



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
МАШИНОСТРОИТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА „ОСНОВИ И ТЕХНИЧЕСКИ СРЕДСТВА ЗА
КОНСТРУИРАНЕ“

маг. инж. Десислава Стефчова Георгиева

РАЗШИРЕНИЕ НА CAD МОДЕЛА
ОРИЕНТИРАНО КЪМ КОНСТРУИРАНЕ
„ОТГОРЕ-НАДОЛУ“

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: „Приложна геометрия и инженерна графика“

Научни ръководители: доц. д-р Елена Тодорова
доц. д-р Петър Горанов

СОФИЯ, 2017 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Основни и технически средства за конструиране“ към Машиностроителен факултет на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 22.06.2017 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 09.10.2017 г. от 15⁰⁰ часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-263 / 04.07.2017 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д-р инж. Милка Вичева – Председател
2. Доц. д-р инж. Елена Тодорова – Научен секретар
3. Проф. д.т.н. инж. Бранимир Сандалски
4. Доц. д-р инж. Георги Пъндев
5. Доц. д-р инж. Георги Динев

Рецензенти:

1. Проф. д.т.н. инж. Бранимир Сандалски
2. Проф. д-р инж. Милка Вичева

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Машиностроителен факултет на ТУ-София, блок №3, кабинет № 3242.

Дисертантът е на самостоятелна подготовка към катедра „Основни и технически средства за конструиране“ на Машиностроителен факултет с ръководители доц. д-р Елена Тодорова и доц. д-р Петър Горанов. Изследванията по дисертационната разработка са извършени от автора в Технически университет – София, като някои от тях са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ – София - N 172 ПД 0003-06/2017.

Автор: маг. инж. Десислава Георгиева

Заглавие: Разширение на CAD модела ориентирано към конструиране „отгоре-надолу“

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Развитието на компютърните технологии превърна CAD системите в основни инструменти за работа на конструкторите при конструирането и документиране на технически изделия. Тенденцията в световен мащаб е към комплексна автоматизация на всички дейности, свързани с разработването, производството и експлоатацията на различни машиностроителни изделия. Развитието на системите за автоматизация е ключов фактор за повишаване ефективността и качеството на конструкторската дейност.

Конструирането на ново изделие започва с разработване на неговата концепция. Създаването на CAD модела на сглобена единица по метода на конструиране „отгоре-надолу“ позволява разработването на модела да следва естествения ход на развитие на идеята до нейната реализация.

Темата е актуална, понеже напоследък стратегията на конструиране „отгоре-надолу“ се разглежда като основен метод за създаване на нови изделия. Ето защо разработчиците на CAD системи непрекъснато подобряват тяхната функционалност в тази насока.

Литературният обзор показва, че съвременните CAD системи не предлагат в достатъчна степен поддръжка на конструктора по време на етапа на концептуално конструиране и последващо интегриране на резултатите в завършения геометричен модел.

Цел и основни задачи на дисертационния труд

Целта на предложения подход е разширяване на съществуващата функционалност на CAD системите по отношение разпространение на резултатите от концептуалното конструиране в геометричния модел и автоматично съгласуване на геометричните параметри.

Основната цел на дисертацията се постига чрез решаване на следните задачи:

1. Анализ на функционалността на CAD системите, свързана с метода на конструиране „отгоре-надолу“;
2. Разработване на обектно-ориентиран модел на сглобена единица, който позволява анализ на геометричните отношения между нейните компоненти на различни нива на абстракция;
3. Предлагане на подход за интегриране на резултатите от концептуалния етап от процеса на конструиране с CAD модела с цел автоматично съгласуване на функционални параметри;
4. Практическа реализация на предложения подход, която да покаже неговата осъществимост и степен на полезност.

Научна новост

Предложен е подход за разширение на CAD модела, посредством интегриране на Разширената структурна схема със съединенията между детайлите. Създаден е обектно-ориентиран модел на сглобена единица, който

позволява анализ на различни нива на абстракция. С негова помощ предложеният разширен CAD модел се конкретизира до ниво, което позволява неговата практическа реализация.

Практическа приложимост

Полезността на подхода е в две направления:

- автоматично поддържане състоятелността на геометричния модел по отношение съответствието на функционални геометрични параметри;
- значително намаляване на техническата работа, свързана със създаване CAD модел на детайл.

Намаляването на техническата работа се дължи на обстоятелството, че резултатите от концептуалния етап от процеса на конструиране автоматично се разпространяват в CAD модела на детайл.

Апробация

Основните части на Дисертационния труд са докладвани и публикувани на следните научни конференции: International scientific conference Industry 4.0, Borovec, December 2016, X international conference for young researchers, Borovec, December 2016.

Публикации

Публикувани са шест научни работи, свързани с дисертационния труд, две от които самостоятелни:

- Три доклада на научни конференции;
- Три статии в научни списания.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 138 страници, като включва увод, 5 бр. глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 92 бр. литературни източници, като 45 бр. са на латиница и 43 бр. на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо 60 бр. фигури и 2 бр. таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

Приложението към дисертацията е от 33 страници и съдържа 28 фигури и 2 таблици.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР И СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Процесът на конструиране е сложен творчески процес и е свързан с разглеждане и оценяване на множество варианти. Той протича в динамична среда, като окончателното решение за дадена конструкция е резултат от процес на непрекъснат обмен на информация между отделните участници в процеса.

1.1 Методология на геометричното конструиране

Процесът на конструиране на ново изделие включва в себе си широк кръг от инженерни дейности.

Броят и наименованията на етапите на конструиране според различните литературни източници не е еднакъв, но най-общо те могат да бъдат сведени до следните основни етапи:

1. Анализ и уточняване на техническото задание;
2. Определяне на принципа на действие;
3. Геометрично-пространствено оформление;
4. Разработване на пълна конструкторска документация.

Геометрията и формите на едно изделие и на неговите съставни части до голяма степен зависят от функциите, които то изпълнява и характеристиките, които трябва да притежава, а също така и от индивидуалните особености, произтичащи от техния монтаж. Ето защо всеки етап от процеса на конструиране е пряко свързан в една или друга степен с геометрията. От гледна точка на създаване на номиналната геометрия на механично изделие, етапите на процеса на конструиране може да бъдат обобщени в три основни:

- Концептуално конструиране – уточняване на структурата, която осигурява изпълнение на функциите на изделието;
- Геометрично оформяне – включва оформянето на геометрията както на отделните компоненти, така и на изделието като цяло;
- Документиране – включва комплекта задължителна конструкторска документация, съдържаща чертежи, списъци, схеми и др.

Крайните резултати от всички етапи на процеса на конструиране трябва да бъдат документирани по подходящ начин.

1.2 Автоматизация на конструирането (CAD: Computer Aided Design)

През последните няколко десетилетия, с въвеждането на компютърното проектиране (CAD), драстично се променя и начинът, по който инженерите конструират нови изделия. В основата на инженерната методология за конструиране с използване на CAD/CAM системи стои създаването и манипулирането на цифров модел на изделието. В момента научните изследвания в областта са насочени към разработване на методология и инструменти, които позволяват разработването на CAD модела да следва естествения ход на развитие на идеята до нейната реализация.

Съществуват два основни принципа на създаване модел на сглобена единица, наречени конструиране „отдолу-нагоре“ и конструиране „отгоре-надолу“. Вторият принцип съответства на метода на конструиране на ново изделие, при който се започва с разработване на неговата абстрактна концепция и последваща поэтапна конкретизация. Литературният обзор показва, че съвременните CAD системи не предлагат в достатъчна степен поддръжка на конструктора по време на етапа на концептуално конструиране и последващо интегриране на резултатите в завършения геометричен модел. Основните проблеми в тази насока са:

- Недостатъчна степен на интегриране на концептуалния модел със завършеното геометрично описание;
- Значителен обем техническа работа, която е свързана със създаване на геометричния модел;
- Недостатъчна функционалност по отношение поддръжане състоятелността на геометричния модел.

Посочените констатации определят основната цел на дисертацията.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ НА КОНСТРУИРАНЕ „ОТГОРЕ-НАДОЛУ“

В глава втора се разглежда методологията на конструиране „отгоре-надолу“ и се прави анализ на поддръжката ѝ от съвременните CAD системи.

2.2 Основни етапи от процеса на конструиране

Процесът на конструиране на ново изделие включва в себе си широк кръг от инженерни дейности. Всеки един от етапите може да бъде разпаднал на следващи, по-ниски нива, като по този начин се преминава през необходимите стъпки за създаване на ново изделие.

За получаване на добри резултати трябва да се обърне особено внимание на следните етапи от процеса на конструиране:

- „Дефиниране на функциите“ – формално описание на функциите на новото изделие с оглед на удовлетворяване на техническото задание;
- „Дефиниране на структурата“ – разработване на концепцията на изделието от гледна точка на съставни части, главна и основни функции, и начин на тяхната реализация;
- „Геометрично конструиране“ – крайно геометрично оформяне на всички компоненти.

Грешките, допуснати в тези етапи, е много трудно, а понякога и невъзможно да бъдат неутрализирани в по-късните етапи на конструиране.

2.3 Методи за създаване на CAD модел

2.3.4 Методология на конструиране „отгоре-надолу“

При конструиране по метода „отгоре-надолу“ отначало се разработва концептуалният модел, който постепенно се конкретизира до геометричното оформяне на детайлите. Този метод е по-подходящ за разработване на ново и сложно изделие, в конструирането на което участват много специалисти, понеже позволява по-лесно съгласуване на отделните решения. Първата

стъпка обикновено е главният конструктор да създаде монтажен план, с помощта на който да се дефинира геометрията и позициите на отделните детайли. След това изделието се разделя на логически по-малки блокове, които може да бъдат конструирани независимо от отделните екипи конструктори в контекста на цялото изделие. Като недостатък може да се посочи последователното разработване на множество нива на абстракция.

2.4 Изводи и заключение

Съвременните CAD системи не поддържат в достатъчна степен конструирането „отгоре-надолу”. От гледна точка на геометричното моделиране може да се разграничат две основни групи проблеми, свързани с:

1. Автоматично поставяне геометричните ограничения за позициониране съобразно резултатите от концептуалния етап от процеса на конструиране;
2. Автоматично поддържане състоятелността на модела от гледна точка съответствието на геометрични параметри.

CAD системите предлагат функционалност, която позволява бързо и лесно да се създават геометрични ограничения, които автоматично поддържат съответствието на геометричните параметри, но при използване на тази функционалност се създават голям брой геометрични връзки между геометрията на отделните детайли, което прави CAD моделът неустойчив на промени.

Казаното по-горе показва необходимостта от създаване на подход, който от една страна да гарантира съответствието на геометричните параметри (състоятелността на геометричното описание на сглобената единица), а от друга – CAD моделът да позволява съществени промени в геометрията на компонентите.

ГЛАВА 3. ОБЕКТНО-ОРИЕНТИРАН ГЕОМЕТРИЧЕН МОДЕЛ НА СГЛОБЕНА ЕДИНИЦА

Резултатите от глава 2 показват, че CAD системите не предлагат достатъчна поддръжка при конструиране по метода „отгоре-надолу”. За анализ на дейностите, свързани с геометричното конструиране, се създава обектно-ориентиран модел на сглобена единица. Този модел позволява различни нива на абстракция и дефинира различни нива на поддръжка на конструктора.

3.2 Обектно-ориентиран модел на сглобена единица

Моделът се дефинира от абстрактни обекти и съдържа логическата структура на сглобена единица.

3.2.1 Дефиниране на класовете

За целите на дисертацията са дефинирани следните класове:

- Клас „Интерфейс” - абстрактен клас, който представя способността на компонентите да образуват съединения;

- Клас „Компонент” - съответства на детайл или сглобена единица от по-ниско ниво;

- Клас „Съединение” - представлява обобщение на всички възможни съединения, които може да се създават между експортираните фирми, дефинирани в класа „Интерфейс”;

- Клас „Колигация” - съдържа отношенията между компонентите в рамките на сглобената единица.

3.2.2 Отношения между класовете

- Отношение между „Интерфейс” и „Компонент” - един Компонент може да има неограничен брой интерфейси;

- Отношение между „Интерфейс” и „Съединение” - съединение се образува между два Интерфейса;

- Отношение между „Колигация” и „Съединение” - обект от клас „Колигация” може да съдържа много обекти от клас „Съединение”.

3.2.3 Обектно-ориентиран модел на сглобена единица

Взаимодействието между дефинираните класове е показано посредством обектно-ориентиран модел на Фиг. 3.9.

Съгласно предложения обектно-ориентиран модел решенията на ниво концептуално описание се записват в обект от клас „Колигация”. Това става посредством конструиране на съединенията на детайлите в зависимост от тяхното функционално предназначение. Създадените съединения дефинират геометричните интерфейси. Пълното геометрично описание на компонентите се съобразява с вече уточнените геометрични интерфейси.

Модифицирането на геометричните параметри може да се иницира както от промяна на съединение (на концептуално ниво), така и след модифициране на компонент (геометрично ниво). Съгласуването на параметрите се осъществява посредством изпращане на съобщения до замесените обекти от клас „Компонент”. По този начин се осигурява състоятелност на геометричния модел (съгласуване на геометричните параметри). Съгласуването се извършва както в първоначалния етап от създаване на модела (първоначалното създаване на CAD моделите на компонентите), така и на по-късните етапи, при които сглобената единица се модифицира с цел удовлетворяване на променени изисквания.

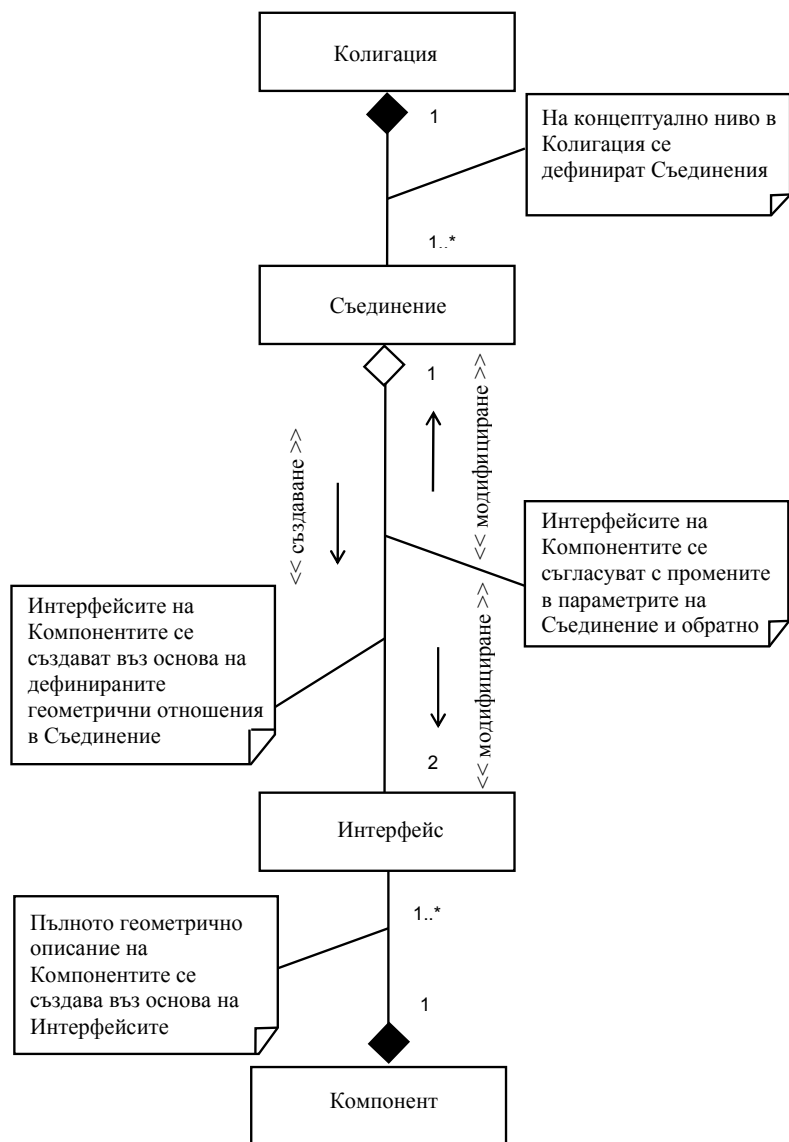
3.3 Диаграма на дейностите при конструиране „отгоре-надолу”

В глава 2 е разгледана методологията на конструиране „отгоре-надолу”. Съществуват различни интерпретации на този метод на конструиране, но най-общо може да се дефинира следната последователност на действията:

1. Определяне на компонентите, които участват в сглобената единица (Списък на съставните части). Списъкът на съставните части определя обема на работа, която трябва да се извърши;

2. Създават се скелетите на компонентите. Скелетите на компонентите служат за дефиниране на взаимното разположение на компонентите,

определяне на техните габаритните размери и анализ на кинематиката на сглобената единица;



Фиг. 3.9 Обектно-ориентиран модел на сглобена единица (UML означения)

3. Решения за съединенията между компонентите. Съединенията определят реалните механични връзки между компонентите. На този етап се определят и геометричните параметри на съединенията – геометричните модели на компонентите трябва да са съгласувани с приетите стойности;

4. Завършване на пълното геометрично описание.

3.4 Разширение на предложения модел.

Предложеният обектно-ориентиран модел включва само съображения, които се отнасят за създаване на геометричен модел на сглобена единица. Прилагането на обектно-ориентиран подход позволява моделът да се разшири с включване на други аспекти, свързани с процеса на конструиране.

Разширената структурна схема представлява междинно ниво между концептуалното конструиране и геометричното оформяне и е ключов елемент в интегрирането на техническите изисквания в CAD модела.

3.5 Изводи и заключение

Предложен е обектно-ориентиран модел на сглобена единица и е създадена диаграма на дейностите при конструиране „отгоре-надолу”. Моделът е основа за анализ на проблемите, свързани с поддръжката на конструктора и предлагане на възможни решения.

Предложеният обектно-ориентиран модел съдържа абстрактни класове и показва логическата структура на CAD модела на сглобена единица. За практическа реализация е необходимо моделът да се специализира до ниво, което позволява решаване на поставените задачи.

ГЛАВА 4. ГЕОМЕТРИЧНИ ИНТЕРФЕЙСИ И СЪГЛАСУВАНЕ НА ГЕОМЕТРИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ

В тази глава се обсъждат несъвършенствата на CAD модел на сглобена единица. Предлага се CAD моделът да се допълни с разширената структурна схема на сглобената единица. Разширената структурна схема се разглежда като концептуален модел на сглобена единица. Тя може да се натовари с инженерни решения, взети на началните етапи от процеса на конструиране и тези решения автоматично да се разпространят на етапа геометрично оформяне.

4.2 Разширение на CAD модела

4.2.1 Разширената структурна схема като концептуален модел на сглобена единица

Структурната схема се разработва на етап концептуално конструиране и има следните характеристики:

- представя компонентите на най-високо ниво на абстракция (наименования на компонентите);
- съдържа информация за механичните връзки (връзки между наименованията) на компонентите.

Моделът на сглобена единица има сходни характеристики – геометрични модели на компонентите и геометрични връзки между тях. Това дава основание разширената структурна схема да се разглежда като геометричен модел на сглобена единица на най-високо ниво на абстракция.

4.2.2 Интегриране на разширената структурна схема в CAD модела

За решаване на проблема за съгласуване геометричните параметри на съединенията се предлага разширената структурна схема да се допълни с информация, свързана със съединенията между детайлите. Съединенията представляват реализацията на избраната схема на базиране и съответно се асоциират с реални повърхнини на детайлите.

4.2.3 Нива на поддръжка на конструктора

Разширението на CAD модела с Разширената структурна схема и включването в нея на допълнителна информация позволява да се дефинират три нива на поддръжка на конструктора при конструиране „отгоре-надолу“, илюстрирани на Фиг. 4.3:

1. Поддръжка на конструктора от CAD системата - CAD системите разширяват поддръжката на конструктора в насока за създаване на геометричен модел на сглобена единица по метода на конструиране „отгоре-надолу“, но не предлагат достатъчно ниво на автоматизация. За повишаване нивото на поддръжка на конструктора е необходимо разширение на CAD модела, специално насочено към този метод на конструиране;

2. Интегриране на концептуалното описание в модела – с интегрирането на Разширената структурна схема със схеми на базиране в CAD модела се автоматизират дейностите по автоматично генериране скелетите на детайлите и автоматично поставяне на геометричните ограничения за позициониране в модела на сглобена единица;

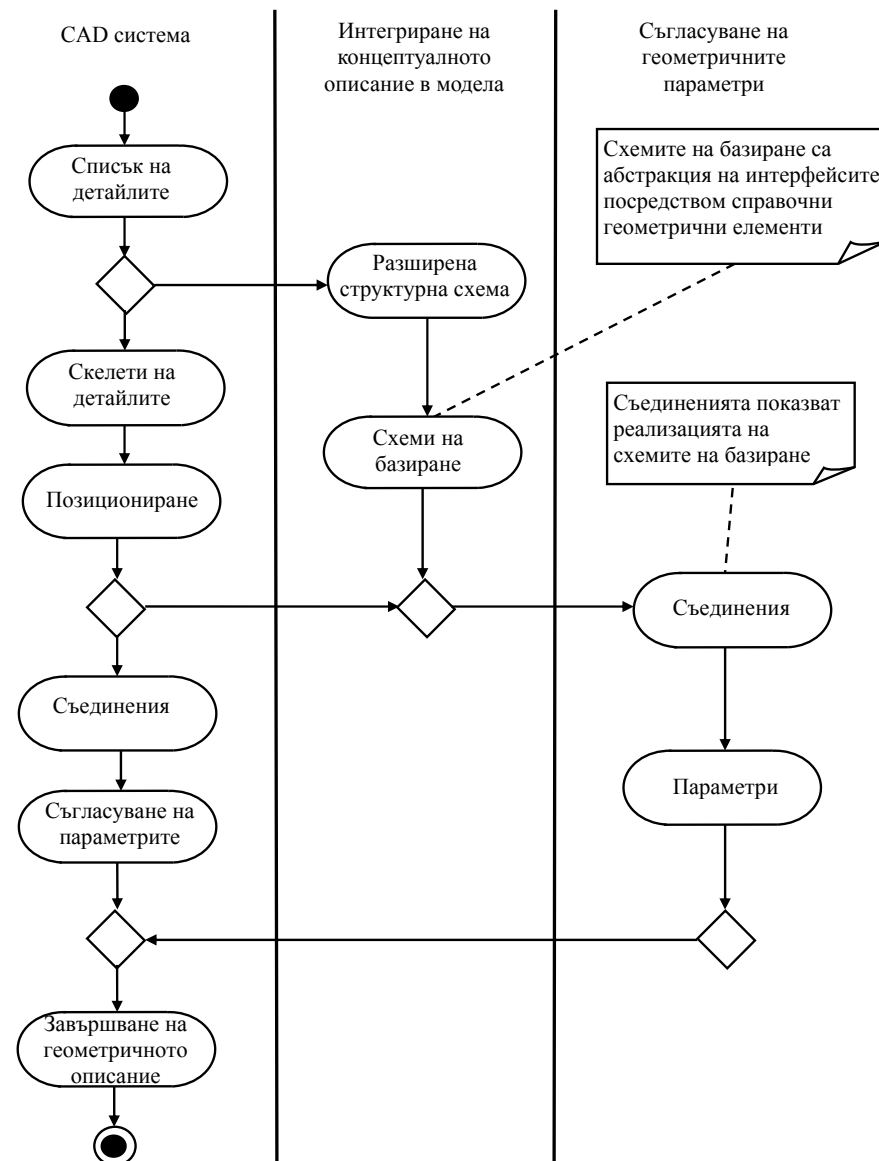
3. Съгласуване на геометрични параметри – Тук се предлага Разширената структурна схема да се допълни с информация за съединенията между детайлите – вид и геометрични параметри. Интегрирането на така разширена структурна схема с CAD модела допринася за допълнително автоматизиране на разпространението на решенията от концептуалния етап на процеса на конструиране относно вида и параметрите на съединенията в CAD моделите на детайлите и сглобената единица, а също така и до поддържане състоятелността на модела при първоначалното генериране на моделите на детайлите и при последващи модификации.

4.3 Геометрични интерфейси на ниво позициониране

4.3.1 Специализация на клас „Интерфейс“

Дефинират се два нови класа – клас „Интерфейс позициониране“ и клас „Схема на базиране“

4.3.2 Специализация на клас „Компонент“ - представлява клас „Скелет на компонент“



Фиг. 4.3 Нива на поддръжка на конструктора

- интерфейси позициониране, съответстващи на спомагателните бази на компонента (интерфейсите клас „Интерфейс позициониране (с)“).

4.3.3 Специализация клас „Съединение” – включва два класа – клас „Съединение базиране” и клас „Съединение позициониране”.

Клас „Съединение позициониране” формулира ограниченията за позициониране, които се налагат върху геометричните интерфейси на компонентите в CAD модел на сглобена единица.

4.3.4 Специализация клас „Колигация” - включва два класа – клас „Разширена структурна схема със схеми на базиране” и клас „Колигация позициониране”

Клас „Колигация позициониране” съдържа всички Съединения позициониране, създадени в сглобената единица. От гледна точка на CAD модела, той съответства на файла на модела на сглобената единица.

Класът „Разширена структурна схема със схеми на базиране” съдържа следните два основни атрибута:

- Обекти от клас „Схеми на базиране”, които определят как се отнемат степените на свобода на всеки от компонентите;
- Обекти от клас „Съединение базиране”, които определят механичната връзка между два различни компонента, посредством съответствие на основна и спомагателна база.

Класът „Разширена структурна схема със схеми на базиране” е от вид „Колигация” (базовият клас на „Разширена структурна схема”).

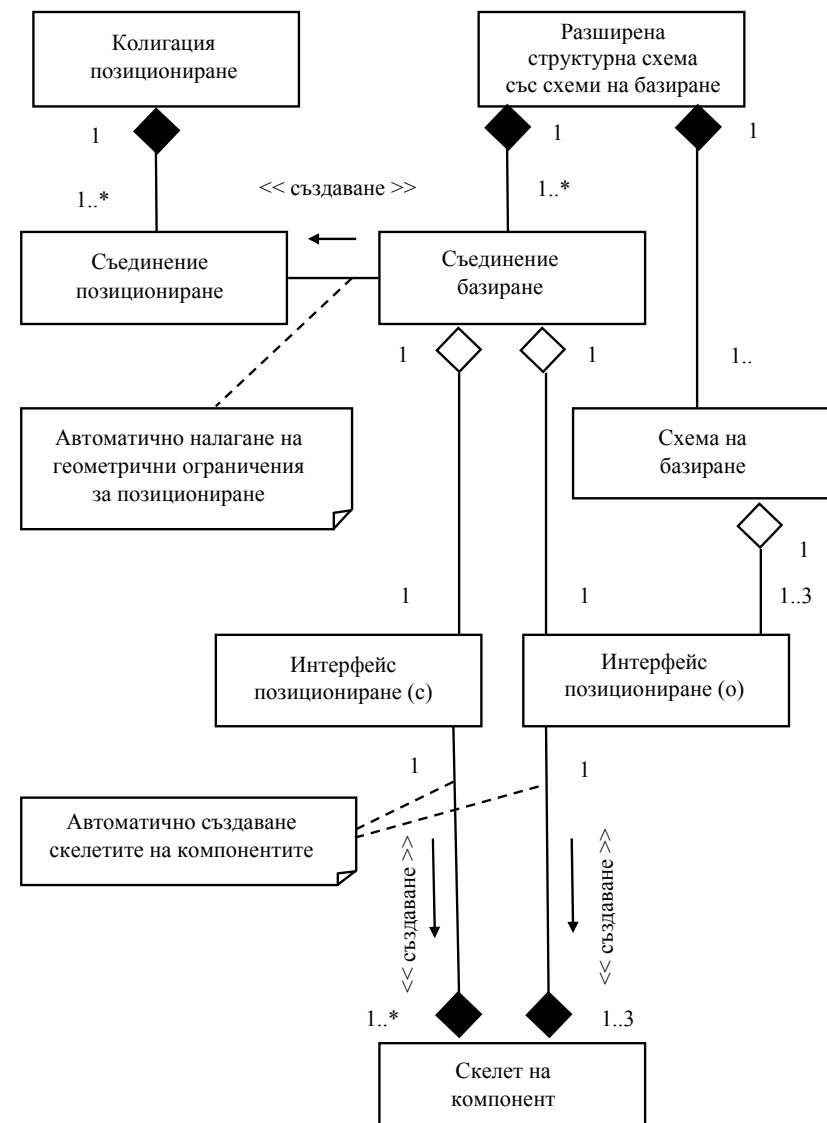
4.3.5 Модел на сглобена единица на ниво позициониране

Специализацията на предложения модел на сглобена единица на ниво позициониране е показана на Фиг. 4.10.

Скелетът на компонент съдържа всички интерфейси от клас „Интерфейс позициониране (о)“ и „Интерфейс позициониране (с)“.

Системата от „Интерфейси позициониране (о)“ се определя от Схемата на базиране на компонента, записана в Разширената структурна схема.

Класът Съединение базиране, също част от структурната схема, съдържа механичните връзки между компонентите. Той позволява въз основа на базираните повърхнини („Интерфейси позициониране (о)“) на компонент



Фиг. 4.10 Модел на сглобена единица – специализация на ниво позициониране

Дефинираната по разглеждания начин Разширена структурна схема със схеми на базиране позволява автоматично да се генерират Скелетите на компонентите и Колигация позициониране. От гледна точка на CAD модела:

- #### 4.4 Геометрични интерфейси на ниво съгласуване на геометрични параметри

Специализацията на предложения модел на сглобена единица на ниво параметри е илюстрирана на Фиг. 4.15.

- Концептуално ниво – модифицират се съединенията в Разширената структурна схема, при което промените се разпространяват автоматично до засегнатите компоненти;

- ## 4.5 Изводи и заключение

Направена е специализация на класовете до ниво „съгласуване на геометрични параметри”, което позволява да се направи практическа реализация на предложените геометрични интерфейси и подхода за

```
classDiagram
    class A["Разширена структурна схема със съединения"]
    class B["Съединение параметри"]
    class C["Интерфейс параметри"]
    class D["Компонент параметри"]

    A "1" *-- "1..*" B
    B "1" o-- "2" C
    C "1..*" *-- "1" D
```

Diagram illustrating the relationships between different parameter sets in a structural scheme:

- Разширена структурна схема със съединения** (Extended structural scheme with connections) is associated with **Съединение параметри** (Connection parameters) with a multiplicity of 1 to 1..*.
- Съединение параметри** is associated with **Интерфейс параметри** (Interface parameters) with a multiplicity of 1 to 2. This association is labeled with "създаване" (creation) and "модифициране" (modification).
- Интерфейс параметри** is associated with **Компонент параметри** (Component parameters) with a multiplicity of 1..* to 1.

Additional information:

- Автоматично се създават фичърите, представляващи актуалните геометрични интерфейси (Features are automatically created, representing the current geometric interfaces).
- Промяна на параметрите на съединението автоматично води до промяна на параметрите на геометричните интерфейси и обратно (Change in connection parameters automatically leads to change in geometric interface parameters and vice versa).

16

ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКА РЕАЛИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Целта на практическата реализация е да покаже осъществимостта на предложения подход, като разширение на съществуваща CAD система и да се направи оценка на неговата полезност.

За целите на практическата реализация се използва примерна сглобена единица „Прекъсвач“. Експерименталните изследвания са извършени с Autodesk Inventor 2017 и Microsoft Excel 2016.

5.1 Концептуален модел на примерна сглобена единица

Разработеният обектно-ориентиран модел на сглобена единица, показан на Фиг. 3.9 е конкретизиран на две нива на абстракция:

- Ниво позициониране;
- Ниво параметри.

Тези модели ще бъдат илюстрирани за разглежданата сглобена единица.

5.1.1 Модел на ниво позициониране

Моделът на ниво позициониране е показан на Фиг. 4.10. На това ниво концептуалният модел се представя посредством разширена структурна схема със схеми на базиране. За разглежданата сглобена единица, тази структурна схема е показана на Фиг. 5.2. На това ниво интерфейсът включва схемата на базиране и интерфейс позициониране, представен като справочни геометрични елементи. Съединението се представя чрез клас „Съединение позициониране“, който включва интерфейсите на двата детайла и геометричните ограничения за позициониране.

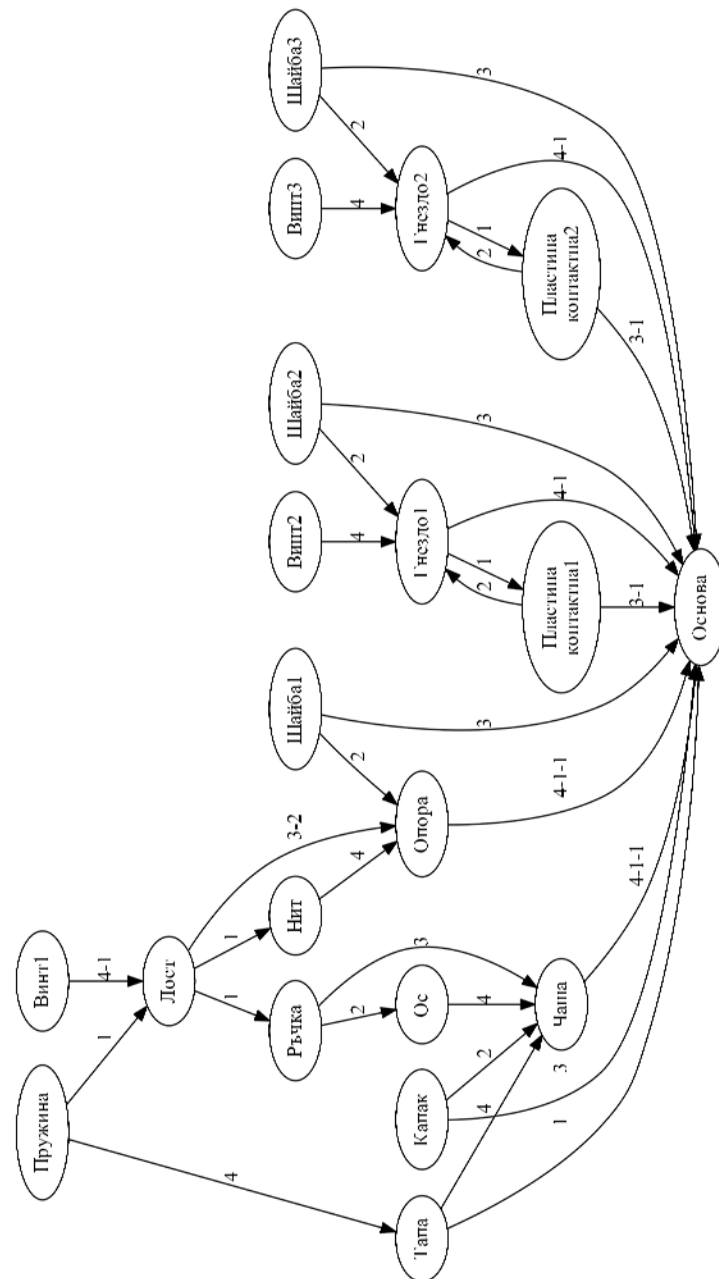
В т. 4.3.5 е посочено, че дефинираната по разгледания начин разширена структурна схема със схеми на базиране позволява автоматично да се генерират Скелетите на компонентите и Колигация позициониране (CAD моделът на сглобената единица). Практически това се осъществява съгласно алгоритъма, показан на Фиг. 5.3.

За да се въведат в CAD модела базите на детайла, те трябва да се представят посредством геометрични елементи – на това ниво на абстракция това са справочни геометрични елементи. За целта е необходимо да се дефинира съответствие между схемата на базиране и съответстващия ѝ набор справочни геометрични елементи. С помощта на същия алгоритъм (Фиг. 5.3) автоматично се генерират геометрични ограничения за позициониране, които са от вид „съвпадане“ между справочните геометрични елементи от скелетите на два детайла, съответстващи на всички двойки от основна и спомагателна база.

5.1.2 Модел на ниво параметри

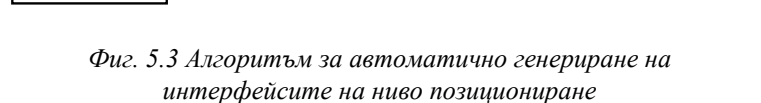
Моделът на ниво параметри е показан на Фиг. 4.15. На това ниво сглобената единица се представя с обект „Разширена структурна схема със съединения“. За примерната сглобена единица схемата е показана на

Фиг. 5.5. На това ниво класът „Съединение“ включва интерфейсите на двата компонента и двата атрибута:



Фиг. 5.2 Разширена структурна схема с базиране на детайлите за сглобената единица

- „Параметри на съединението“, практическото му значение е равенство на номиналните размери на съответните повърхнини.

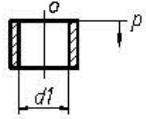
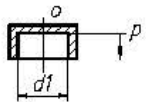
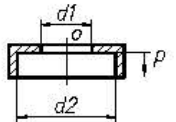
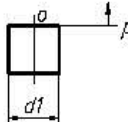
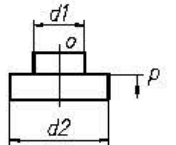
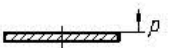


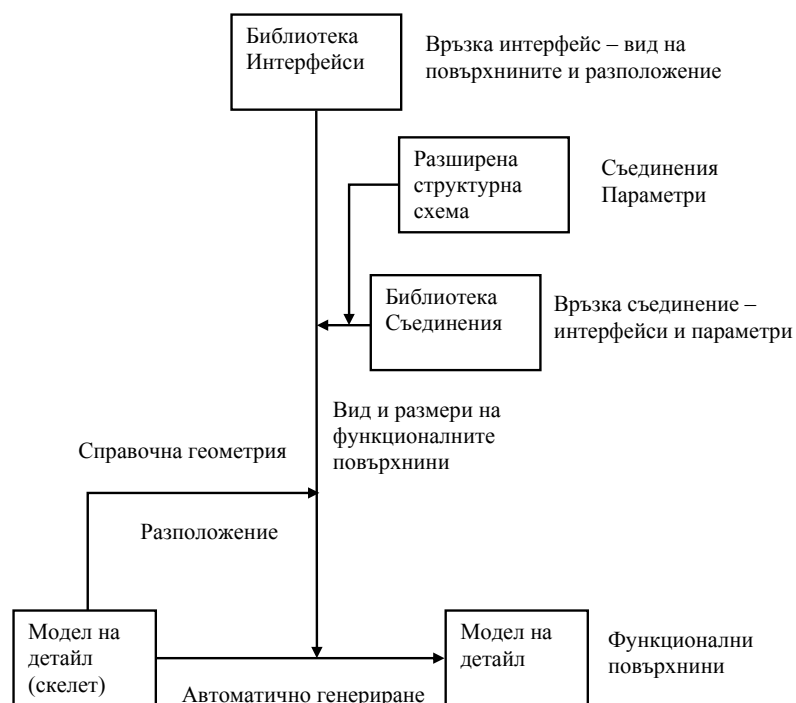
19

Таблица 5.1 Библиотека съединения

Наименование	Код	Интер- фейс 1	Интер- фейс 2	Схема на базиране	Пара- метри
Челно - цилиндрично съединение	ЧЦС-1	ЧЦ1-О	Ц – В	p3-o2	d1
				o4-p1	
	ЧЦС-2	Ц – О	ЧЦ2-В	p3-o2	d1
				o4-p1	
	ЧЦС-3	Ц – О	Ц – О	p3-(o2)	d1
	ЧЦС-4	Ц – В	Ц – В	p3-(o2)	d1
	ЧЦС-5	Ц – О	Ц – О	p3-(o2)	d2
Челно съединение	Ч	Р	Р	p1	-
				p2	
				p3	
Цилиндрично съединение	Ц	Ц – О	Ц – В	o2	d1
				o4	

Таблица 5.2 Библиотека интерфейси

Означение	Фигура
Ц – О	
ЧЦ1 – О	
ЧЦ2 – О	
Ц – В	
ЧЦ2 – В	
Р (равнина)	



Фиг.5.6 Алгоритъм за автоматично генериране на интерфейсите на ниво параметри

5.2 Описание на експеримента

Логическата схема на експеримента е показана на Фиг. 5.7. Резултатите от етапа на концептуално проектиране се представят посредством Разширена структурна схема. За целите на автоматизацията тази информация трябва да бъде представена във вид, който се разпознава от Autodesk Inventor. В този случай като таблици в Microsoft Excel.

Създадено е VBA приложение в Excel, което създава връзка между символичното означение в структурната схема с конкретната геометрична информация, дефинирана в разгледаните по-горе библиотеки (Фиг. 5.4, Табл. 5.1 и Табл. 5.2). Въвеждането на информация става посредством диалогови прозорци, показани на Фиг. 5.8 (въвежда се информацията от Разширената структурна схема за двата детайла, които образуват съединение, конкретизира се вида на съединението със схемата на базиране и

параметрите;) и Фиг. 5.9 (въвежда се информация за ориентация на справочните геометрични елементи и евентуално за техните координати (ако те са уточнени в етапа на концептуалното проектиране.).

Въз основа на въведените данни, автоматично се генерира информацията в следните пет таблици:

- Параметри – съдържа функционалните параметри на съединенията;
- Съединения – съдържа информация за съединенията между детайлите в сглобената единица;
- WorkFeatures – съдържа информация за справочните геометрични елементи, които образуват скелетите на детайлите;
- mates – съдържа списък от всички геометрични ограничения, които трябва да бъдат наложени в CAD модела на сглобената единица;
- Интерфейси – съдържа информация за интерфейсите на детайлите на ниво параметри.

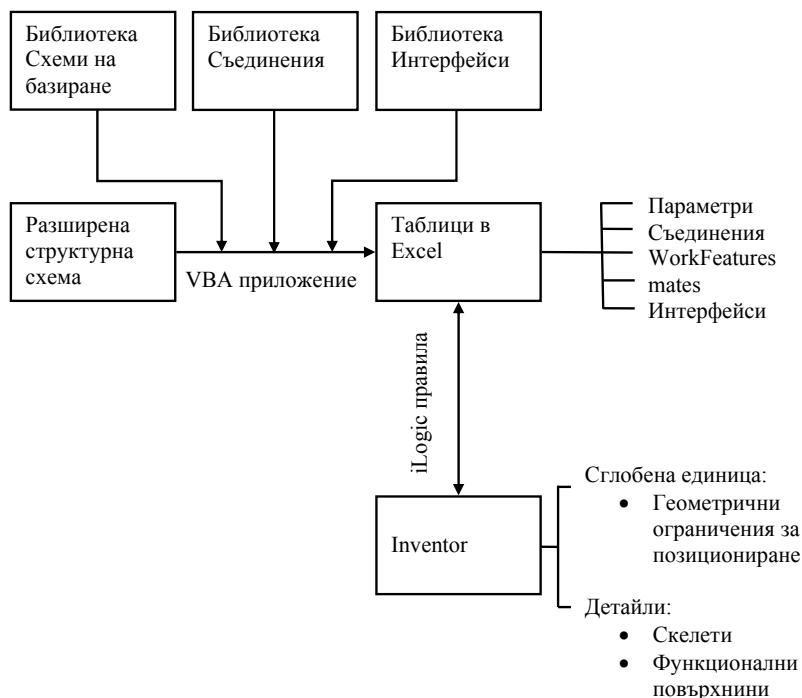
Създадено е разширение към Autodesk Inventor, което въз основа на информацията от изброените Excel таблици, автоматично генерира моделите на детайлите, съдържащи техните скелети и функционални повърхнини, и пренася тази информация в CAD модела на сглобената единица, като налага геометрични ограничения за позициониране. За целите на експеримента това разширение е написано като набор iLogic правила в Autodesk Inventor:

- CreateWorkFeaturesFromExcel – въз основа на данните от таблицата „WorkFeatures“ автоматично генерира в модел на детайл интерфейсите на ниво позициониране (скелетите на детайлите);
- PlaceiFeatureFromExcel – прочита информацията от таблицата „Интерфейси“ и автоматично генерира в модел на детайл интерфейсите на ниво параметри (скелетът на детайла трябва да е създаден предварително); параметрите се четат от таблицата „Параметри“;
- ChangeParamFromPart – позволява промяна на параметрите на геометрично ниво от модел на детайл и отразява направените корекции в Excel таблицата с параметрите;
- InsertComponentFromExcel – вмъква компонентите в модел на сглобена единица и поставя геометрични ограничения за позициониране съгласно таблицата „mates“.

5.3 Експериментални резултати

5.3.1 Автоматично генериране интерфейсите на детайлите

Информацията от разширената структурна схема с базиране на детайлите (Фиг. 5.2) и разширената структурна схема със съединения (фиг. 5.5) с помощта на VBA Excel приложението (диалоговите прозорци на Фиг. 5.8 и Фиг. 5.9) е въведена в следните Excel таблици:



Фиг. 5.7 Схема на експеримента

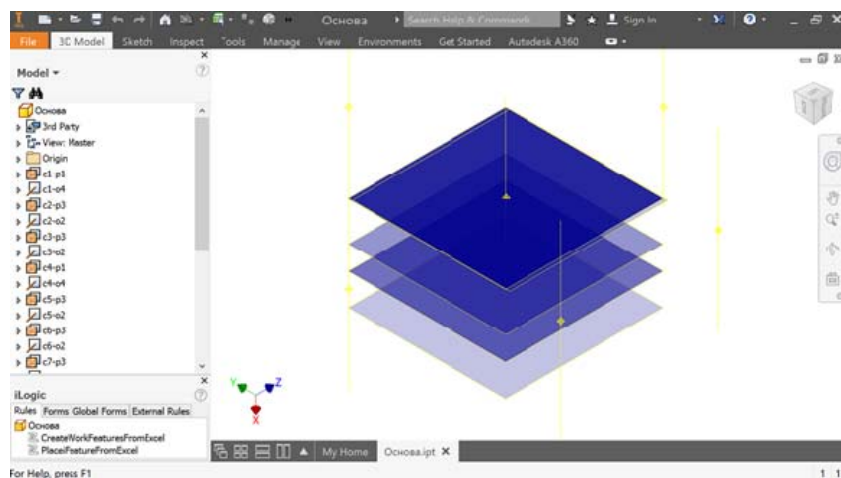
Фиг. 5.8 Въвеждане на информацията за съединение между детайли.

Фиг. 5.9 Въвеждане на информацията за разположението на справочните геометрични елементи

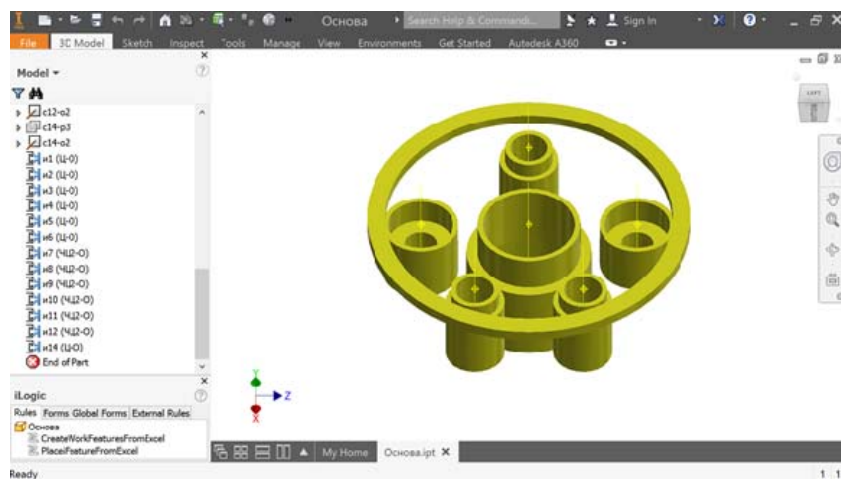
- таблица „Съединения“ съдържа информацията от разширената структурна схема;
- таблица „WorkFeatures“ съдържа информация за справочната геометрия на детайлите;
- таблица „Интерфейси“ съдържа информация за интерфейсите на детайлите;
- таблица „Параметри“ съдържа параметрите на съединенията.

За всеки от детайлите се изпълнява iLogic правилото CreateWorkFeaturesFromExcel, което автоматично генерира скелетите на детайлите. Резултатът от изпълнението на това правило за детайл „Основа“ е показан на фиг. 5.14. След което се изпълнява iLogic правилото PlaceFeatureFromExcel, което създава интерфейсите на детайлите под формата на библиотечни фичъри. За целта предварително е създадена библиотека от фичъри, която съответства на съдържанието на табл. 5.2. На Фиг. 5.15 е показана автоматично генерираната информация за детайл „Основа“.

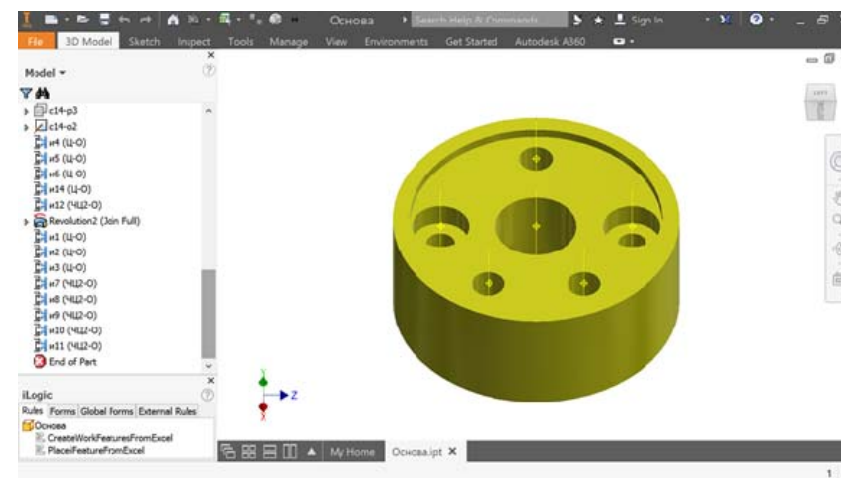
Завършеният геометричен модел на детайл „Основа“ е показан на Фиг. 5.16. За пълното геометрично описание в случая е необходимо да се добави само един фичър от тип „завъртане“. Трябва да се посочи, че това трябва да е първият фичър в историята на модела (библиотечните фичъри, представляващи интерфейсите на детайла, трябва да се преместят след него).



Фиг. 5.14 Автоматично генериран скелет на детайл „Основа”



Фиг. 5.15 Автоматично генерирани интерфейси на детайл „Основа”

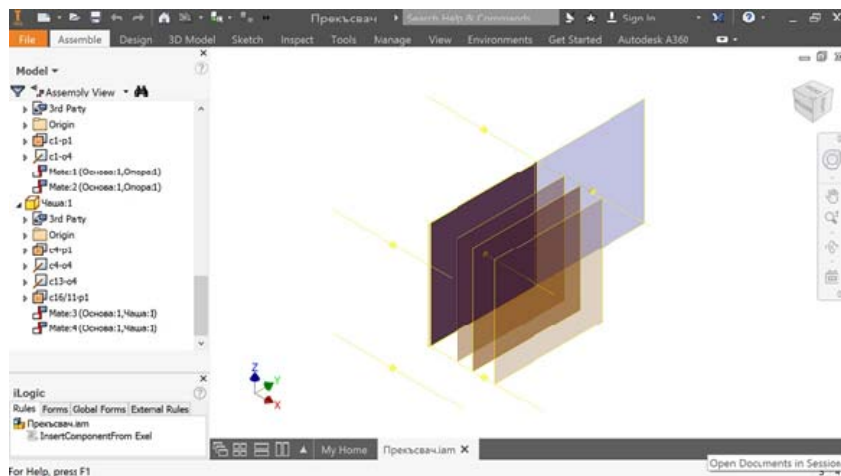


Фиг. 5.16 Завършен геометричен модел на детайл „Основа”

5.3.2 Автоматично генериране на модел на сглобена единица

В модела на сглобена единица се стартира правилото InsertComponentFromExcel, което вмъква детайлите и налага ограничения за позициониране. Данните се вземат от Excel таблицата на Фиг. 5.17. За разглежданата сглобена единица, автоматично генерираният CAD модел е показан на Фиг.5.18.

Фиг. 5.17 Таблица mates в Excel (автоматично генерираните геометрични ограничения за позициониране за примерната сглобена единица)

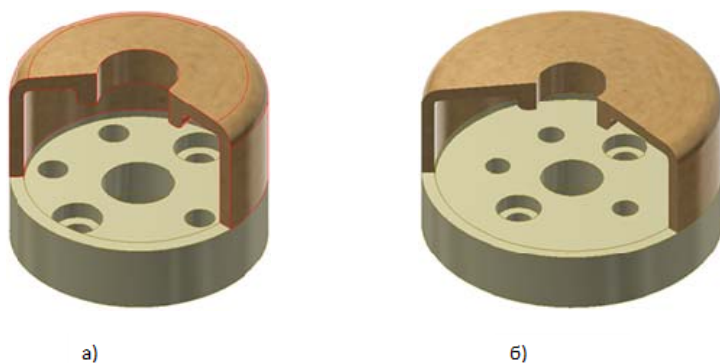


Фиг. 5.18 Автоматично генериран CAD модел на сглобената единица от Фиг. 5.1 (показани са само детайли Поз.1, 2 и 16)

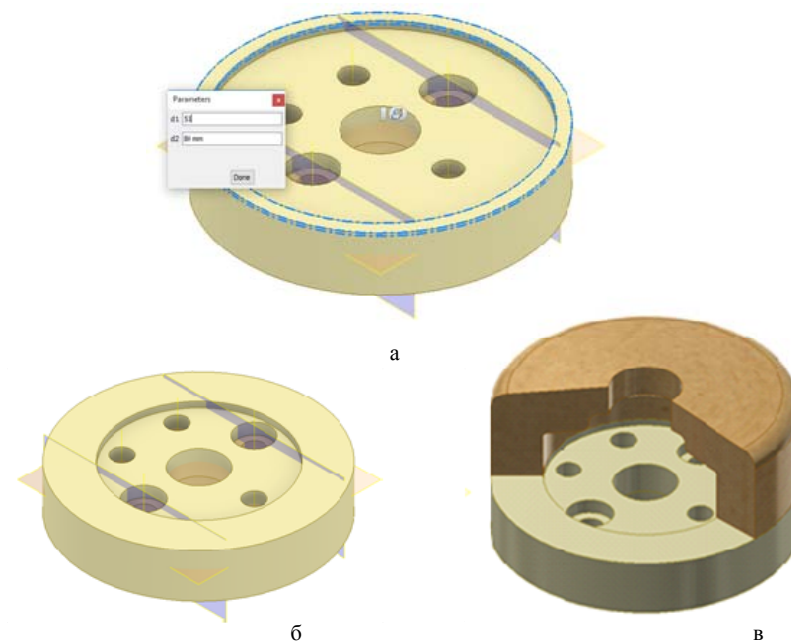
5.3.3 Модифициране на параметрите

Модифицирането на параметрите на съединение може да се извършва на две нива:

- концептуално ниво (промяна на геометричните параметри в Разширената структурна схема) Фиг. 5.19;
- геометрично ниво (промяна параметрите на интерфейс на компонент в CAD модела) фиг. 5.20.



Фиг. 5.19 Модифициране геометричните параметри на концептуално ниво



Фиг. 5.19 Модифициране геометричните параметри на геометрично ниво

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-приложни приноси

1. Предложен е обектно-ориентиран модел на структурата на CAD модел на сглобена единица посредством разработени абстрактни класове и създадената диаграма на дейностите при конструиране „отгоре-надолу“, предназначен за анализ на проблемите, свързани с поддръжката на конструктора и предлагане на възможни решения.

2. Предлага се концептуален модел на сглобена единица, съдържащ резултатите от началните етапи на процеса на конструиране, като Разширена структурна схема, включваща информация за съединенията между детайлите и техните параметри.

3. Дефиниран е теоретичен модел на геометричните интерфейси, отразяващ реалните механични връзки в сглобена единица на ниво позициониране и ниво параметри въз основа на конкретизация на разработения абстрактен обектно-ориентиран модел.

4. Разработени са алгоритми за автоматично генериране на интерфейсите на ниво позициониране и на ниво параметри в CAD модел на детайл и автоматично създаване на CAD модел на сглобена единица.

Приложни приноси

1. За целите на експеримента са разработени библиотеки, включващи най-често срещани съединения и интерфейси в електромеханични конструкции.

2. За целите на експеримента е разработена надстройка на Autodesk Inventor 2017 като iLogic правила и VBA приложение на Microsoft Excel 2016, които реализират предложеното разширение на CAD модел на сглобена единица.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Горанов П., Е. Тодорова, Д. Георгиева, Extended structural scheme as abstraction of CAD assembly model, International scientific conference industry 4.0, Боровец, Декември 2016, стр.30-33, ISSN 1310 3946, (27)213

2. Георгиева Д., Приложение на обектно-ориентирания подход за разширяване на съществуващата функционалност на CAD системите, International scientific conference industry 4.0, Боровец, Декември 2016, стр.26-29, ISSN 1310 3946, (27)213

3. Goranov P., E. Todorova, D. Georgieva, An approach to integrate results from conceptual design into CAD, X international conference for young researchers, Borovec, December 2016, стр.28-31, ISSN 1310 3946, (29)215

4. Георгиева Д., Абстракция на геометричните интерфейси на ниво позициониране на детайлите, Българско списание за инженерно проектиране, брой 31, януари 2017г., стр.40-44, ISSN 1313 7530.

5. Горанов П., Е. Тодорова, Д. Георгиева, Подход за автоматично съгласуване на геометрични параметри в CAD модел, Българско списание за инженерно проектиране, брой 31, януари 2017г., стр.28-31, ISSN 1313 7530.

6. Горанов П., Е. Тодорова, Д. Георгиева, Система геометрични интерфейси за интегриране на концептуалното описание в CAD модела, Българско списание за инженерно проектиране, брой 32, април 2017г., стр.15-20, ISSN 1313 7530.

Благодарности

Авторът благодари на ръководителите си доц. Петър Горанов и доц. Елена Тодорова за оказаната помощ и съдействие при разработването на настоящия труд.

SUMMARY

EXTENDED CAD MODEL ORIENTED TO "TOP-DOWN"

DESIGN

Desislava Stefchova Georgieva

The construction of a new product begins with the development of its concept. The creation of a top-down CAD assembled unit of assembly is consistent with the design of a new product and allows the development of the model to follow the natural course of development of the idea to its realization.

Despite their development, modern CAD systems do not offer sufficient design support to the top-down construction method. The imperfections are in terms of insufficient integration of the conceptual model with the completed geometric description, a considerable amount of technical work and insufficient functionality to maintain the model consistency. To overcome them, the dissertation proposes that the CAD model of the assembled unit be supplemented with its extended structure diagram, containing information about the type and parameters of the joints between the components. The extended structural scheme is considered as a conceptual model of the assembled unit.

The present work proposes the development of an object-oriented model of an assembled unit for the analysis of the activities related to the geometrical construction. The proposed model allows analysis of the geometric relations between assembled unit components at different abstraction levels and is the basis for an approach to integrate the results from the conceptual stage of the design process with the CAD model.

The developed object-oriented assembled unit model is specified to a level that allows its implementation as an extension of a CAD system. For this purpose, "Library Interfaces" have been created, which are presented as library fiches in the detail model. Each interface is positioned in the workpiece model by means of the generated reference geometric elements which are associated with the predicted base pattern. Also, a "Library of Connections" has been created, which defines the compatible geometric interfaces and their parameters. An Autodesk Inventor 2017 extension is developed as iLogic rules and a VBA extension to Microsoft Excel 2016.

Experimental studies show a significant reduction in the technical work involved in creating the CAD model. The usefulness of the proposed approach involves automatically synchronizing significant geometric parameters. These effects are achieved as a result of the automatic spreading of the results from the conceptual stage of the construction process into the final geometric model.