0,5[m]**;
- Дължина - **1[m]**;
- Височина - **0,8[m]**;
- Маса - **15[kg]**.

➤ Кинематични характеристики на стенда

Кинематичните характеристики на стенда са определени въз основа на направения анализ на машините за автоматично затваряне на съдове с винтови капачки и определените по-горе габаритни размери на изследваните обекти. Те включват:

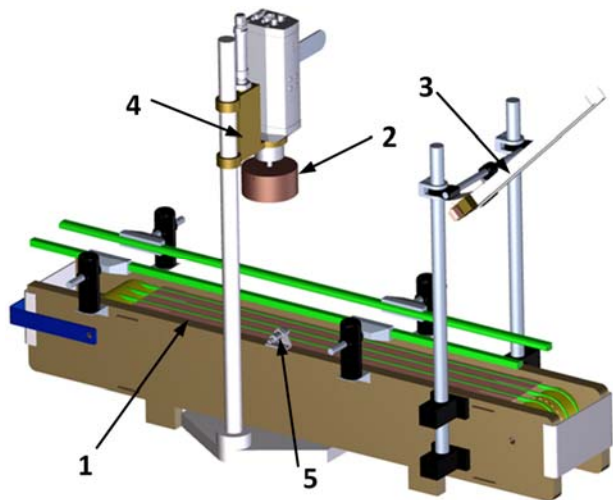
- Скорост на движение на ЛТ - безстепенно регулируема от **0[m/min]** до **50[m/min]**;
- Дължина на ЛТ - **0,8[m]**;
- Максимална мощност на двигателя, задвижващ затварящата глава – до **200 [W]**;
- Притискаща сила- до **10 [N]**;
- Вертикален ход на затварящата глава - до **0,03 [m]**.

С цел разширяване на възможностите на разработвания стенд е необходимо двигателят задвижващ затварящата глава да може да се реверсира. Това ще позволи използването на стенда за определяне на усилието необходимо за отваряне на вече затворени съдове.

3.5. Разработване на 3D модел на стенда

Отчитайки направените изменения в концептуалния модел и избраните по-горе елементи от конструкцията на стенда е разработен нов 3D модел на стенда показан, на фиг.3.6. Този модел включва:

- ЛТ (поз.1);
- Затваряща глава (поз.2);
- МС (поз.3);
- Модул за вертикално движение (поз.4);
- Сензор за позиция (поз.5).



Фиг.3.6 3D модел на разработвания стенд

3.8. Изводи:

- ❑ Дефинирани са основните етапи на проектирането, разработването и настройването на стенда.
- ❑ Формулирани са основните изисквания към стенда за изследване на основните параметри при автоматизирано завиване на винтови капачки.
- ❑ Разработен е концептуален 3D модел на проектирания стенд.
- ❑ Определени са работните параметри на проектирания стенд с отчитане на направения анализ на съществуващите машини за автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.
- ❑ Избрани са основните елементи от конструкцията на стенда и е разработен негов 3D модел, с отчитане на направените корекции в конструкцията и избраните елементи.
- ❑ Разработени са електрическа схема на стенда и система за управлението му.

ГЛАВА 4 ИЗРАБОТВАНЕ, МОНТАЖ И НАСТРОЙВАНЕ НА СТЕНД ЗА ЗАТВАРЯНЕ НА СЪДОВЕ С ВИНТОВИ КАПАЧКИ

4.1. Разработване на не стандартизирани елементи на стенда

➤ Модул за вертикално движение

Модулът за вертикално движение изпълнява две функции:

- Вертикално придвижване на затварящата глава в процеса на затваряне;
- Настройване на затварящата глава според височината на затваряните съдове.

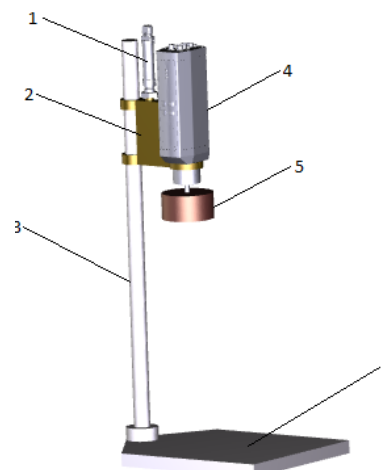
Разработената конструкция е показана на фиг.4.1.

Основните компоненти на модула са:

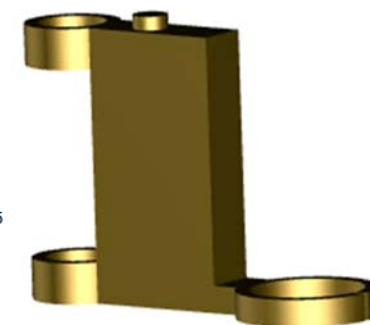
- **Пневматичен цилиндър (1)** – осигурява вертикалното движение на затварящата глава, в процеса на затваряне;
- **Модул за настройване по височина (2)** – осигурява възможност за ръчно настройване на вертикалната позиция на затварящата глава, спрямо ЛТ (фиг.4.2). Модулът позволява да се настройва, посредством упор, дължината на

вертикалния ход на затварящата глава в процеса на затваряне;

- **Стойка (3)** – осигурява придвижването на затварящата глава във вертикално положение при настройване на стенда;
- **Двигател, задвижващ затварящата глава (4)** – осигурява въртеливото движение на затварящата глава (с възможност за реверсиране) в процеса на затваряне;
- **Затваряща глава (5)** – осигурява движенията на капачката в процеса на затваряне;
- **Основа (6)** – осигурява хоризонталното положение на модула за вертикално движение спрямо ЛТ;



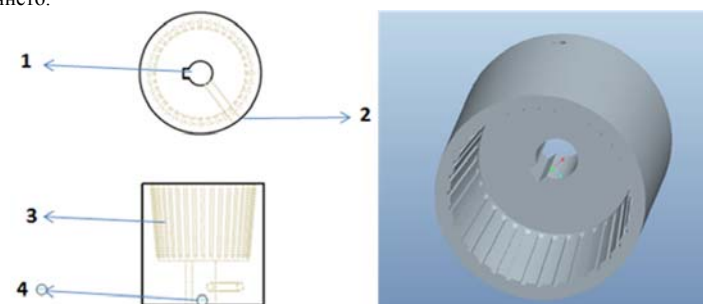
Фиг.4.1 3D модел на модула за вертикално движение



Фиг.4.2 3D модел на модула за настройване по височина

➤ Затваряща глава

Затварящата глава осигурява захващане на капачката в позицията за затваряне, предаване на необходимите за затварянето движения и освобождаване на капачката, след затварянето.



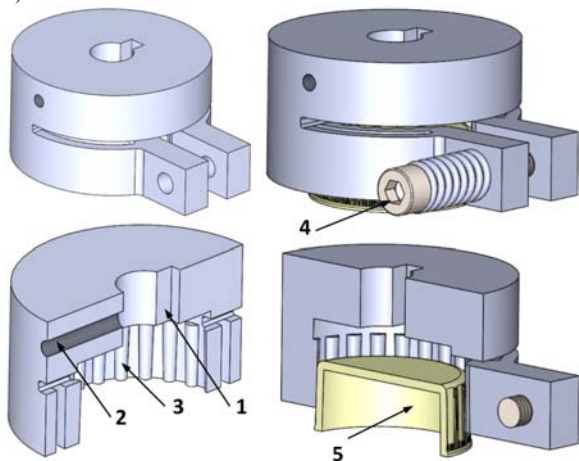
Фиг.4.3 Затваряща глава I

Конструкцията на затварящата глава зависи от типа на използваните капачки. На фиг.4.3 е показан 3D модел на разработена „Затваряща глава I“ за капачки с кодове: **_0_0** и **_1_0** и размери $H/D - 18 [mm] / 30 [mm]$.

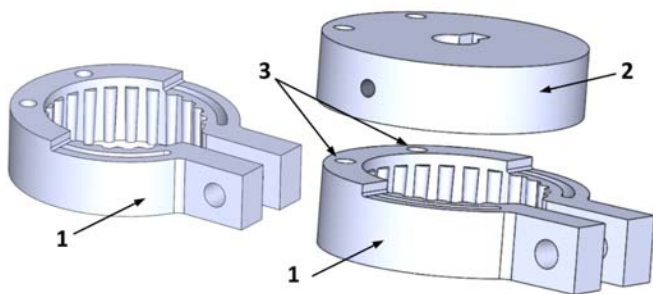
Основните елементи на затварящата глава са:

- За предаване на движение от задвижващия двигател (поз.4, фиг.4.1) към затварящата глава, включва шпонков канал (1) и елементи за осево фиксиране (2) и (4);
- За предаване на движението от затварящата глава към капачката, включва вътрешна повърхнина на държача (3).

За целите на настоящата работа е разработена и „Затваряща глава II“ фиг.4.4. В нейната конструкция освен разгледаните елементи за предаване на движението (позиции 1, 2 и 3), е предвидена възможност за регулиране на контактната сила между затварящата глава и капачката (поз.4).



Фиг.4.4 Затваряща глава II



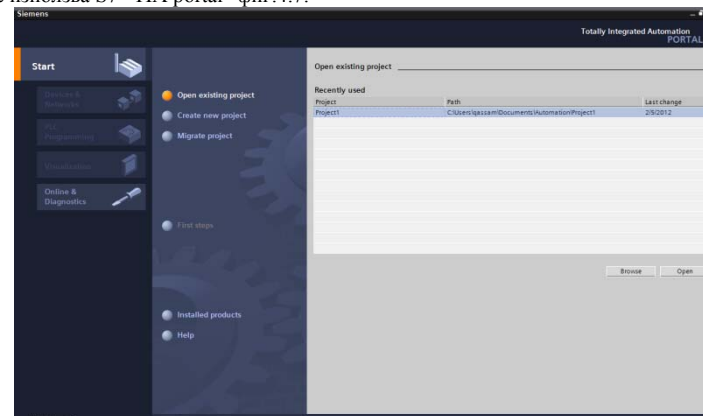
Фиг.4.5 Модулна затваряща глава

С цел осигуряване на възможност за пренастройване на затварящата глава за капачки с различни размери, на база на „Затваряща глава II“ е разработена „Модулна затваряща глава“ фиг.4.5. При нея модул (1) включва конструктивните елементи за предаване на

движението между затварящата глава и капачката, с възможност за регулиране на контактната сила. Модул (2) включва елементите за предаване на движението от задвижващия двигател към затварящата глава. Връзката между двата модула се осъществява чрез отворите (3). При тази конструкция за завиване на различни капачки е необходимо само да се разработи нов модул (1), който да осигурява необходимият контакт между затварящата глава и капачката.

4.2. Разработване на програмното осигуряване на стенда

За разработване на управляващата програма за избрания в глава 3 PLC SIMATIC S7-1200 се използва S7 “TIA portal” фиг.4.7.



Фиг.4.7 Интерфейс на софтуера S7 “TIA portal”

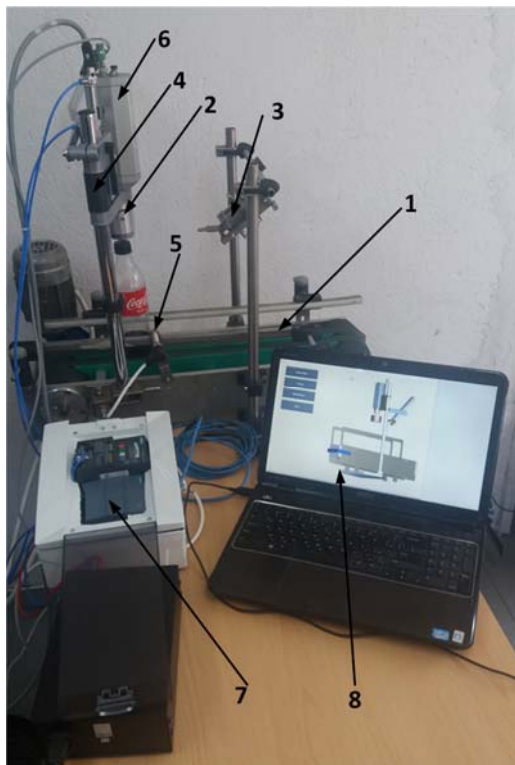
Това е специализиран софтуер за програмиране на контролери на фирмата Siemens и управление на свързаните към тях периферни устройства.

Софтуерът позволява използване на различни видове визуализация. Това включва компютърни системи или външен дисплей. Също така, позволява използването на външни устройства, управлявани посредством различни протоколи. Програмата притежава вътрешна диагностика, която помага на програмиста лесно да поправя грешките си.

4.3. Изработване на стенда

Общият вид на изработения стенд за затваряне на съдове с винтови капачки е показан на фиг. 4.10. Неговите основни компоненти са:

- ЛГ (поз.1) - избраният в точка 3.4.2 ЛГ на фирмата SPV;
- Затваряща глава (поз.2) – разработената в точка 4.1 „Затваряща глава I“;
- МС (поз.3) - разработеният в точка 4.1 МС, без улей за магазиниране на конкретен тип и типоразмер капачки;
- Модул за вертикално движение (поз.4) – разработеният в точка 4.1 модул, включващ избрания в точка 3.4.2 пневматичен цилиндър Festo DSNU-16-30-P-A;



Фиг.4.10 Общ вид на изработения стенд

- Сензор за позиция (поз.5) - избраният в точка 3.4.2 сензор за положение IFM KG5057;
- Двигател за задвижване на затварящата глава (поз.6) - избраният в точка 3.4.2 серво двигател MTR-DCI-42;
- Програмируем контролер (поз.7) - избраният в точка 3.7 PLC SIMATIC S7-1200;
- Система за управление (поз.8) - включва разработената програмата „NS3“ за управление на серво двигателя и записване на данните от провежданите опити и създадената със S7 “TIA portal” система за управление на стенда (разгледана в точка 4.4), които са инсталирани на подходящ РС.

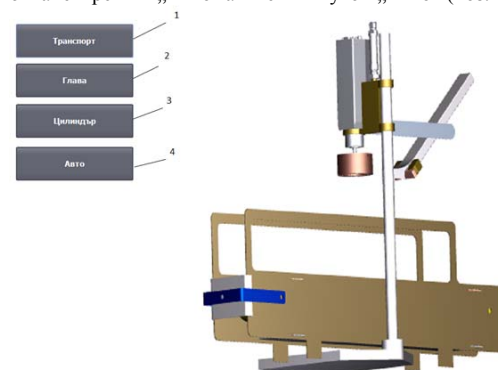
4.4. Система за управление на стенда

Разработената системата за управление на стенда поддържа два режима на работа. Първият режим е „Ръчен“. Той служи за настройка на всеки един модул на стенда. В този режим се настройват параметри като: скорост, време, капацитет и др. След настройката и въвеждането на параметрите, програмната среда има опцията да изследва всеки един модул независимо от другите. Вторият режим на работа е „Автоматичен“. Задължителни условия за стартиране на автоматичен режим е да се проверят всички параметри, да се направят настройки в ръчен режим и да бъдат изследвани всички органи в системата. След всички задължителни условия системата може да бъде стартирана в автоматичен режим.

Параметричните настройки и последователност на стартиране в режим „Ръчен“ са показани на фиг. 4.16. Програмата стартира автоматично меню за избор на контрол. „TIA portal“ и „NS3“ автоматично се конфигурират една към друга и започват пренос на данни. Автоматичната конфигурация е важна, защото системата не може да работи при липса на една от двете програми. Настройките за автоматична връзка са константни и не изискват допълнителна работа.

Модулите, които могат да се управляват в режим „Ръчен“ са:

- ЛТ – Бутон „Транспорт“ (поз.1);
- Въртеливиото движение на затварящата глава – Бутон „Глава“ (поз.2);
- Вертикално движение на затварящата глава – Бутон „Цилиндър“ (поз.3);
- Превключване в режим „Автоматичен“ – Бутон „Авто“ (поз.4).



Фиг.4.16. Основен екран за работа в „Ръчен“ режим

4.5.2. Настройки на механичната част на стенда

➤ Настройване на ЛТ

Настройването на ЛТ включва настройването на два размера фиг.4.23:

- **D** – разстояние между направляващите на ЛТ. Това разстояние зависи от диаметъра или ширината на затваряния съд. За използвания ЛТ това разстояние е в границите на 20 ± 150 [mm];
- **H** – Разстояние от направляващите на ЛТ до транспортната лента. Това разстояние зависи от височината и формата на затваряния съд. За използвания ЛТ това разстояние е в границите на 30 ± 160 [mm].

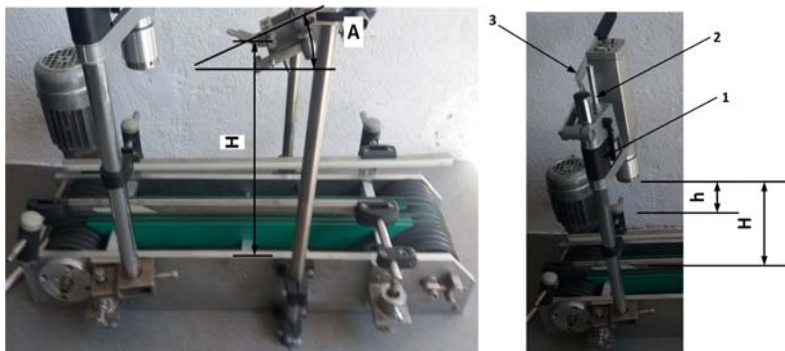


Фиг.4.23 Настройване на ЛТ

➤ **Настройване на МС**

Настройването на МС включва настройването на два размера фиг.4.24:

- ***H*** – Разстояние от транспортната лента на ЛТ до позицията за поставяне на капачката върху отвора на затваряния съд. Това разстояние зависи от височината на затваряния съд. За проектирания стенд това разстояние е в границите на **50÷300[mm]**.
- ***A*** – ъгъл на наклона на МС спрямо лентата на ЛТ. Това е ъгълът между посоките на движение на капачките и затваряните съдове фиг.4.6. За проектирания стенд този ъгъл може да се променя в границите на **2÷50[°]**.

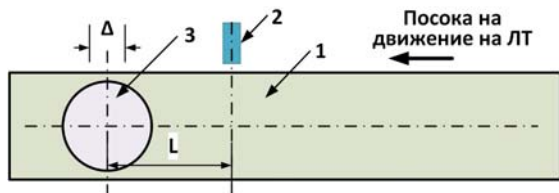


Фиг.4.26 Настройване на вертикалното движение на затварящата глава

В зависимост от конструкцията и типоразмера на използваните капачки може да се наложи промяна на формата и размерите на използвания улей и настройване на силата на притискане в отсека на МС.

➤ **Настройване на точността на позициониране**

Точността на позициониране на затваряния съд в позицията на затваряне осигурява захващането на капачката при хода на долу на затварящата глава.



Фиг.4.25 Настройване на точността на позициониране

Настройването на точността на позициониране се извършва съгласно схемата показана на фиг.4.25. Точността на позициониране зависи от:

- ***L*** – Разстоянието от сензора за позиция (поз.2) до зоната на завиване (поз.3);
- **Скоростта на движение на ЛТ.**

Скоростта на движение на ЛТ (поз.1), определя времето необходимо за пълното спиране на ЛТ след получаване на сигнал от PLC, а от там и разстоянието, което ще измине затваряният съд между момента на подаване на сигнал от сензора и момента на пълното спиране. Това разстояние трябва да бъде приблизително равно на разстоянието **L** (фиг.4.25), за да се осигури спиране на затваряния съд в позицията за затваряне с необходимия толеранс

A в границите **0,3÷0,8 [mm]**.

Точността на позициониране се настройва чрез изместване положението на сензора (поз.2) на необходимото разстояние **L**. Това разстояние трябва да се определи опитно за всяка конкретна скорост на движение на ЛТ.

➤ **Настройване на затварящата глава**

За капачките с различна форма и типоразмер е необходимо да се разработи конкретна затваряща глава. При използване на модулна затваряща глава се изработва само частта предаваща движение на капачката (модул 1 фиг.4.5). След това новият модул се свързва с модул 2 (фиг.4.5). При необходимост може да се настрои големината на контактната сила, чрез промяна на натягането на еластичния елемент (пружината фиг.4.4).

➤ **Настройване на вертикалното движение на затварящата глава**

Настройването на вертикалното движение на затварящата глава включва два етапа:

• **Настройване на вертикалното положение на затварящата глава** - Разстояние **H** фиг.4.26. Постига се чрез ръчно преместване на модула за вертикално движение на необходимата височина над ЛТ и фиксирането му в тази позиция. Големината на разстоянието **H** зависи от височините на затваряните съдове и използваните за това винтови капачки;

• **Настройване на вертикалния ход на затварящата глава** – Разстояние **h** фиг.4.26. Извършва се ръчно с помощта на ръчката поз.3 и упора поз.2. Големината на разстоянието **h** определя големината на вертикалния автоматичен ход на затварящата глава, за времето на завиване на капачката. Това разстояние определя колко от височината на затваряната капачка ще бъде обхваната от затварящата глава при затварянето. Големината на разстоянието **h**, зависи от конструкцията на капачката и оказва влияние върху конструкцията на затварящата глава и големината на силата на контакт между капачката и затварящата глава.

4.5.3. Настройка на управляващата система

Стендът е снабден със система за автоматична инициализация. След стартиране, контролерът, управляван от разработената програма, завърта затварящата главата последователно в двете посоки. Това завъртане се прави с две цели: определяне на посоките на завиване и отвиване на капачките и определяне на грешки в механичната част на стенда. Възможните грешки при тази проверка са:

- затварящата глава не се завърта;
- повишено напрежение при завъртане на затварящата глава;
- неправилни посоки на завиване и отвиване на капачките;
- при завъртане не се изпълнява целият цикъл.

При работа със стенда чрез управляващата система е необходимо предварително да се настрои:

➤ **Скоростта на ЛТ**

Скоростта на движение на ЛТ се задава в режим „Ръчен“ фиг.4.17. Основни те стъпки при тази настройка са:

- Влизане в меню ръчна работа на ЛТ;
- Проверка на механичните елементи;
- Проверка на електрическите компоненти;
- Задаване на начална скорост на инвертора;
- Натискане на бутон старт;
- Натискане на бутон стоп;
- Поставяне на бутилка;
- Проверка на сензора за положение;
- Задаване на необходимата скорост на инвертора;

➤ **Времето за завиване на капачката**

Времето за завиване на капачката в [ms] се задава в режим „Ръчен“ фиг.4.19. То зависи от конструкцията на завиваната капачка и е в рамките на $1=15$ [s]. При недостатъчно време, капачката няма да бъде завита напълно, при което ще имаме неправилно затворен съд. При значително увеличаване на времето може да се получи пренавиване и механични увреждания както на капачката, така и на затваряния съд.

4.6. Изводи

- Изработен е стенд за затваряне на съдове с винтови капачки на основата на разработените 3D модели и работна документация.
- Разработени са три конструкции на затварящи глави, имащи възможност за работа с различни типове винтови капачки.
- Разработено е програмно осигуряване на системата за управление на стенда.
- Описан е принципът на работа на разработения стенд.
- Разгледани са настройките, позволяващи използването на разработения стенд за изследване на затварянето на различни по конструкция и размери съдове с различни типове винтови капачки.
- Проведени са функционални изпитания на стенда и същият е подготвен за провеждане на експериментални изследвания.

ГЛАВА 5. МЕТОДИКА ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ОБРАБОТВАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ПРОВЕДЕНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

5.1. Методика за провеждане на експерименталните изследвания

С помощта на разработения стенд, ще се извършат няколко отделни експериментални изследвания, свързани с процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.

5.1.1. "Отваряне на винтови капачки" при класически експеримент

Целта на това изследване е да се определи максималният въртящ момент необходим за отваряне на вече затворени съдове. Изследването протича в следната последователност:

1. Настройване на механичната част на стенда за конкретен съд и капачка.
2. Начална инициализация на управляващата система на стенда.
3. В режим „Ръчен“ се задава времето за отваряне фиг.4.19.
4. Ръчно се поставя затворения съд в позицията за затваряне.
5. В режим „Ръчен“ се избира подрежим „Цилиндър“ фиг.4.20.
6. Стартира се процеса на отваряне чрез бутона „Старт“ фиг.4.20.
7. След изтичане на зададеното време затварящата глава се връща автоматично в изходно положение.
8. Достигнатият максимален въртящ момент се регистрира от управляващата система.
9. Прави се визуален контрол на резултата от отварянето.
10. Обработват се получените резултати.

5.1.2. "Затваряне с винтови капачки" при класически експеримент

Целта на това изследване е да се изследват отделни етапи на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки. Изследваните етапи са:

➤ Завиване на винтови капачки

Целта на изследването е да се определи максималният въртящ момент необходим за затварянето на съответния съд. Изследването протича в следната последователност:

1. Настройване на механичната част на стенда за конкретен съд и капачка.
2. Начална инициализация на управляващата система на стенда.
3. В режим „Ръчен“ се задава времето за затваряне фиг.4.18.
4. Ръчно се поставя затворения съд в позицията за затваряне.
5. В режим „Ръчен“ се избира подрежим „Цилиндър“ фиг.4.20.

6. Стартира се процеса на затваряне чрез бутона „Старт“ фиг.4.20.
 7. След изтичане на зададеното време затварящата глава се връща автоматично в изходно положение.
 8. Достигнатият максимален въртящ момент се регистрира от управляващата система.
 9. Прави се визуален контрол на резултата от затварянето.
 10. Обработват се получените резултати.
- **Автоматично „вземане“ на капачки от МС**
- Целта на изследването е да се определят оптималният ъгъл на наклона на МС и скоростта на движение на ЛТ, при които има най-висок процент успешно „взети“ капачки от МС. Изследването протича в следната последователност:
1. Настройване на механичната част на стенда за конкретен съд и капачка.
 2. Начална инициализация на управляващата система на стенда.
 3. Настройване на ъгълът на наклона A на МС.
 4. В режим „Ръчен“ се задава скоростта на движение на ЛТ фиг.4.17.
 5. Зареждат се капачките в МС.
 6. Зареждат се затваряните съдове върху ЛТ.
 7. Стартира се движението на ЛТ чрез бутона „Старт“ фиг.4.17.
 8. След изчерпване на капачките от МС се спира движението на ЛТ чрез бутона „Стоп“ фиг.4.17.
 9. Прави се визуален контрол и се определя броя на успешно „взетите“ капачки.
 10. Обработват се получените резултати.

5.1.3. "Автоматично затваряне с винтови капачки" при планиран експеримент

Целта на изследването е да се даде комплексна оценка на факторите влияещи на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки. Изследването протича в следната последователност:

1. Настройване на механичната част на стенда за конкретен съд и капачка.
2. Начална инициализация на управляващата система на стенда.
3. Избор на фактори и факторно пространство.
4. Задаване на необходимите параметри на изследването в режим „Ръчен“.
5. Зареждат се капачките в МС.
6. Зареждат се затваряните съдове върху ЛТ.
7. Стартира се работата на стенда в „Автоматичен“ режим чрез бутона „Старт авто“ фиг.4.21.
8. След изчерпване на капачките от МС се спира работата на стенда чрез бутона „Стоп авто“ фиг.4.21.
9. По време на работа на стенда, управляващата система записва достигнатите максимални въртящи моменти, за всеки затворен съд.
10. Прави се визуален контрол и се определя броя на успешно затворените съдове.
11. Обработват се получените резултати.

5.2. Провеждане на експерименталните изследвания

5.2.1. Изследване на процеса "Отваряне на винтови капачки" при класически експеримент

Изследването протича съгласно разработената в точка 5.2.1 методика. То е проведено с 500 [ml] бутилки Coca-Cola, затворени с капачки с код Н1С0, съгласно разработената класификация.

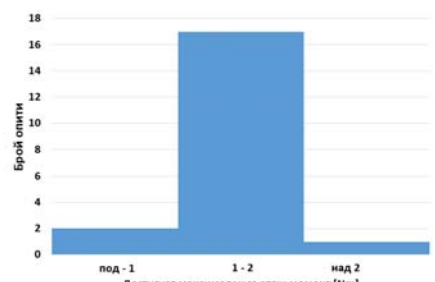
➤ Обработка на получените резултати

Средноаритметичната стойност за достигнатия максимален въртящ момент, определена по дадените в точка 5.1.2 формули е:

- при време на отваряне I [s] - $5,9I$ [Nm];

- при време на отваряне 2 [s] – 2,41 [Nm];
- при време на отваряне 3 [s] – 1,93 [Nm].

Графичното представяне на обработените резултати при време на отваряне 3 [s] е показано на фиг.5.4.



Фиг.5.4 Графично представяне на резултатите при време на отваряне 3 [s]

5.2.2. Изследване на процеса "Завиване на винтови капачки"

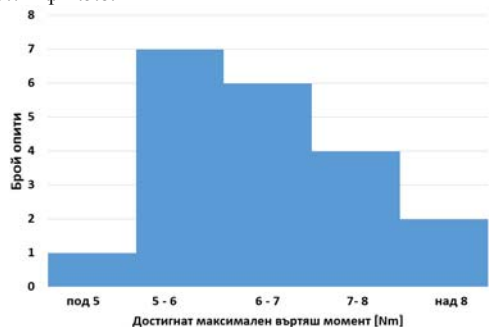
Изследването протича съгласно първата от разработените в точка 5.2.2 методики. То е проведено с 500 [ml] бутилки Coca-Cola, затваряни с капачки с код Н1С0, съгласно разработената класификация.

➤ Обработка на получените резултати

Средноаритметичната стойност за достигнатия максимален въртящ момент, определена по дадените в точка 5.1.2 формули е:

- при време на отваряне 1 [s] - 3,77 [Nm];
- при време на отваряне 2 [s] – 7,47 [Nm];
- при време на отваряне 3 [s] – 11,73 [Nm].

Графичното представяне на обработените резултати при времена на затваряне 1 и 2 [s] са показани на фиг.5.7 и фиг.5.8.



Фиг.5.8 Графично представяне на резултатите при време на отваряне 2 [s]

Показаните на фиг.5.7 и фиг.5.8 разпределения на достигнатия максимален въртящ момент при затваряне се доближават до нормално разпределение.

Средната стойност на достигнатия максимален въртящ момент при затваряне на изследвания съд за различните времена на затваряне е 7,66 [Nm]. С увеличаване на времето за отваряне тази стойност нараства.

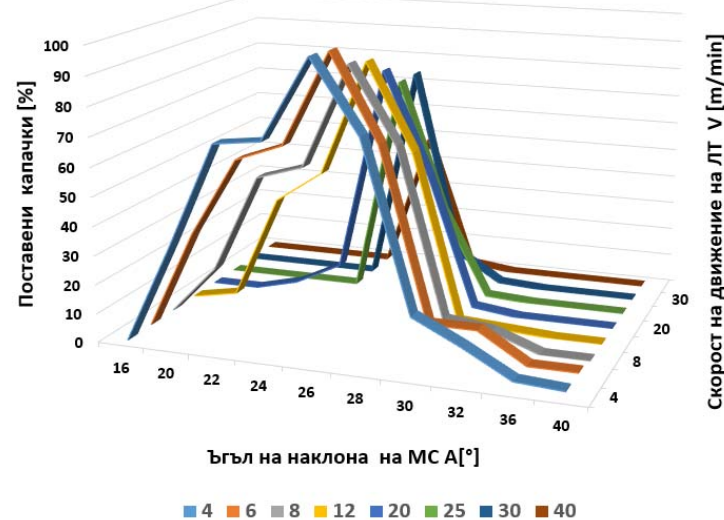
5.2.3. Изследване на процеса "Автоматично „вземане“ на капачки от МС"

Изследването протича съгласно втората от разработените в точка 5.2.2 методики. То е проведено с 500 [ml] бутилки Coca-Cola, затваряни с капачки с код Н1С0, съгласно разработената класификация. При него са изследвани:

- десет различни стойности на ъгъла на наклон А на МС спрямо лентата на ЛТ в интервала от 16° до 40°;
- при осем различни скорост на ЛТ изменящи се в интервала от 4 до 40 [m/min].

➤ Обработка на получените резултати

Получените резултати при различните ъгли на наклон на МС са обобщени и представени в графичен вид на фиг.5.9.



Фиг.5.9 Графично представяне на резултатите

От графиката се вижда, че максималният процент на успешно „взети“ капачки от МС в интервала 65÷100% се получава при:

- Ъгъл на наклона А в интервала 22÷28[°];
- Скорост на движение V на ЛТ в интервала 4÷6 [m/min].

Увеличаването на ъгъл на наклона А над 30 [°], води до невъзможност за „вземане“ на капачка от МС. Същият ефект се наблюдава и при намаляване на ъгъл на наклона А под 20 [°], което е съпроводено и със затруднено придвижване на изследвания тип капачка в улея на МС.

При скорост на движение V на ЛТ над 12 [m/min] е невъзможно успешно „вземане“ на капачка от МС, независимо от неговият ъгъл на наклон.

С цел осигуряване на възможност за успешно „вземане“ на капачки от изследвания тип при скорост на движение V на ЛТ над 12 [m/min] е променена конструкцията на фиксатора на капачката в позицията за поставяне на МС (поз.3 фиг.4.6).

5.2.4. Изследване на процеса "Автоматично затваряне с винтови капачки"

Изследването протича съгласно разработената в точка 5.2.3 методика. То е проведено с 500 [ml] бутилки Coca-Cola, затваряни с капачки с код Н1С0, съгласно разработената класификация.

➤ **Избор на фактори и факторно пространство**

Факторът е променлива величина подлежаща на изменение. При планирането на експеримента обикновено едновременно се изменят няколко фактора. По тази причина те трябва да са съвместими (всички комбинации между факторите да са възможни) и независими (възможността на даден фактор да се установява на различни нива, независимо от нивата на другите фактори). Съвкупността от нивата на факторите, използвани при планиране на експеримента се нарича факторно пространство. Факторите варират на три нива – горно, долно и нулево. Център на експеримента е точка от факторното пространство, координатите на която са нулеви (централни) нива, около които варират отделните фактори. Препоръчва се център на експеримента да бъде точка имаща координати равни на средните стойности на факторите.

За провеждания експеримент са избрани следните фактори и факторно пространство:

- **Първи фактор X_1** – ъгълът A [°] на наклона на МС. Той е един от основните фактори за осъществяване на „вземането“ на капачка от МС. В разработения стенд този ъгъл може да се изменя в границите $2 \div 50$ [°];
- **Втори фактор X_2** – скоростта V [m/min] на ЛТ. Този фактор влияе на успешното „вземане“ на капачка от МС и на производителността на целия процес на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки. В разработения стенд тази скорост може да се изменя в интервала $4 \div 70$ [m/min];
- **Трети фактор X_3** – времето T [s] за завиване на винтовите капачки. Този фактор влияе на: успешното завиване на капачките, крайният резултат от автоматизираното затваряне и производителността на този процес. В разработения стенд това време може да се променя в интервала $1 \div 15$ [s].

В таблица 5.14 е даден плана за провеждане на планирания експеримент.

Постоянните фактори при експеримента са:

- Закон за разпределение на отказите - **нормален**;
- Коефициент на готовност на стенда - **$K_T=0,98$** ;
- Определен тип капачка - код **Н1С0**.

Определяният параметър Y е процентът правилно затворени съдове.

➤ **Обработка на експерименталните данни**

За определяне на коефициентите на математическия модел е извършен регресионен анализ с помощта на Microsoft Excel 2007. Получените коефициентите на математическия модел са дадени в таблица 5.19.

Таблица 5.19 Коефициенти на математическия модел

| Коефициент | b_0 | b_1 | b_2 | b_3 | b_{12} | b_{13} | b_{23} | b_{11} | b_{22} | b_{33} |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Определена стойност | 92,72 | 0,28 | 2,04 | -1,04 | 1,75 | 1,25 | 0,50 | 8,94 | 6,64 | 2,22 |

След извършване на оценка на значимостта на получените коефициенти по критерият на Спюдънт и преминаване към натуралните стойности на изследваните фактори е получен следният математически модел:

$$Y = 42,27 - 6,79A - 3,98V + 4,78T - 1,2AV + 1,76T^2$$

➤ **Проверка за адекватност на получения модел**

За получения математически модел е извършена проверка на адекватност по F -критерия на Фишер. За целта се използва отношението:

$$F = \frac{S_{ao}^2}{S_y^2}, \text{ където:}$$

- S_y^2 - средната дисперсия;

$$S_{ao}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{iM})^2}{N - l}$$

- S_{ao}^2 - дисперсията на адекватност;
 - Y_i е стойността на параметъра при i -тия опит;
 - Y_{iM} - стойността на параметъра при i -тия опит, определена с помощта на създадения модел;
 - l - броят на значимите коефициенти в математическия модел $l=6$.
- Получената стойност за F е:

$$F = 1,94.$$

Определената според [8] таблична стойност за F , отчитайки условията на проведения експеримент е:

$$F_T = 3,69.$$

Тъй като:

$$1,94 < 3,69, \text{ т.е. } F < F_T,$$

издигнатата хипотеза за адекватност на модела се приема.

Следователно полученият в резултат на проведения експеримент математическия модел е адекватен.

➤ **Графична интерпретация на получения модел**

Графичната интерпретация на получения математически модел е разработена съгласно предлаганата в [4] методика. Получените графики са дадени по-долу.

Графичната интерпретация е извършена по метода на двумерните сечения. За получения математическия модел са реализирани следните три сечения:

• **За кодирана стойност на първи фактор $X_1 - \theta$**

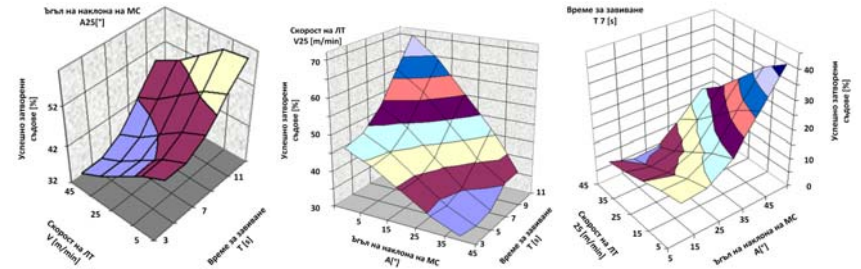
Натуралната стойност на ъгъла A [°] на наклона на МС е 25 [°]. Графиката е показана на фиг.5.6;

• **За кодирана стойност на втори фактор $X_2 - \theta$**

Натуралната стойност на скоростта V [m/min] на ЛТ е 25 [m/min]. Графиката е показана на фиг.5.6;

• **За кодирана стойност на трети фактор $X_3 - \theta$**

Натуралната стойност на времето T [s] за завиване на винтовите капачки е 7 [s]. Графиката е показана на фиг.5.6.



Фиг.5.6 Графична интерпретация на получения математически модел при $A25$ [°] и при $V25$ [m/min] и при $T7$ [s]

Графиките, показани на фигура 5.6 могат да се използват за оценка на успешно затворените съдове, при различни режими на настройване и работа на една автоматизирана система за затваряне на съдове с винтови капачки.

Използваната методика позволява с използване на получения математически модел, да се разработят и графики при други сечения.

Графичната интерпретация разширява възможността за бързо намиране на различни съчетания на стойности на факторите в изследваното факторно пространство с цел по-бързо прилагане в производствени условия.

На база на проведените изследвания и анализирани на резултатите от тях, може да се определи оптимално съчетание, на основните фактори влияещи върху процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки, което да се използва:

- при проектиране на нови системи за автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки;
- при настройване на съществуващи системи за автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки, с цел увеличаване на тяхната производителност.

Разработеният стенд позволява изследването и на отделни етапи от процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки, което може да бъде полезно при:

- разработване на нови конструкции на затварящи глави;
- разработване на нови конструкции МС;
- контрол на усилието необходимо за отваряне на вече затворени съдове.

5.4. Изводи:

- Разработени са методики за провеждане на различни експериментални изследвания с разработения стенд.
- Изследван е процесът "Отваряне на винтови капачки" при класически експеримент.
- Изследван е процесът "Завиване на винтови капачки" при класически експеримент.
- Изследван е процесът " Автоматично „вземане“ на капачки от МС" при класически експеримент.
- Изследван е процесът "Автоматично затваряне с винтови капачки" при планиран експеримент.
- Извършена е обработка на резултатите от проведените експерименти.
- В резултат на планирания експеримент е изведен математически модел на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.
- Дадено е графично представяне на получения модел.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно-приложни приноси

- Разработени са класификации на винтови капачки и технически средства за автоматизирано затваряне на съдове с тях, които подпомагат избора на решения за автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.
- Разработени са 3D модел на стенд за изследване на параметрите на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки и необходимата конструкторска документация за изработването му.
- Разработено е програмно осигуряване за управление на създадения стенд.
- Разработени са методики за провеждане на различни изследвания на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки със създадения стенд.
- Проведени са изследвания на различни етапи от процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки при класически и планиран експеримент, с цел определяне на тяхното влияние върху него.

Приложни приноси

- Създаден е стенд за експериментални изследвания на основните параметри на процеса автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.

- Изведен е математически модел на процеса автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки, позволяващ оптимизиране на неговите параметри.
- Разработени са 3D графики за избор на основни параметри на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки.
- Посочени са областите на приложение на разработения стенд и получените експериментални резултати.

ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

1. **Димитров Сл.**, Концептуален модел на стенд за изследване параметрите на процеса на автоматизирано затваряне на съдове с винтови капачки, XXV МНТК „АДП-2016” Созопол, Научни известия на НТС по Машиностроене, година XXIV, бр. 14(200), юни 2016 г., ISSN-1310-3946, (210-215), 2016
2. **Димитров Сл.**, Класификация на винтови капачки, XXVI МНТК „АДП-2017” Созопол, Научни известия на НТС по Машиностроене, година XXV, юни 2017 г., ISSN-1310-3946, 2017
3. Димитрова Р., **Сл. Димитров**, Ст. Николов, Изследване процеса на автоматично поставяне на капачки върху затваряните с тях съдове, XXVI МНТК „АДП-2017” Созопол, Научни известия на НТС по Машиностроене, година XXV, юни 2017 г., ISSN-1310-3946, 2017
4. Николов Ст., **Сл. Димитров**, Р. Димитрова, Изследване процеса на автоматично затваряне на съдове с винтови капачки, XXV МНТК „ММТ-2017” Сливен, Списание по Машиностроене, година XXV, юли 2017 г., ISSN-1310-3946, 2017

ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ

| | | |
|------|---|--|
| АЛ | - | Автоматична линия |
| АТ | - | Автоматизираща техника |
| АУ | - | Автоматизиращи устройства |
| БЗУ | - | Бункерно хранващо устройство |
| ВБЗУ | - | Вибрационно бункерно хранващо устройство |
| МС | - | Магазин събирател |
| ЛТ | - | Линейен транспортър |
| ОУ | - | Отсекателно устройство |
| РТ | - | Ротационен транспортър |
| ПР | - | Промислен робот |
| ТЕ | - | Технологична единица |
| ЦКРЕ | - | Централно композиционен ротационен експеримент |
| ПФЕ | - | Пълно факторен експеримент |
| PLC | - | Programmable Logic Controllers Програмируем логически контролер |

SUMMARY

STUDYING THE PROCESS OF AUTOMATED SCREW CAPS CLOSURE

Mag. Eng. SLAV BOYANOV DIMITROV

The aim of the dissertation thesis is to study the basic parameters of the process of automated closure of vessels, using screw caps and increasing the efficiency of the automated systems.

In order to achieve this goal, it is necessary to solve the following main tasks:

- To develop classifications of used screw caps and systems for automatic closure of containers with them.
- Analysis of problems in existing solutions for automatic screw caps closure.
- Determination of the technology of different types of caps and their suitability for automation of the closing process.
- Design and construction of a stand for the study of the parameters of the process of automatic screw caps closure.
- Developing a methodology for experimental studies of the influence of the basic parameters of the process of automatic screw caps closure on the result.
- Carrying out a research with the developed stand and processing the results obtained.

Scientific-applied contributions

- Classifications of screw caps and technical devices for automated container closure have been created to assist in choosing solutions for automated closing of screw caps.
- 3D model of a stand was developed to study the parameters of the process of automated closure of screw caps and the necessary design documentation for its construction.
- Software has been developed to manage the created stand.
- Methods have been implemented for carrying out various tests of the process of automated closure of screw caps with the stand.
- Studies of different stages of the process of automated closure of screw caps were conducted in a classical and planned experiment to determine their impact on it.

Applied contributions

- A stand for experimental tests of the basic parameters of the process of automated screw caps closure was created.
- A mathematical model of the process screw caps closure was automated, allowing optimization of its parameters.
- 3D graphics have been developed to select the basic parameters of the process of automated closure of screw caps.
- The areas of application of the developed stand and the experimental results obtained are specified.