



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

МАШИНОСТРОИТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ

КАТЕДРА „АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО“

маг. инж. ХАСАН АХМЕД ХАСАНСАБРИ

**ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПАРАМЕТРИЧНИ РЕДОВЕ НА МЕХАТРОННИ СИСТЕМИ ЗА
АВТОМАТИЗИРАНО ЗАДВИЖВАНЕ НА ПЛЪЗГАЩИ ВРАТИ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за получаване на образователна и научна степен
„ДОКТОР“

Област: 5. Технически науки

Професионално направление
5.1 „Машинно инженерство“

Научна специалност
„Автоматизация на производството“

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:
проф. дн инж. ИВО КРЪСТЕВ МАЛАКОВ

СОФИЯ, 2024 година

Дисертационният труд е обсъден и насочен от Катедрен съвет на катедра „Автоматизация на дискретното производство“ към Машиностроителен факултет на Технически университет – София на редовно заседание, проведено на 17.06.2024.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на: 20.09.2024г. от 13:00 часа в Конферентна зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научно жури, определено със заповед № № ОЖ-5.1-69/26.06.2024 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Доц. д-р Ренета Димитрова – председател
2. Доц. д-р Стилиян Николов – научен секретар
3. Проф. д-р Младен Милушев
4. Проф. дн Димитър Дичев
5. Проф. д-р Илия Железаров

Рецензенти:

1. Проф. дн Димитър Дичев
2. Доц. д-р Ренета Димитрова

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

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

Автор: маг. инж. Хасан Ахмед Хасансабри

Заглавие: Оптимизация на параметрични редове на мехатронни системи за автоматизирано задвижване на плъзгащи

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Дисертационният труд се съсредоточава върху анализа на задачата за избор на оптимален вариант при проектиране на параметрични редове на мехатронни системи за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати (ПРМСАЗП). Разгледан е изборът на оптимален вариант и мястото му в процеса на проектиране на ПРМСАЗП. Установено е, че задачата за избор на оптимален вариант се решава многократно в процеса на проектиране. Определена е задачата за избор на оптимален структурен вариант на ПРМСАЗП и са посочени нейните характерни особености. Поради многокритериалния характер на формулираната задача е направено кратко въведение в терминологията на многокритериалната оптимизация. Накратко е описана използваната съществуваща методология за избор на оптимален структурен вариант на ПРМСАЗП. Направен е избор на оптимален размерен ред на техническото изделие. Направен е анализ на съвкупността от основни параметри на изделието. Определени са параметрите, които участват при оптимизацията и са определени техните конкретни стойности. Направено е пазарно проучване за определяне на търсените количества от изделия в зависимост от стойностите на основните им параметри избрани да участват в оптимизационната задача. Избран е критерий за оптималност – разходите за производство и допълнителните разходи. Определена е функционалната зависимост между критерия за оптималност и влияещите фактори, които са свързано с обработка на информацията за цени и потребности и формулиране на математически зависимости. Приложени са се математически методи за интерполиране и екстраполиране на липсващи данни. Построен е математически модел на задачата, като беше определена целевата функция и изборът му за решаването се обуславя от нейният вид, характерни особености, математически модел, и функционални зависимости. Алгоритмичното и програмно осигуряване за решаване на задачата изисква разработването на поне два подхода за решаване – първият използван основно за проверка на получаваните резултати при малки размерности (пълно комбиниране, т.нар. „груба сила“), а вторият позволяващ решаването на задачи с големи размерности (динамично програмиране). Използван е инструментариум, който позволява ефективното решаване на поставената задача. По определени критерии е избран софтуерен продукт, в който е имплементирана база от данни за създаване на техническа документация, апробирани при решаването на задача от практиката.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е да се проектира и оптимизира размерен ред на система за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати. За постигане на поставената цел следва да се решат следните задачи: да се формулират изискванията и разработи класификация на автоматични врати, включваща и автоматичните плъзгащи врати; да се систематизират градивните компоненти на система за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати; да се проектира общ типопредставител на основата, на който да се построи размерния ред; да се оптимизира размерен ред на система за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати; да се разработи методика за проектиране на автоматични плъзгащи врати; да се

направи избор на софтуерна програма и се разработи база от данни в избраната среда за техническо документиране на автоматични плъзгащи врати и да се апробират разработените модели, методи и алгоритми.

Научна новост

1. Разработена е класификация на автоматични врати.
2. Разработена е методика за проектиране на автоматични плъзгащи врати.
3. Разработени са математически модели на задачите за избор на оптимален структурен вариант на общ типопредставител и за избор на оптимален размерен ред на системи за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати.
4. Определена е функционалната зависимост между избрания критерий за оптималност и основните параметри на системата.

Практическа приложимост

1. Построен е мрежов модел на множеството от структурни варианти на система за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати.
2. Чрез известен програмен продукт е избран оптимален вариант на структурата на система за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати.
3. Определено е търсенето на модули за задвижване на автоматични плъзгащи врати.
4. Разработени са алгоритми за оптимизация на размерни редове, които са реализирани програмно.
5. С разработеният инструментариум е избран оптимален размерен ред на модули за задвижване на автоматични плъзгащи врати.
6. По определени критерии е избран софтуер и е разработена база от данни за автоматизирано документиране, които са апробирани при решаване на задача от практиката.

Апробация

Създаденият размерен ред е имплементиран в софтуерната програма „Лоджикал“ и е решена реална задача от практиката за проектиране на автоматична плъзгаща врата.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са пет на брой научни публикации, от които една самостоятелна, публикувана в рецензирано списание и четири в Scopus.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **132** страници, като включва четири глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **139** литературни източници, като **64** са на латиница и **46** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **111** фигури и **24** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

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

1.1. Автоматични врати.

Автоматизирано задвижваните плъзгащи врати спадат към автоматичните врати, които са раздел от архитектурните системи с голямо приложение в строителството. Те намират приложение в молове, магазини, учреждения, офиси, хотели, ресторанти, бензиностанции и др. като на практика почти няма обществена сграда без монтиран подобен вид врати. Освен в обществени сгради, автоматични врати се използват и в частни жилища, обикновено когато става въпрос за големи отваряеми площи и при използване на тежки крила с относително големи габаритни размери.

В стандарта [ANSI/BHMA A156.10, 1999] на Американския национален институт по стандартизация е определен термина „механизирана врата“ като в скоби след този термин е пояснено „автоматична врата“. Дадено е следното определение: „Съчетанието от врата, оператор и прибори за управление, съставляващи системата. Също наречена автоматична врата.“ [ANSI/BHMA A156.10, 1999]. В този стандарт са посочени три вида автоматични врати: на панти, плъзгащи и ролетни (сгъваеми).

1.2. Системи за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати.

На пазара се предлагат редица системи за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати. С цел определяне на изискванията към тези системи и анализ на техническите им параметри, е целесъобразно да се направи обзор и анализ на моделите предлагани от водещи производители. Такива производители са Dormakaba [Dormakaba, 2022], Alumil [Alumil, 2022a], Record [Record, 2023], GEZE [GEZE, 2022] и др.

Обектът е особено подходящ за оптимизация на размерния ред, тъй като се характеризира с относително висока себестойност и нарастващо търсене. Най-често в практиката се използва един преоразмерен модул за всички комбинации от ходове и съответно маси на крилата, което повишава необосновано разходите за производство и експлоатация.

1.3. Методи за проектиране и избор на оптимален вариант на технически изделия.

Съвременните технически системи са мултикомпонентни системи, характеризиращи се с голям брой параметри и показатели [Малаков, Дюкенджиев, Йорданов, 2006]. Процесът на проектирането им в значителна степен предопределя ефективността им през всички фази на жизнения цикъл [Malakov & Zaharinov 2012].

Методите за проектиране могат да бъдат систематизирани в три групи [Pahl & Beitz, 2007]: конвенционални методи; предимно интуитивни методи; предимно дискурсивни методи.

Към първата група се отнасят проучването на литературни източници, анализ на образци от живата природа [Hesse, 1992], анализ на съществуващи технически системи, проектиране по аналогия, провеждане на измервания и моделни изпитания.

Към втората група методи се отнасят мозъчната атака, метод „635“, метод „Делфи“, дискусия „Филипс 66“, синетика (метод на Gordon), метод за отстраняване на безизходни ситуации, метод на контролните въпроси, метод „Galerie“, метод „Емпатия“ и др. [Николов, 1998], [Шехонин и др., 2006], [Hintzen et al., 1989], [Pahl & Beitz, 2007]. Основно предимство на тази група методи е възможността много бързо да се достигне до решение на проблема, при това и чрез принципно нови решения. Основният недостатък е свързан с това, че няма гаранция за намиране на най-доброто решение.

Този недостатък е отстранен в третата група методи – предимно дискурсивните.

Към предимно дискурсивните методи се отнасят систематичното изследване на физически зависимости, систематичното търсене с помощта на системи за класифициране, използване на каталози, методи за комбиниране и др.

В [Малаков, 2009] задачите за избор на оптимален структурен вариант са систематизирани по признаците: отсъствие или наличие на неопределеност за характеристиките на елементарните устройства и системата; брой на целевите функции; вид на елементарните устройства и наличие на ограничения върху съвместимостта между тях.

1.4. Методи за проектиране и оптимизация на размерни редове.

Актуалността на задачата за избор на оптимални размерни редове на изделия доведе до редица публикации и отделни изследвания на проблема през годините, но следва да се подчертае, че техният брой не е много голям. Ограничен е и броят на специалистите, занимаващи се с този проблем, които публикуват резултати от своята дейност. Това може да се обясни донякъде със сложността на задачата и отсъствието на единен подход за нейното решаване, произтичащи от голямото многообразие на изделията и изпълняваните от тях функции, разнообразието на параметри и влияещи фактори, на ограничения върху приложимостта на изделията и др., наличието на редица проблеми и неизяснени въпроси свързани с определяне на потребностите, избора на целеви функции и ограничения при построяване на математическите модели, необходимостта от адаптиране и усъвършенстване на известни методи за оптимизация и др.

В [Гановски и др., 1986] е разгледана само общата постановка на задачата за избор на оптимален размерен ред на агрегатни възли, като не са изяснени въпросите за определяне на потребностите, избора на основни параметри, наличието на ограничения върху приложимостта на елементите на размерния ред и т.н. Изборът на оптимален ред се свежда до намиране на най-малката стойност на сумата от разходите за производство и експлоатация на всички единици от даден тип:

$$C_o = \sum_{j=1}^n a_{oj} b_j \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

където n е броят на типоразмерите; a_{oj} - стойността на изработването и експлоатацията на j - я типоразмер; b_j - броят на необходимите агрегатни единици от j - я типоразмер.

Аналогично и в [Маринов и др., 2002] са представени само основните положения на икономическата целесъобразност от създаване на типоразмерни редове на двигатели с вътрешно горене. Общият процес за оптимизация на размерните редове, без навлизане в подробности, и някои основни термини са изяснени в [Якушев, 1974] и [Амиров, 1985].

В [Лефтеров и др., 1986] е разгледан въпросът за построяване на параметрични редове на съединители на базата на разработката [Pahl & Beitz, 1974]. Съставянето на реда се извършва в следната последователност: избира се стъпката на големината на някой от определящите параметри.

1.5. Програмни среди за създаване на база данни за автоматизирано документиране на автоматични плъзгащи врати.

С развитието на информационните технологии, задачите на конструкторите се стремят да се автоматизират. Това налага все повече инженери да добият компетенция, както върху бизнес процесите, така и върху внедряването, администрирането и разработването на нови програмни модули към тези системи.

Изготвянето на техническа документация е важна част от проектирането на автоматична плъзгаща врата. Тя е свързана с изготвянето на технологични карти, оптимизация на профилите, количествено - стойностна сметка на материалите, специфициране на стъклопакетите, изготвяне на монтажни схеми, спецификации на материалите и други. Всичко това отнема много време и по тази причина в практиката се използват редица софтуерни програми. Често срещани в практиката са: „Скай глейзинг“, „Шукал“, „Логикал“, и др.

„Скай глейзинг“ [Скай глейзинг, 2024] е програма, която е създадена от българският програмист Стефан Желински. С нея може да се проектират всякакви видове конструкции с различна степен на сложност и геометрия на окачени фасади, прозорци, входни врати, хармоники, плъзгащи системи, плъзгания с повдигане на крилата, автоматични плъзгащи врати и др. Като недостатък може да се отбележи, че в

процес на проектиране, проектантът не може да генерира хоризонтални и вертикални разрези в чертожната програма „AutoCAD“ [<https://www.autodesk.com>].

Изброените недостатъци могат да се покриват от програмата „Шукал“ [Шукал, 2024]. Тя е създадена от немската компанията „Шуко“, която може да извършва всички операции, изброени по-горе, както и да изчислява коефициенти на топлопреминаване. „Шукал“ може да оразмерява профили при натоварване от вятър. Недостатъкът на „Шукал“ е, че потребителят не може да имплементира архитектурни системи на различните доставчици, а само системите на „Шуко“.

Софтуерната програма „Логикал“ [Лоджикал, 2024] е изработена от немската компания „Оргадата“. През 2003 г. за първи път се създава връзка между програмата и машините с цифрово програмно управление. „Логикал“ е много функционална програма, чрез която може да се създават големи, средни и малки проекти.

1.6. Изводи.

От направеният до тук обзор и анализ могат да се направят следните изводи:

1. Не е известна класификация на автоматични врати и в частност автоматични плъзгащи врати.
2. Производителите предлагат на пазара модули за задвижване на автоматични плъзгащи врати, които са оразмерени за най-тежкото крило, т.е. предлага се един преоразмерен модул (типоразмер), който се нагажда към конкретния проект.
3. Необходимо е систематизиране на компонентите, влизащи в състава на автоматизираното задвижване на плъзгащи врати, за да е възможно разработването на размерен ред.
4. Необходимо е проектирането на общ типопредставител чрез прилагане на съвременни методи и подходи за проектиране и оптимизация.
5. За покриване нуждите от изделия на пазара е необходимо разработване на размерен ред и неговото оптимизиране.
6. Необходимо е да се разработи методика за проектиране на автоматични плъзгащи врати.
7. Необходимо е да се извърши избор на програмна среда за създаване на техническа документация на автоматични плъзгащи врати и се разработи и въведе в избраната среда база от данни за проектирания размерен ред.

1.7. Цел и задачи на дисертационния труд.

Целта на дисертационния труд е:

Да се проектира и оптимизира размерен ред на система за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати.

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

1. Да се формулират изискванията и разработи класификация на автоматични врати, включваща и автоматичните плъзгащи врати.
2. Да се систематизират градивните компоненти на система за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати.

3. Да се проектира общ типопредставител на основата, на който да се построи размерния ред.
4. Да се оптимизира размерен ред на система за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати.
5. Да се разработи методика за проектиране на автоматични плъзгащи врати.
6. Да се направи избор на софтуерна програма и се разработи база от данни в избраната среда за техническо документирание на автоматични плъзгащи врати.
7. Да се апробират разработените модели, методи и алгоритми.

ГЛАВА 2. ПРОЕКТИРАНЕ НА ОБЩ ТИПОПРЕДСТАВИТЕЛ - ИЗИСКВАНИЯ И СТРУКТУРА. ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН ВАРИАНТ.

2.1. Класификация на автоматичните врати.

Предложената класификация на автоматични врати е показана на Фиг. 2.1. Тя се състои от няколко класификационни критерия: използвана енергия, вид движение на крилото, материал на крилото, приложение, начин на активиране и брой крила.



Фиг. 2.1. Класификация на автоматични врати – класификационни критерии

2.1.1. Енергия.

За премахване на необходимостта от ръчно задвижване и осигуряване на автономност е необходимо използването на двигатели за задвижване на механичната система на автоматичните врати. Разпространено е използването на три вида двигатели: електрически [Dormakaba, 2021a], пневматични [Allegion, 2020] и хидравлични [Schweiss, 2022]. Най-разпространено е електрическото задвижване. Пневматичните и хидравлични задвижвания, по-нататък наричани обобщено флуидни, се използват основно в по-специализирани случаи. Флуидните задвижвания са подходящи в случаите, когато са необходими големи сили, например при голяма маса на задвижваните крила или необходимост от големи усилия при отваряне.

2.1.2. Движение на крилото.

При автоматичните врати се наблюдава и разнообразие от движения използвани при преместване на крилата. Тези движения могат да бъдат класифицирани в три основни групи: ротационни, транслационни и равнинни.

При ротационните се срещат три разновидности: врати на панти [Dormakaba, 2021b], въртящи врати [Dormakaba, 2020] и врати с ексцентрично разположена ос на отваряне [Dormakaba, 2021b].

Автоматичните врати на панти наподобяват традиционните ръчно отваряни врати, но с добавено автоматично задвижване и управление.

Въртящите врати се предлагат в голямо разнообразие от конструктивни варианти [БДС EN 16005:2012/АС:2015]. Този вид автоматичните врати осъществяват ротационното движение на крилата посредством централна ос.

Вратите с ексцентрично разположена ос на отваряне са алтернатива на вратите на панти в случаите, когато крилото има големи размери и маса.

Транслационно движение се реализира от плъзгащите автоматични врати. Те са много разпространени не само в обществените сгради, но и в превозни средства и в приложения за осигуряване на безопасност (например системи за безопасност в метростанции).

Плъзгането с повдигане представлява комбинация от две транслационни движения на крилото в една и съща равнина.

При хармониките крилата имат възможност да бъдат компактно прибирани (нагъвани) по време на транслационното движение. За осъществяване на „сгъването“ крилото е разделено на отделни, гъвкаво свързани части, които се завъртат и ориентират успоредно една спрямо друга при плъзгането на крилото.

Под равнинно движение се разбира движение на крилото, което е съставено то няколко прости (ротации и/или транслации) движения в една равнина, като към този вид автоматични врати се числят ролетните [Hörmann, 2020], секционните [Hörmann, 2021a], повдигащите се [Hörmann, 2021b] и паралелно плъзгащи [Volkswagen, 2022] врати.

2.1.3. Материал на крилото.

Автоматичните врати могат да се различават и според материала, от който са изработени крилата. Според този класификационен критерий те биват: дървени [Doorson, 2022], полимерни (PVC) [Kömmerling, 2019], стоманени [Inovastil, 2022], алуминиеви [Dormakaba, 2020], стъклени [Euroglass, 2022] и хибридни (алуминий-дърво) [Artistico Systems, 2022]. Дървените автоматични врати имат добри топлоизолационни и звукоизолационни параметри. Те могат да бъдат реновирани, ако се повредят. Основен техен недостатък е трудната им поддръжка и високата им цена.

2.1.4. Приложение.

Както бе споменато, автоматичните врати намират приложение на много места, които не са единствено ограничени до сгради. Според приложението автоматичните врати се делят на: входни, гаражни, портали за достъп, врати в превозни средства и предпазни. Като входни врати много често се използват плъзгащите и въртящите автоматични врати, а по-рядко автоматичните врати на панти. Активирането на

автоматичните входни врати обикновено е безконтактно – с камера или сензор за присъствие. Най-разпространени са електрозадвижваните автоматични входни врати.

2.1.5. Активиране.

Един от основните фактори за автономност на автоматичните врати е начина, по който се установява момента на отваряне и затваряне от управляващата система. Според начина на активиране, автоматичните врати биват контактно или безконтактно активирани. Активирането от контактен тип може да се осъществява чрез чувствителен на натиск праг [Larco, 2022] и чрез пулт за управление [Hörmann, 2019], [Geze, 2022a]. Безконтактното активиране включва методи като отдалечено активиране [Hörmann, 2019], активиране чрез камера [Dormakaba 2022a], [Optex, 2017] или сензор за присъствие [Dormakaba 2022a].

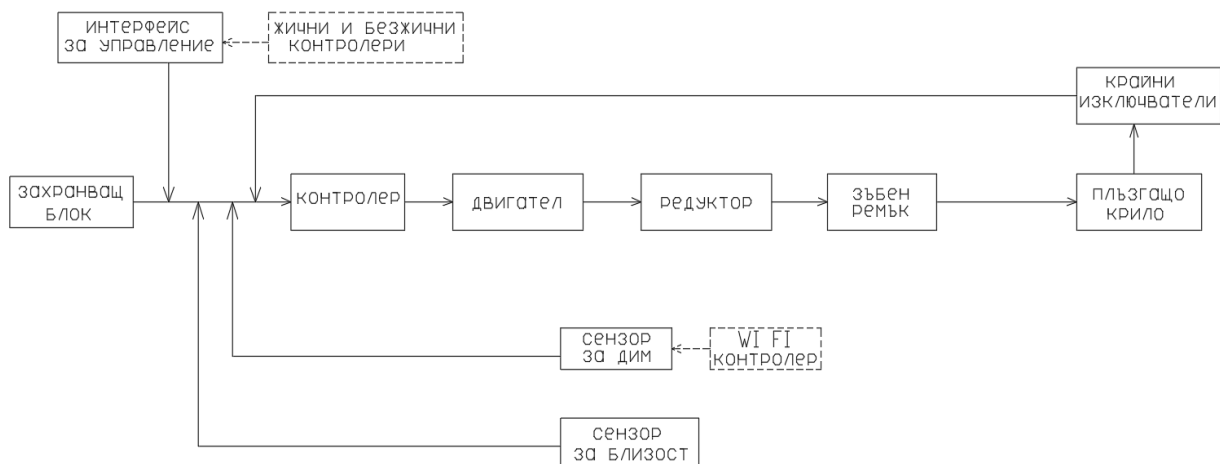
2.1.6. Брой крила.

Голямо разнообразие не само при автоматичните врати, но при вратите изобщо, внася и броят на крилата. При автоматични врати се срещат конструкции с едно [Dormakaba, 2018b], две [Dormakaba, 2018b] и повече от две [Dormakaba, 2018a] крила.

Най-разпространени са изпълненията на автоматични врати с едно или две крила. Автоматичните врати с повече от две крила обикновено се използват при големи светли отвори и за осъществяване на панорамни гледки от вътрешността на сградата (например при тераси и балкони).

2.2. Структура и основни градивни подсистеми, изграждащи системите за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати.

На фиг. 2.11 е показана блокова схема на автоматична плъзгаща врата.



Фиг. 2.11. Блокова схема на автоматична плъзгаща врата

Автоматичните плъзгащи врати се състоят от следните компоненти: интерфейс за управление; WI FI; жични и безжични интерфейси за управление; захранващ блок; контролер; двигател; редуктор; система за задвижване; крайни изключватели; плъзгащо крило; сензор за дим; WI FI контролер за ключове за сензори за дим; сензор за близост.

2.2.1. Интерфейс за управление.

Взаимодействието между човека и автоматичните плъзгачи врати се осъществява по най-различни начини: интерактивни аспекти на компютърните операционни системи; инструменти за ръчно управление; контролни табла за управление на механизацията и др.

2.2.2. Жични и безжични контролери за интерфейси за управление.

Осигуряването на комуникация може да се осъществи с помощта на така наречените смарт системи, които намират широко приложение при умните сгради, къщи, магазини и други. В зависимост от приложението им те се разделят на жични и безжични.

Жичните системи са едни от най-надежните и сигурни начини за изграждане на умен дом. Те са подходящи за всякакъв вид по големина обекти, като се изисква предварително проектиране и окабеляване.

Безжичните системи са идеални за по-малки жилища, магазини, офиси или музеи. Често се използват при завършени и обзаведени жилища и обекти, поради факта, че няма окабеляване и желанието допълнителните ремонтни дейности да бъдат сведени до минимум.

2.2.3. Захранващ блок.

Захранването се осъществява с помощта на захранващи блокове. Това са устройства, които доставят необходимо захранване за работата на вратата. Захранванията са направени да преобразуват високото мрежово напрежение и променливият ток към постоянен ток с ниско напрежение за ползване от електронни елементи, от които е изградена мехатронната система.

2.2.4. Контролер.

Контролерите са устройства, които управляват и регулират определени процеси. Обикновено това са електронни устройства от комуникационната и компютърна техника, в частност микроконтролери. Контролерите се използват в устройства и системи с автоматичен контрол в различни машини и прибори от електронната техника, електротехниката, автомобилната индустрия, медицинската техника, приборостроенето, офис техниката, дистанционни управления, домашни уреди и инструменти и др.

2.2.5. Двигател.

За позициониращи системи, в автоматичните плъзгачи врати, най-широко приложение намират стъпковите двигатели, които спадат към двигателите за постоянен ток. Те се отличават от конвенционалните по това, че оста им може да се позиционира с фиксирани стъпки и да се задържа на съответна позиция. Това се постига със специална конструкция на ротора, където има два назъбени диска от постоянни магнети съответно за N и S полюсите. Диска за N се разминава с този за S, със един зъб.

2.2.6. Редуктор.

Редукторите са съвкупност от зъбни предавки, предназначени да намаляват оборотите на движение на двигателите, повишавайки въртящия момент без значителни загуби на мощност.

Според различните видове предавки на скоростта, редукторите се разделят на едностъпални и многостъпални редуктори.

Според формата на зъбните колела, редукторите се разделят на такива с цилиндрични зъбни колела и редуктори с конусни зъбни колела.

Според типа на задвижването, редукторите биват червячни и планетни.

2.2.7. Система за задвижване.

Предаването на момент от двигателя към изпълнителното звено се извършва чрез предавателен и преобразуващ механизъм. Преобразуването е необходимо, тъй като при автоматичните плъзгащи врати, често се използват ротационни електродвигатели, а движението на врата е линейно. Съществуват различни видове такива механизми като винтогаечна предавка, зъбна рейка и колело и др.

2.2.8. Крайни изключватели.

Основната функция на сензорите е преобразуването на определени физични величини в електрически сигнал. Във връзка с това в литературата се разграничава термина преобразувател от термина сензор въпреки близкото им съдържание.

По дефиниция преобразувател е устройство, което преобразува една форма на енергия в друга. Когато преобразувател преобразува физическа величина в електрически сигнал, той се нарича сензор.

2.2.9. Плъзгащо крило.

Плъзгащото крило се осъществява с помощта на модули с ролки и неръждаеми направляващи. Неръждаемите ролки 1 на фиг. 2.22 се монтират на плъзгащите алуминиеви крила и след това се позиционират върху иноксовите водачи 2, монтирани на долната релса. По този начин се постига долно водене на алуминиевите крила.

2.2.10. Сензор за дим.

Сензорите за дим имат функцията да засичат дим в закрито пространство и могат да работят независимо или чрез безжична алармена, или друга мехатронна система.

2.2.11. WI FI контролер за сензори за дим.

Детекторът за дим и пожар е съществена част от една жилищна или офисна сграда. А WI FI детекторите за дим са една крачка напред, тъй като те могат да изпратят сигнал или „аларма“ на смартфона на собственика на жилището или отговорникът на сградата, ако засекат нещо нередно.

2.2.12. Сензор за близост.

Когато крилата са в режим на затваряне и когато през това време преминава човек през прохода, то тогава сензорът за близост се активира и спира плъзгането на крилата. Сензорите за близост често намират приложение при мехатронните системи за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати. Това се прави с цел да не бъдат затиснати малки деца или хора при затварянето на крилата.

2.3. Съставяне на списък с изисквания. Определяне на спецификации.

Автоматичните плъзгащи врати биват предлагани под формата на различни типологии. Под термина „типология“ се има предвид разположението и начина на

придвижване на крилата. Типология, която е широко разпространена и се използва, както при входни врати, така и при вътрешни е така нар. двукрило плъзгане. Характерно за нея е наличието на две подвижни крила, които се отварят към центъра на светлия отвор. Направляването на крилата е чрез стоманени ролки търкалящи се върху релса в долната част на касата. В горната си част крилото е поддържано от геометрията на касата като функционално тя предпазва крилото от преобръщане и подпомага направляването.

След пазарно проучване е установено, че размерите на крилата при автоматичните плъзгащи врати варират в дължина от 1700 mm до 3000 mm, а във височина от 1800 mm до 2800 mm. Масата на едно крило може да варира в широки граници – от 200 kg до 700 kg [Dormakaba, 2021b], [Alumil, 2017], [GEZE, 2023]. Изискванията към основният типоразмер са показани в Табл. 2.1, а спецификациите – в Табл. 2.2. За изискванията е посочен приоритет за изпълнение като с 10 е обозначен най-висок приоритет (изписване от тип „искане“), а със стойности между 9 и 1 вариации в степента на приоритета за изпълнение (изисквания от тип „желание“).

Табл. 2.1. Изисквания към основния типоразмер

№	Вид	Изискване	Приоритет
2	И	Вграждане в профилите, изграждащи конструкцията на касата	10
3	Ж	Ниска цена	5
4	Ж	Малки разходи за енергия	6
5	Ж	Малко шум	8
6	Ж	Лесен монтаж	7

Табл. 2.2. Спецификации към основния типоразмер

№	Изискване/Метрика	Стойност	Мерна единица
1	Маса на преместваното крило	700	kg
2	Ход	2,9	m
3	Скорост на линейно преместване	0,1	m/s

2.4. Разработване на функционален модел на система за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати.

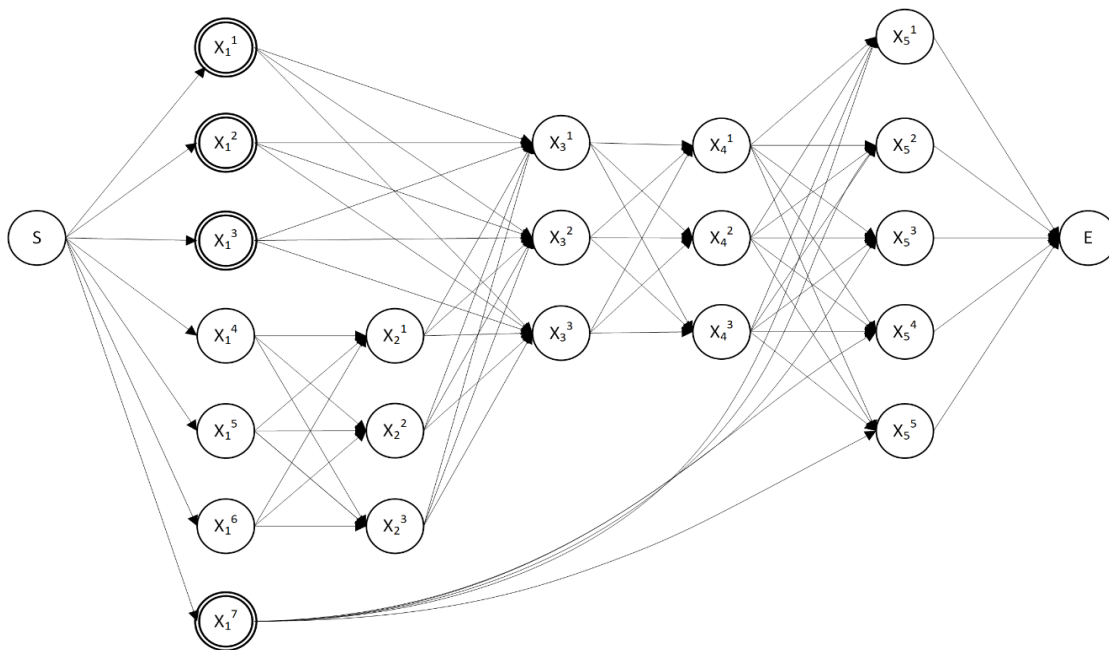
На Фиг. 2.28. е показана общата функция на задвижващия модул. Тя е позициониране крилото на плъзгащата врата при подаване на управляващи сигнали от потребителя. За да е възможно изпълнението на общата функция, задвижващия модул трябва да е снабден с определен набор от входове: крило; носеща конструкция; захранване; сигнали за управление на двигателя; позиционирано; шум и сигнали за изпълнено движение.



Фиг. 2.28. Обща функция на общия типопредставител

2.5. Разработване на множеството на възможните варианти.

Множеството от възможните структурни варианти X , които изпълняват общата функция на машината за прорези, е представено под формата на мрежов модел на Фиг. 2.30. Върховете в модела са подредени в 4 колони в съответствие с функциите на основния типопредставител. Възможностите за комбиниране на елементарните устройства x_n^l в структури x , изпълняващи общата функция на задвижващата система са показани чрез стрелки. Всеки път свързващ началото (S) и края (E) на мрежовия модел представлява възможен структурен вариант.



Фиг. 2.30. Мрежови модел на множеството от възможни структурни варианти

2.6. Избор на критерии за оценка.

Изборът на критерии е съгласно изискванията към основния типопредставител формулирани в Табл. 2.1. Избрани са четири частни критерия за оценка на алтернативните структурни варианти: разходи за производство на разработвания модул в евро, коефициент на полезно действие, заемано пространство в кубични сантиметри и време за обслужване и ремонт. Следователно, разглежданата задача е

многокритериална оптимизационна задача с ограничения в съвместимостта между отделните елементарни устройства. Ограничението в съвместимостта произхожда от наличието на полифункционалните устройства x_1^1, x_1^2, x_1^3 и x_1^7 .

Остойностените критерии (преобразувани в целеви функции), са показани в Табл. 2.6.

Табл. 2.6. Стойности на критериите за вариантите решения на функциите

Разходи за производство, лв.	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6	Вар. 7
F1	320,04	343,20	1154,36	70,44	315,68	703,62	11151,00
F2	684,46	673,72	1697,86				
F3	64,92	225,16	27,36				
F4	1003,53	354,87	1468,11				
F5	12,80	24,19	6,84	14,76	23,00		

Заемано пространство, см ³	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6	Вар. 7
F1	1183	1331	2805	325	323	800	1800
F2	256	94	3927				
F3	76	46	25				
F4	2850	3660	5400				
F5	2	20	2	6	3		

КПД	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6	Вар. 7
F1	-0,431	-0,431	-0,186	-0,431	-0,431	-0,186	-0,163
F2	-0,357	-0,020	-0,041	.			
F3	-0,020	-0,020	-0,010				
F4	-0,051	-0,073	-0,051				
F5	-0,010	-0,010	-0,010	-0,010	-0,010		

Време за обслужване и ремонт	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6	Вар. 7
F1	0,046	0,049	0,054	0,052	0,040	0,044	0,044
F2	0,071	0,075	0,068				
F3	0,045	0,047	0,050				
F4	0,083	0,087	0,079				
F5	0,067	0,054	0,047	0,052	0,049		

2.7. Построяване на математически модел на задачата.

Възлага се решаването на следната задача:

При зададено множество на възможните структурни варианти на основния типопредставител, да се определи оптималния структурен вариант, така че:

$$\min C(x) = \sum_{n=1}^5 C(x_n^l), \min P(x) = \sum_{n=1}^5 P(x_n^l),$$

$$\min V(x) = \sum_{n=1}^5 V(x_n^l), \min T(x) = \sum_{n=1}^5 T(x_n^l) \quad (2.1)$$

където: $x \in X$; $n = 1 \div 5$; $|L_1| = 7$, $|L_2| = 3$, $|L_3| = 3$, $|L_4| = 3$; $|L_5| = 5$; $C(x)$ – разходи за производство, €; $P(x)$ – КПД; $V(x)$ – заемано пространство, см³; $T(x)$ – време за обслужване и ремонт.

2.8. Решаване на задачата.

Поради наличие на полифункционални устройства е необходимо предварително да се извърши декомпозиране на множеството от структурни варианти на основния типопредставител на подмножества, при които отсъстват ограничения върху съвместимостта. За целта се използва програмната среда за оптимизация PolyOptimizer [Malakov & Zaharinov, 2012] - Таблица 2.7.

Табл. 2.7. Елементи на подмножествата структурни варианти

Подмножест во	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Брой вариан ти
1	$x_1^1; x_1^2; x_1^3$		$x_3^1; x_3^2; x_3^3$	$x_4^1; x_4^2; x_4^3$	$x_5^1; x_5^2; x_5^3; x_5^4;$ x_5^5	135
2	$x_1^4; x_1^5; x_1^6$	$x_2^1; x_2^2; x_2^3$	$x_3^1; x_3^2; x_3^3$	$x_4^1; x_4^2; x_4^3$	$x_5^1; x_5^2; x_5^3; x_5^4;$ x_5^5	405
3	x_1^7				$x_5^1; x_5^2; x_5^3; x_5^4;$ x_5^5	5

Разглежданата задача е многокритериална оптимизационна задача с наличие на ограничения в съвместимостта между елементарните устройства. Нейното решаване се извършва посредством диалоговата система PolyOptimizer.

2.9. Решение при еднакъв приоритет на целевите функции.

Компромисното решение на задачата се намира при еднакви по значимост целеви функции. В Таблица 2.8 са показани стойностите на целевите функции за варианта, а така също и елементарните устройства влизащи в структурата на модула.

Таблица 2.8. Структурен вариант при еднакъв приоритет на целевите функции

Структурен вариант x_1^*				
$x_1^* = \{x_1^1; x_3^1; x_4^1; x_5^3\}$				
№	Целева функция	Стойност	Отклонение от оптимума за целевата функция	Граници на изменение
1	$C(x), \text{€}$	1395,76	$w_1 = 0,0656$	$709,11 \leq C(x) \leq 11175,19$
2	$P(x)$	-0,512	$w_2 = 0,4722$	$-0,891 \leq E(x) \leq -0,173$
3	$V(x), \text{cm}^3$	4111	$w_3 = 0,2742$	$1802 \leq V(x) \leq 10\ 223$
4	$T(x)$	0,221	$w_4 = 0,5417$	$0,091 \leq T(x) \leq 0,331$

2.10. Решение при определяне на различен приоритет за критериите.

Ако получените решения не удовлетворяват ЛВР, то може да продължи да търси други решения чрез промяна на приоритета на критериите. Изследването на задачата продължава с въвеждане на различни тегловни коефициенти.

Да се определи тегловен вектор, който задава по-голям приоритет за критерия разходи за производство $C(x)$ на модула. Чрез метода на Саати се задава приоритет на разходите за производство.

При задаване на приоритет чрез метода на Саати се получава решение x_3^* (Таблица 2.9), което съществено се различава спрямо x_1^* . При него е избран линейен електрически двигател. Той е полифункционално устройство и изпълнява всички частични функции на системата без една. Изборът влошава разходите за производство в голям размер – с 93%, но останалите целеви функции постигат оптимумите си.

Таблица 2.9. Структурен вариант при приоритет на КПД

Структурен вариант x_3^*				
$x_3^* = \{x_1^7; x_5^3\}$				
№	Целева функция	Стойност	Отклонение от оптимума за целевата функция	Граници на изменение
1	$C(x)$, €	11157,84	$w_1 = 0,9983$	$709,11 \leq C(x) \leq 11175,19$
2	$P(x)$	-0,173	$w_2 = 0,0000$	$-0,891 \leq E(x) \leq -0,173$
3	$V(x)$, cm ³	1802	$w_3 = 0,0000$	$1802 \leq V(x) \leq 10\ 223$
4	$T(x)$	0,091	$w_4 = 0,0000$	$0,091 \leq T(x) \leq 0,331$

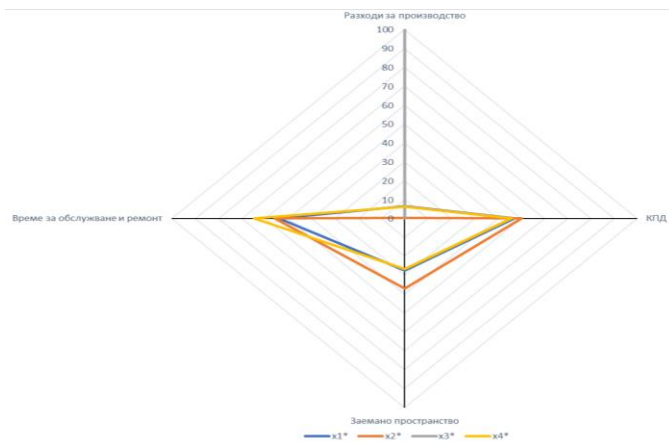
Установено е, че при задаване приоритет на останалите целеви функции, чрез метода на Саати, решенията съвпадат с решение x_3^* . Това е така, тъй като при зададен приоритет на една целева функция и равностойни останали, методът на Саати назначава голям коефициент на тежест на приоритетната целева функция. Поради това, за определяне приоритет на заеманото пространство е използван метода на Войчинский и Янсон. Намереното решение е показано в Табл. 2.10.

Таблица 2.10. Структурен вариант при приоритет на заеманото пространство

Структурен вариант x_4^*				
$x_4^* = \{x_1^1; x_3^3; x_4^1; x_5^1\}$				
№	Целева функция	Стойност	Отклонение от оптимума за целевата функция	Граници на изменение
1	$C(x)$, €	1363,73	$w_1 = 0,0626$	$709,11 \leq C(x) \leq 11175,19$
2	$P(x)$	-0,502	$w_2 = 0,4582$	$-0,891 \leq E(x) \leq -0,173$
3	$V(x)$, cm ³	4060	$w_3 = 0,2681$	$1802 \leq V(x) \leq 10\ 223$
4	$T(x)$	0,246	$w_4 = 0,6458$	$0,091 \leq T(x) \leq 0,331$

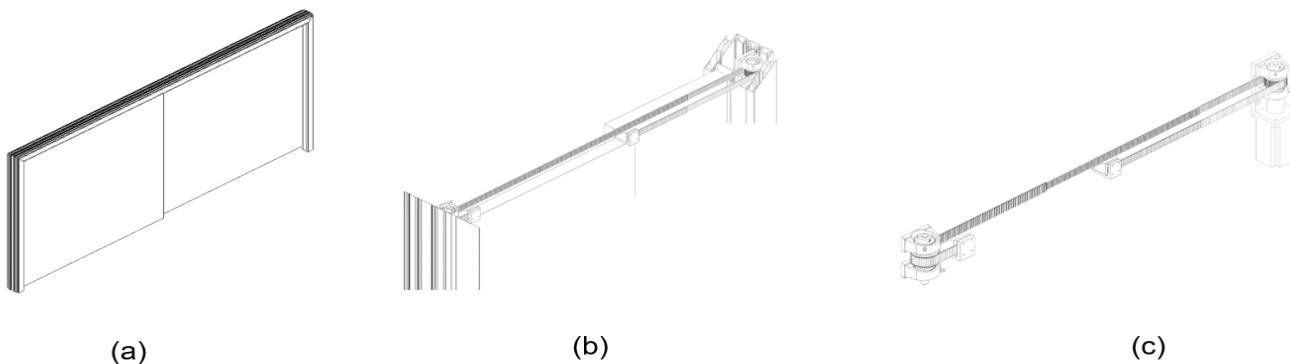
При това решение заеманото пространство се подобрява с 1%, разходите за производство и КПД също се подобряват съответно с 0,3% и 1%. Времето за обслужване и ремонт се влошава с 10%.

На Фиг. 2.36, обобщено са показани четирите намерени решения. Графичното представяне е направено чрез мрежова диаграма, на която всяка ос представлява критерий за оценка. Четириъгълниците с различни цветове, нанесени върху диаграмата, са петте решения. Стойностите по осите са процентните отклонения на намерените решения спрямо всеки критерий. Идеалното решение, което едновременно постига оптимум по всички критерии е точката на пресичане на осите в центъра на диаграмата. Графиката може да се оприличи на мишена – колкото по-концентриран е четириъгълникът на варианта около нулевата точка, толкова по-близо е той до идеалното решение. От графиката се вижда, че компромисното решение x_1^* е най-концентрирано, като решения x_2^* и x_4^* също са близо до него. Решение x_3^* е изключително насочено към оптимума на разходите за производство и затова се вижда на графиката като вертикална линия, сочеща към целевата функция.



Фиг. 2.36. Графична интерпретация на намерените решения

На основата на намерените решения и графичния им анализ, е взето решение от ЛВР, основният типопредставител да бъде основан на вариант x_1^* (Фиг. 2.37).



Фиг. 2.37. Вариант x_1^* . (а) Схематичен изглед на типологията на автоматичната плъзгаща врата; (б) Модула интегриран в страничните колони на вратата и премахнатата горна хоризонтална каса; (в) Показани са само елементите на задвижването

2.11. Изводи.

Постигнати са следните резултати:

1. Разработена е класификация на автоматични врати, включително и плъзгащи;
2. Формулирани са изисквания и е разработена спецификация на системи за автоматично задвижване на плъзгащи врати;
3. Систематизирани са градивните компоненти на система за автоматизирано задвижване на плъзгащи врати;
4. Избрана е типология на плъзгаща врата, за която да се разработи размерен ред от задвижващи модули;
5. След проучване на пазара са формулирани изискванията и спецификациите към разработвания основен типопразмер на реда;
6. Построена е функционалната структура на основния типопразмер, при което е формулирана общата му функция с входове и изходи и дървото на функциите;
7. За всяка функция от функционалната структура са разработени варианти за решение;
8. Определено е множеството от възможни варианти чрез насочен граф и дефиниране на полифункционални устройства и съвместимост;
9. Извършена е постановка и анализ на задачата за избор на оптимален структурен вариант;
10. Избрани са критерии за оценка на разработените варианти;
11. Събрана е значителна по обем информация и критериите за оценка са остойностени – преобразувани в целеви функции;
12. Построен е математически модел на задачата;
13. Цялата информация за моделиране на задачата е въведена в диалогова система за многокритериална оптимизация, чрез чиято помощ да се улесни анализа и намирането на решения;
14. Поставената задача за избор на оптимален структурен вариант на общ типоразмер на размерен ред е решена при различни условия за вземане на решение и намерените решения са анализирани;
15. Избран е вариант, който да бъде основа за структурата на размерите в размерен ред от модули за автоматично задвижване на плъзгащи врати.

ГЛАВА 3. ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН РАЗМЕРЕН РЕД НА МОДУЛИ ЗА ЗАДВИЖВАНЕ НА АВТОМАТИЧНИ ПЛЪЗГАЩИ ВРАТИ.

Като базов вариант при построяване на оптималния размерен ред се използва разработения в Глава 2 типопредставител на модул за задвижване на автоматични плъзгащи врати със следната типология: две крила, плъзгащи се в противоположна посока. Модулите от размерния ред ще бъдат прилагани за задвижване на плъзгащите крила на врати с дължина на хода между 1800 mm и 3000 mm. Всяко крило на автоматичната врата се задвижва независимо. Закрепването се осъществява в двата края на крилото.

Изборът на оптимален размерен ред на изделието „Модул за задвижване на автоматични плъзгащи врати“ се извършва посредством комплексен подход, включващ девет основни етапи [Малаков, 2020].

3.1. Избор на основни параметри – Етап 1

След пазарно проучване на три водещи производителя на автоматични плъзгащи врати за търсенето през предходната година (2023 г.), са определени границите на изменение на основния параметър:

$$x_l \in [223,15; 629,99] \text{ kg} \quad (3.1)$$

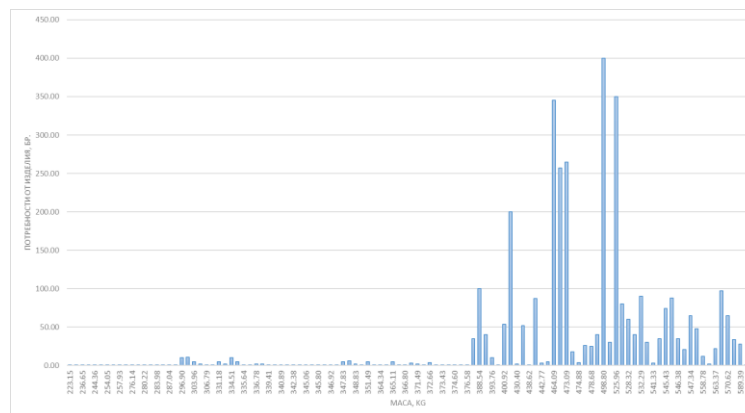
където x_l , $l = 1 \div \bar{L}$, е товароносимостта i - я типоразмер, kg.

От извършеното проучване е установено, че в разглеждания диапазон съществува необходимост от $\bar{L} = 110$ типоразмера модули, които изграждат изходния размерния ред $\bar{Z} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_l, \dots, \bar{x}_{\bar{L}}\}$, $l = 1 \div \bar{L}$.

3.2. Определяне на търсенето – Етап 2

Търсенето за всеки елемент x_l , $l = 1 \div \bar{L}$, в началния размерен ред \bar{Z} е определено след проучване на пазара (Табл. 3.1), т.е. определени са елементите на множеството $\bar{N} = \{\bar{N}^1, \bar{N}^2, \dots, \bar{N}^l, \dots, \bar{N}^{\bar{L}}\}$, $l = 1 \div \bar{L}$, където \bar{N}^l е количеството от изделия със стойност на основния параметър \bar{x}_l .

Получените резултати за потребностите са показани на Фиг. 3.1. Стойностите на основния параметър са нанесени по абсцисата – масата на крилото, а по ординатата – съответното количество.



Фиг. 3.1. Потребности от изделия получени чрез проучване на пазара

3.3. Избор на критерий за оптималност – Етап 3

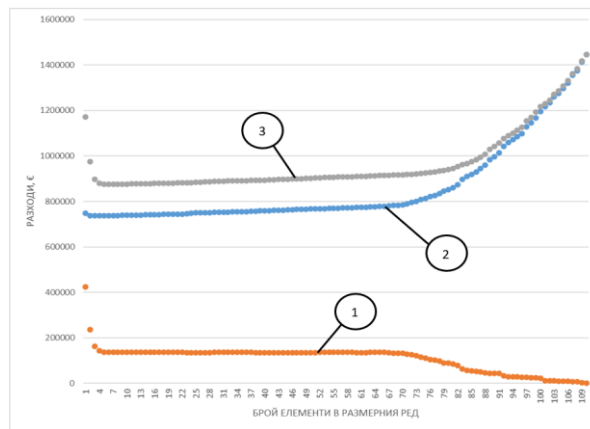
За решаване на задачата, като критерий за оптималност се предлага да се използват общите разходи за реда, които трябва да се минимизират. Те включват разходите за производство (технологичната себестойност) и допълнителните разходи в сферата на експлоатация, отчитащи несъответствието между необходимите за потребителите и предлаганите от производителите типоразмери.

$$R = \sum_{j=1}^L TS(x_{lj}) \cdot N^{lj} \cdot \left(\frac{N_{TS}}{N^{lj}}\right)^{v_1} + \sum_{j=1}^L \sum_{u \in U^{lj}} DR(x_{lj}, \bar{x}_w, \bar{N}^u) \quad (3.2)$$

3.4. Определяне на функционалната зависимост между критерия за оптималност и влияещите фактори – *Етап 4*.

Разходите за производство $TS(x_{l_j})$ са моделирани на основата на избраните компоненти, съставляващи структурата на модулите за задвижване. Като най-значим дял, определящ разходите за производство, са определени следните три компонента: двигател, ремък и ремъчни шайби. Извършени са инженерни изчисления за избор на тези компоненти за конкретни стойности на основния параметър – товароносимост.

На Фиг. 3.6 е показано изменението на общите (сумарните) разходи (множество от точки 3) и на двете компоненти включени в тях. Както се вижда от фигурата, целевата функция (множество от точки 3) е дискретна изпъкнала функция и има един глобален минимум. Това свойство ще се използва при определяне на условието за спиране на изчисленията съгласно избран метод за оптимизация.



Фиг. 3.6. Изменение на разходите, където: 1 – допълнителни разходи; 2 – разходи за производство; 3 – сумарни разходи.

3.5. Построяване на математически модел – *Етап 5*.

Задачата за избор на оптимален размерен ред на модули за задвижване на плъзгащи врати е **еднопараметрична** оптимизационна задача, в която **отсъстват ограничения върху приложимостта** на елементите, изграждащи размерните редове. Съгласно [Малаков, 2020] разглежданата задача е от първо йерархични ниво и математическият и модел има вида:

$$\min R(L, \bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n, \dots, \bar{x}_L, \bar{N}^1, \dots, \bar{N}^n, \dots, \bar{N}^L) = \sum_{j=1}^L G(x_{l_j}, N^j), L = 1 \div \bar{L} \quad (3.5)$$

$$\sum_{j=1}^L N^j = \sum_{k=1}^{L^*} N^{*k} = \sum_{n=1}^{\bar{L}} \bar{N}^n = N_0 \quad (3.6)$$

$$x_{l_L} = x_{l_L^*} = \bar{x}_L \quad (3.7)$$

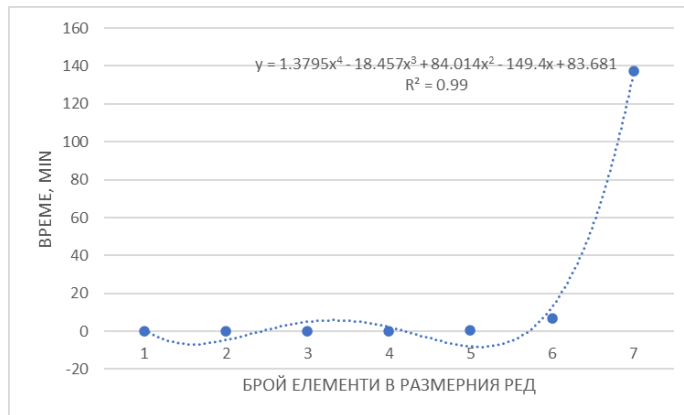
$$x_{l_j} \in \bar{Z} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_l, \dots, \bar{x}_m, \dots, \bar{x}_L\}, \forall j = 1 \div \bar{L} \quad (3.8)$$

$$x_{l_{j-1}} < x_{l_j}, \forall j = 1 \div L \quad (3.9)$$

3.6. Избор на математически метод – *Етап 6*

Формулираната задача се характеризира с голям брой на възможните размерни редове, които трябва да се анализират.

За разглежданата задача $\bar{L} = 110$. Следователно броят на алтернативните редове е $2^{109} - 1 = 6,4903711.10^{32} - 1$. Полагайки в регресионния модел $x = 110$ се получава времето необходимо за решаването на задачата при $\bar{L} = 110$, то е равно на 178 406 547 min, а в години това са 339 години. На Фиг. 3.7 данните са представени графично. Намерен е регресионен модел, показан на фигурата, с корелационен коефициент $R^2 = 0,99$. Полагайки в регресионния модел $x = 110$ се получава времето необходимо за решаването на задачата при $\bar{L} = 110$, то е равно на 178 406 547 min, а в години това са 339 години. Както се вижда, необходимото време за решаване е изключително голямо, което прави невъзможно решаване на задачата чрез пълно комбиниране. Това налага използването на метод за насочено търсене на оптималното решение.



Фиг. 3.7. Регресионен модел (пунктирната линия) получен от наличните данни за времето за намиране на оптимум при нарастващ брой типоразмери в размерните редове

3.7. Алгоритмично и програмно осигуряване – Етап 7

За решаването на задачата са разработени два алгоритъма – първият реализиращ метод на пълно комбиниране, а вторият, реализиращ предложените рекурентни зависимости (3.8), (3.9) и условие (3.10).

$$R_m^1 = G\left(\bar{x}_m, \sum_{p=1}^m \bar{N}^p\right) = TS(\bar{x}_m) \cdot \sum_{p=1}^m \bar{N}^p \cdot \left(\frac{N_{TS}}{\sum_{p=1}^m \bar{N}^p}\right)^{v_1} + \sum_{p=1}^m DR\left(\bar{x}_m, \bar{x}_p, \sum_{p=1}^m \bar{N}^p\right) \quad (3.10)$$

при $l = 2 \div \bar{L}$, $m = l \div \bar{L}$, $\bar{m} = (l - 1) \div (m - 1)$,

$$R_m^l = \min\left\{R_{\bar{m}}^{l-1} + G\left(\bar{x}_m, \sum_{p=\bar{m}+1}^m \bar{N}^p\right)\right\} = R_{\bar{m}}^{l-1} + TS(\bar{x}_m) \cdot \sum_{p=\bar{m}+1}^m \bar{N}^p \cdot \left(\frac{N_{TS}}{\sum_{p=\bar{m}+1}^m \bar{N}^p}\right)^{v_1} + \sum_{p=\bar{m}+1}^m DR\left(\bar{x}_m, \bar{x}_p, \sum_{p=\bar{m}+1}^m \bar{N}^p\right) \quad (3.11)$$

3.8. Решаване на задачата – избор на оптимален размерен ред – Етап 8

Полученото решение е показано в Табл. 3.3, където R^* са минималните (оптималните) общи разходи, €; L^* - броят на елементите в оптималния размерен ред; $R_{\bar{L}}^{\bar{L}}$ – общите разходи за размерния ред включващ всички размери, т.е. изходния размерен ред, €.

Данните за избрания оптимален ред са дадени в Табл. 3.4. Той включва $L^* = 5$ размера.

Таблица 3.3. Получено решение

Показател	Оптимален размерен ред
R^* , €	875 069,19
L^*	5
R_L^L , €	1 446 386,75
$\frac{100(R_L^L - R^*)}{R_L^L}$, %	39,5%

Таблица 3.4. Оптимален размерен ред

№	Размер $x_{ik}^* \in X^*, k = 1 \div 5$	Размер $\bar{x}_m \in \bar{X}, l \in \{1, \dots, L\}$
1	x_{11}^*	$\bar{x}_{68} = 390,40$
2	x_{12}^*	$\bar{x}_{72} = 415,42$
3	x_{13}^*	$\bar{x}_{101} = 547,34$
4	x_{14}^*	$\bar{x}_{109} = 589,39$
5	x_{15}^*	$\bar{x}_{110} = 629,99$

3.9. Изследване на чувствителност на намереното оптимално решение спрямо параметрите на задачата – Етап 9

Една от основните трудности при решаването на задачата за избор на оптимален размерен ред произтича от необходимостта за прогнозиране на потребностите от изделия с различни стойности на техните параметри и построяването на функционална зависимост между избран критерий за оптималност и влияещите фактори.

Анализът на чувствителността включва следните експерименти: Промяна на множеството от потребности $\bar{N} = \{\bar{N}^1, \bar{N}^2, \dots, \bar{N}^n, \dots, \bar{N}^L\}$ при запазване на общото произвеждано количество N_0 ; промяна на произвежданото количество N_0 ; промяна на коефициента, отчитащ мащабът на производство N_{TS} ; промяна на коефициента, отчитащ скоростта на обучение v_1 .

3.10. Изводи

От изложеното в Глава 3 могат да се формулират следните изводи:

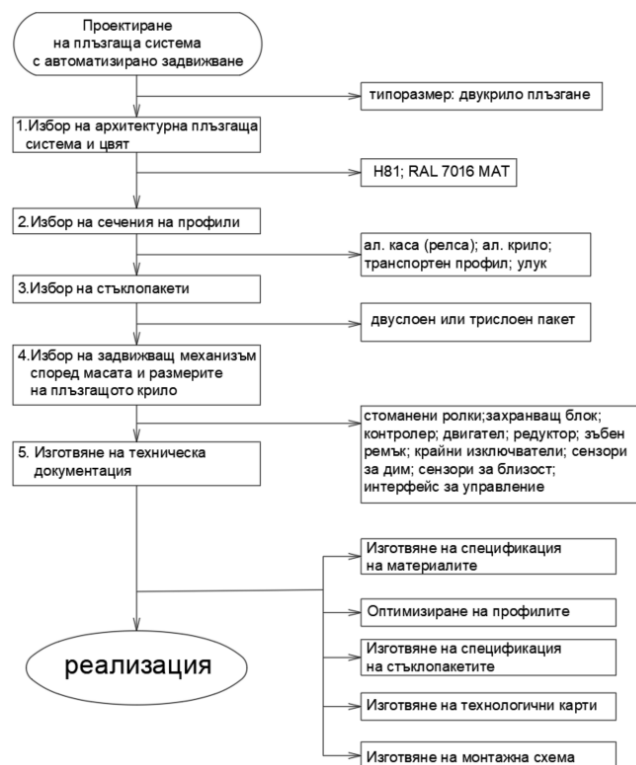
1. Изборът на оптимален размерен ред на техническо изделие изисква преминаването през редица етапи събирането и анализа на голямо количество данни;
2. Изборът на основни параметри за оптимизационната задача преминава през анализ на съвкупността от основни параметри на изделието. След определяне на параметрите, които ще участват при оптимизацията, трябва да бъдат определени техните конкретни стойности. Това е свързано с провеждане на пазарно проучване;
3. Пазарно проучване е необходимо и за определяне на търсените количества от изделия в зависимост от стойностите на основните им параметри избрани да участват в оптимизационната задача;
4. Избраният критерий за оптималност – общи разходи, изисква определяне на две компоненти – разходите за производство и допълнителните разходи. За определяне на тези компоненти е необходимо събиране и обработка на значително количество информация свързано с избор на компоненти чрез изчисляване на кинематични, динамични и якостни характеристики, определяне на цени и ценообразуване и др.;
5. Определянето на функционалната зависимост между критерия за оптималност и влияещите фактори е свързано с обработка на информацията за цени и потребности и формулиране на математически зависимости, които описват точно и логично наличната информация. В допълнение, често се налага и приложението на математически методи за интерполиране и екстраполиране на липсващи данни;

6. Построяването на математически модел на задачата изказва в кратък и ясен вид целта (целевата функция) и ограничителните условия на проблема. Той е основа за избор на методи за решаване;
7. Изборът на математически метод за решаване на задачата се обуславя от нейният вид, характерни особености, математически модел и функционални зависимости използвани за описване на връзките между параметри и целева функция;
8. Алгоритмичното и програмно осигуряване за решаване на задачата изисква разработването на поне два подхода за решаване – първият използван основно за проверка на получаваните резултати при малки размерности (пълно комбиниране, т.нар. „груба сила“), а вторият позволяващ решаването на задачи с големи размерности (динамично програмиране);
9. Използването на разработения инструментариум позволява ефективното решаване на поставената задача. Намереното решение има следните характеристики:
 - намалява броят размери от 110 на 5, т.е. с приблизително 96%;
 - намалява общите разходи в сравнение с размерния ред, включващ всички възможни размери с 571 317,56 €, или с 39,5%;
 - намалява общите разходи в сравнение с ред, включващ само един (най-големия) типоразмер с 34%, което е най-често срещания случай в практиката.
10. Изследването на чувствителност на полученото оптимално решение позволява задълбочения анализ на задачата и откриването на важни зависимости свързани с качествените и количествените показатели на събраните данни и полученото решение.

ГЛАВА 4. СЪЗДАВАНЕ НА БАЗА ДАННИ ЗА АВТОМАТИЗИРАНО ДОКУМЕНТИРАНЕ НА АВТОМАТИЧНИ ПЛЪЗГАЩИ ВРАТИ.

4.1. Основни стъпки при проектиране на автоматични плъзгащи врати.

След като се подаде типоразмера на плъзгащата врата от архитекта, необходимо е проекта да премине през няколко етапа: избор на архитектурна плъзгаща система; избор на сечение на профили; избор на стъклопакети; избор на задвижващ механизъм според масата и размерите на плъзгащото крило и изготвяне на техническа документация – фиг. 4.1.



Фиг. 4.1. Етапи на проектиране на автоматични плъзгащи врати

4.2. Избор на софтуерна програма.

За да се направи избор на подходяща софтуерна програма е необходимо да се осъществи анализ по избрани критерии - изчисляване на количествено - стойностна сметка на материалите; остойностяване и оразмеряване стъклопакети; създаване на технологични карти; достъпност и цена на програмата и др.

Предвид изброените критерии се избира софтуерът „Логикал“ за създаване на техническа документация на автоматични плъзгащи врати.

4.3. Създаване и въвеждане на база от данни в „Логикал“.

Възлага се проектиране и създаване на техническа документация на автоматична плъзгаща врата от фирма „Вайс профил“ в програмата „Логикал“. За целта е необходимо да се преминат през няколко стъпки: избор на типология на отваряне и цвят на профилите; избор на геометрия на профилите и профили за отводняване; избор на стъклопакети; избор на обков и механизъм за автоматизирано задвижване; финализиране на конструкцията.

При внедряването на архитектурната система в софтуера „Logikal“ е необходимо да се въведат база данни. Последователността на етапите на въвеждане е следната: създаване на група доставчици – Supplier; въвеждане на материали, от които се състои архитектурната система – Article data; създаване на архитектурна система – System data; създаване на стандарти на стъклопакети – Glazing list; създаване на обков – Window hardware и настройване на въведената архитектурна система.

4.4. Апробиране на разработения инструментариум.

След въвеждане на проектирания размерен ред в „Logikal“ чрез последователността на работа посочена в т. 4.3, за апробиране на базата данни и размерния ред е решена задача за проектиране на автоматична плъзгаща врата, за нуждите на фирма WeissProfil. Параметрите на заданието за проектиране са посочени в Табл. 4.2.

Таблица 4.2. Параметри на заданието за проектиране

Метрика	описание	Мерна единица
Архитектурна система	H81	H81
Цвят на профилите	RAL 7016 Mat	RAL
Маса на крилото	570	kg
Дължина на конструкцията	6391	mm
Височина на конструкцията	3005	mm
Обща дебелина на стъклопакет	58	mm

Етапите за конструирането на автоматичната плъзгаща врата в „Logikal“ са следните: въвеждане на данните на проекта; избор на цвят на профилите; въвеждане на размерите на автоматичната врата; избор на типология на отваряне; избор на стъклопакети; избор на обков и финализиране на конструкцията.

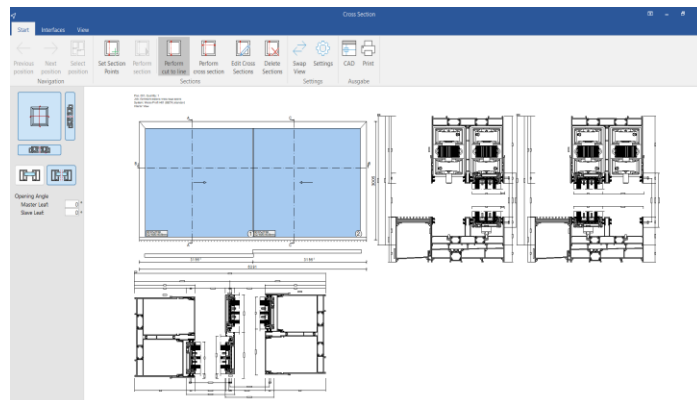
Софтуерът Logikal има много функции, като едни от най - основните са: генерира хоризонтални и верикални разрези; създава количествено - стойностна сметка на материалите; оразмерява стъклопакети; оразмерява профилите на ветрово натоварване, разкроява профилите; генерира стокова листа; създава технологични карти, калкулира коефициенти на топлопреминаване, генерира машинни файлове за машини с цифрово – програмно управление (CNC), създава работен план за машинни обработки и др.

- Генериране на хоризонтални и вертикални разрези.

При вече въведена автоматичната врата, проектанта може да си генерира хоризонтални и вертикални разрези и да се прехвърлят в “ Auto Cad” – фиг. 4.41.

- Създаване на количесвено - стойностна сметка на материалите.

Количествено – стойностната сметка е важна част при оферирането и поръчването на материали за даден проект. Примерна такава може да се види на фиг. 4.42.



фиг. 4.41. Горизонтален и вертикален разрез на автоматична плъзгаща врата



Material Analysis
Job: Автоматизирана плъзгаща врата

Hardware	Quantity	Unit	Colour	Number	Description	Total Price
12 Pieces				81265	Inox roller	582.00 BGN
2 Pieces				8186140	Electric driver	600.00 BGN
2 Pieces				8186342	Passive driver	724.00 BGN
						Amount: 1 906.00 BGN

Accessories	Quantity	Unit	Colour	Number	Description	Total Price
4 Pieces				811100	Drainage pipe adaptor	18.00 BGN
10 Metre				81325	Chain belt	33.00 BGN
4 Pieces				AC 21	WP alignment corner	6.40 BGN
135 Metre			Black	BR 88	WP Brush 8mm, gray	31.85 BGN
24 Metre				BS 81-81	Glazing gasket 4.3 mm Black	6.96 BGN
49 Metre				BS 81-82	Glazing gasket 3.3 mm Black	292.90 BGN
6 Pieces				CC 15-40	WP Crimp corner cleat TGP	11.40 BGN
1 Pcs (1 PU @ 1)				SC 81.11	CONNECTOR FOR S650	70.33 BGN
					WATER DRAINAGE S31639	
7 Metre				USL 81-83	Gasket for subal	46.80 BGN
140 Pieces				WI 81-82	Flang clip for decorative profile	81.00 BGN
100 Pieces				WI 81-83	Flang clip for 81.43 decorative profile	61.00 BGN
100 Pieces				WI 81-84	Setting Block	239.00 BGN
						Amount: 901.52 BGN

Profiles

Quantity	Number	Description	Colour	Inside/Outside	Weight [kg]	Total Price
1x7m	81.01	Double track frame	GR A - 7018M at		11.90	113.05 BGN
1x7m	81.02	Double upper frame track	GR A - 7018M at		32.73	310.94 BGN
1x7m	81.03	Double bottom frame	GR A - 7018M at		32.73	310.94 BGN
Track Frame track						
1x7m	81.10	Water collector subal and	GR D - Anod		32.73	484.40 BGN
1x7m	81.11	Water collector - anod	GR D - Anod		14.12	208.95 BGN
3x6.5m	81.20	Sliding sash	GR A - 7018M at		25.06	238.09 BGN
1x6.5m	81.21	Sash with integrated adjoining profile	GR A - 7018M at		7.08	67.28 BGN
4x6.5m	81.40	SETTING BLOCK FOR 50mm GLAZING	GR A - 7018M at		3.30	31.46 BGN
1x7m	81.41	Additional profile for double upper frame track	GR A - 7018M at		12.95	122.85 BGN
1x7m	81.42	Cover cap	GR A - 7018M at		2.38	22.61 BGN
2x6.5m	81.43	Precautionary cover for electronic circuit	GR A - 7018M at		8.18	77.74 BGN
1x6.5m	BS 81-83	Steel grating for WP 81.11, Inox L=2m				543.05 BGN
2x6.5m	NX125	WP Inox guide	Without			59.28 BGN
2x3m	WI 81-81	PVC profile for thermal break interlocking profile	Without			134.62 BGN
						Amount: 2726.26 BGN
						Sum total: 5333.78 BGN

Фиг. 4.42. Количествено-стойностна сметка на автоматична плъзгаща врата - Оразмеряване на стъклопакети.

„Логикал“ може да генерира размерите на стъклопакетите, които могат да послужат за производство. Също така могат да бъдат остойностени и да послужат за оферирание на даден проект – фиг. 4.43.

Glass/Panel Estimation Date: 20.11.2023 / 20:27
Project: Автоматизирана плъзгаща врата
Person in Charge: Administrator

Position / Number	Quantity	Width [mm]	Height [mm]	Perimeter [m/Pcs.]	Price [BGN]	Total [BGN]
001 / 1	2	3 037	2 788	11.65	1 237.92	2 475.84
Sum:	2			23.30		2 475.84

** Actual Glass Thickness incl. Lamination

Sum Quantity:	2 Pcs.	Grand Total Net:	2 475.85 BGN
Sum Area:	17.07 m²	Total Price	2 475.85 BGN
Sum Perimeter:	23.30 m	Value Added Tax:	495.17 BGN
		Grand Total:	2 971.02 BGN

Фиг. 4.43. Размери и цени на стъклопакети

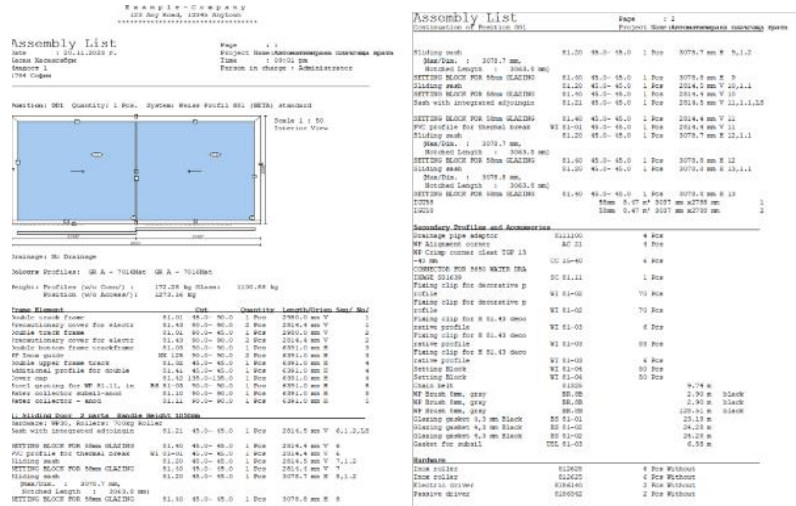
Разкрояване на профилите - оптимизирането на профилите са важна част от производствения процес при произвеждане на автоматична плъзгаща врата. Чрез софтуерната програма проектантът спестява много време и по този начин производственият процес се рационализира – фиг. 4.44.

Cut Optimisation	Date: 20.11.2023 / 20:49	Project: Автоматизирана плъзгаща врата	Person in Charge: Administrator								
<p>Wass Profil 81.01 Double track frame Colour: GR A - 7018M at Width: 20.0 mm / Height: 12.0 Wastage: 1.92 mm ± 0.3 % (incl. Residual Length)</p> <p>1 Pcs. @ 7.000 mm Underside Residual length: 1.000 mm See Cut Optimisation: 20:28 End Destination: Task: 81.01</p>	<p>Wass Profil 81.02 Double upper frame track Colour: GR A - 7018M at Width: 20.0 mm / Height: 12.0 Wastage: 1.92 mm ± 0.3 % (incl. Residual Length)</p> <p>1 Pcs. @ 7.000 mm Underside Residual length: 1.000 mm See Cut Optimisation: 20:28 End Destination: Task: 81.02</p>	<p>Wass Profil 81.03 Double bottom frame track frame track Colour: GR A - 7018M at Width: 20.0 mm / Height: 12.0 Wastage: 1.92 mm ± 0.3 % (incl. Residual Length)</p> <p>1 Pcs. @ 7.000 mm Underside Residual length: 1.000 mm See Cut Optimisation: 20:28 End Destination: Task: 81.03</p>	<p>Wass Profil 81.10 Water collector subal and Colour: GR D - Anod Width: 10.0 mm / Height: 6.0 Wastage: 0.88 mm ± 2.1 % (incl. Residual Length)</p> <p>1 Pcs. @ 7.000 mm Underside Residual length: 1.000 mm See Cut Optimisation: 20:28 End Destination: Task: 81.10</p>	<p>Wass Profil 81.11 Water collector - anod Colour: GR D - Anod Width: 10.0 mm / Height: 11.8 Wastage: 0.93 mm ± 2.1 % (incl. Residual Length)</p> <p>1 Pcs. @ 7.000 mm Underside Residual length: 1.000 mm See Cut Optimisation: 20:28 End Destination: Task: 81.11</p>	<p>Wass Profil 81.20 Sliding sash Colour: GR A - 7018M at Width: 20.0 mm / Height: 12.0 Wastage: 1.92 mm ± 0.3 % (incl. Residual Length)</p> <p>1 Pcs. @ 6.500 mm Underside Residual length: 1.000 mm See Cut Optimisation: 20:28 End Destination: Task: 81.20</p>	<p>Wass Profil 81.21 Sash with integrated adjoining profile Colour: GR A - 7018M at Width: 10.0 mm / Height: 11.7 Wastage: 2.42 mm ± 8.3 % (incl. Residual Length)</p> <p>1 Pcs. @ 6.500 mm Underside Residual length: 1.000 mm See Cut Optimisation: 20:28 End Destination: Task: 81.21</p>	<p>Wass Profil 81.40 SETTING BLOCK FOR 50mm GLAZING Colour: GR A - 7018M at Width: 10.0 mm / Height: 11.7 Wastage: 2.42 mm ± 8.3 % (incl. Residual Length)</p> <p>1 Pcs. @ 6.500 mm Underside Residual length: 1.000 mm See Cut Optimisation: 20:28 End Destination: Task: 81.40</p>	<p>Wass Profil 81.41 Additional profile for double upper frame track Colour: GR A - 7018M at Width: 10.0 mm / Height: 14.3 Wastage: 0.98 mm ± 2.7 % (incl. Residual Length)</p> <p>1 Pcs. @ 7.000 mm Underside Residual length: 1.000 mm See Cut Optimisation: 20:28 End Destination: Task: 81.41</p>	<p>Wass Profil 81.42 Cover cap Colour: GR A - 7018M at Width: 10.0 mm / Height: 24.9 Wastage: 0.99 mm ± 2.7 % (incl. Residual Length)</p> <p>1 Pcs. @ 7.000 mm Underside Residual length: 1.000 mm See Cut Optimisation: 20:28 End Destination: Task: 81.42</p>	<p>Wass Profil 81.43 Precautionary cover for electronic circuit Colour: GR A - 7018M at Width: 10.0 mm / Height: 12.9 Wastage: 1.92 mm ± 0.3 % (incl. Residual Length)</p> <p>2 Pcs. @ 6.500 mm Underside Residual length: 1.000 mm See Cut Optimisation: 20:28 End Destination: Task: 81.43</p>	<p>Wass Profil WS 81.03 Steel grating for WP 81.11, Inox L=2m Colour: GR A - 7018M at Width: 62.0 mm / Height: 14.0 Wastage: 1.00 mm ± 1.7 % (incl. Residual Length)</p> <p>1 Pcs. @ 6.500 mm Underside Residual length: 1.000 mm See Cut Optimisation: 20:28 End Destination: Task: 81.03</p>

фиг. 4.44. Оптимизация на алуминиеви профили

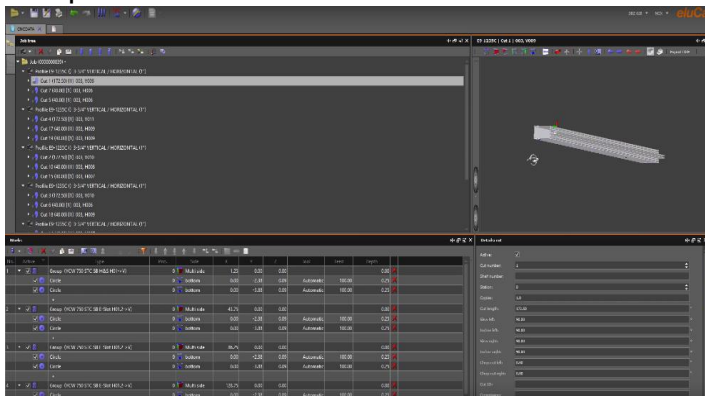
- Генериране на стокова листа;

- Създаване на технологични карти- при технологичните карти, работниците в цеха лесно могат да се ориентират какви компоненти съдържат в една автоматична врата – фиг. 4.46.



фиг. 4.6. Технологични карти на плъзгаща система

- Генериране на машинните обработките на профилите както в Auto Cad, така и в машинни файлове – фиг. 4.48.



фиг. 4.48. Машинен файл, който е управляван от софтуер Eli Cad

- Генериране на баркодове за всеки един профил. По този начин работникът по – лесно се ориентира при голям проект, който трябва да се разкрие – фиг. 4.49.



фиг. 4.49. Работен план машинни обработки на алуминиево профили

4.5. Изводи.

От изложеното в Глава 4 могат да се направят следните изводи:

1. Формулирани са етапите за проектиране на автоматични плъзгащи врати
2. Систематизирана е информацията необходима за автоматизираното създаване на техническа документация на автоматична плъзгаща врата
3. Избрана е програмна среда за автоматизирано техническо документиране по определени критерии.
4. Определени са входните данни, необходими за въвеждането на разработения размерен ред в програмната среда „Логикал“ и същият е въведен
5. Решена е реална задача за проектиране на автоматична плъзгаща врата:
 - Проектирания размерен ред е използван за проектиране задвижването на плъзгащата врата;
 - Избрана е необходимата периферия и носеща конструкция;
 - Чрез програмата „Логикал“ и въведената база данни за размерния ред, автоматизирано е генерирана техническа документация за проекта.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно-приложни:

- Предложена е класификация на методи за многокритериална оптимизация и е допълнена известна класификация на методи за определяне приоритета на критериите.
- Разработен е алгоритъм на основата на метаевристичен метод за многокритериална оптимизация на структурата на ТСАДП.
- Разработени са алгоритми на методи за определяне приоритета на критериите.
- Усъвършенстван е алгоритъм за декомпозиране на множеството на възможните структурни варианти при наличие на полифункционални елементи и/или ограничения върху съвместимостта между тях
- Предложена е програмна архитектура на диалогова система за многокритериална оптимизация.

Приложни:

- Разработени са програмни модули прилагащи алгоритми на:
 - методи за многокритериална оптимизация – метод на последователния анализ на варианти, метаевристичен метод и на пълното комбиниране;
 - методи за определяне приоритета на критериите;
 - метод за декомпозиране на множеството на възможните структурни варианти при наличие на полифункционални елементи и/или ограничения върху съвместимостта между тях;
 - процедури за автоматизирано въвеждане на входната информация при изграждане математическия модел на задача;
 - метод/и за графично представяне на резултатите.
- Разработена е диалогова система за многокритериална оптимизация на ТСАДП, в която са вградени разработените модули, и съответната инструкция за работа.
- Построен е мрежов модел на множеството от структурни варианти на система за изработване на шлици в плочи от естествен камък и са изградени 3D модели на елементарните изпълнителни устройства.
- Предложени са математически модели на задачата за избор на оптимален структурен вариант на система за изработване на шлици в плочи от естествен камък.
- Резултатите от дисертационната работа са изпробвани при избор на оптимален структурен вариант на система за изработване на шлици в плочи от естествен камък във фирма СТОА ООД – София и се използват в учебния процес на катедра „Автоматизация на дискретното производство”.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

Някои от получените в дисертационната работа резултати са представени в следните публикации:

1. Захаринов В. (2014) Класификация на методи за многокритериална оптимизация. *XXIII Международна научно-техническа конференция „АДП-2014“* (приета за печат)
2. Malakov, I. & Zaharinov, V. (2014) Computer Aided Determination of Criteria Priority for Structural Optimization of Technical Systems. *Procedia Engineering*. pp. 735-744
3. Захаринов В. (2013) Алгоритмично и програмно осигуряване оптимизацията на структурата на технически системи чрез приложението на метаевристичен метод. *XXII Международна научно-техническа конференция „АДП-2013“*. стр. 602-607. Созопол
4. Malakov, I. & Zaharinov, V. (2013) Determining priority of the criteria for structural optimization of technical systems. *Innovations in discrete productions*. pp 2-9. 1. *Innovations in discrete productions*. Publishers: Scientific technical union of mechanical engineering. National Scientific Technical Society Automation in Discrete Productions
5. Малаков, И. & Захаринов, В. (2012) Програмно приложение за многокритериален избор на структурен вариант на технически системи. *XXI Международна научно-техническа конференция „АДП-2012“*. стр. 12-18. Созопол
6. Malakov, I. & Zaharinov, V. (2012) Interactive Software System for Multicriteria Choosing of the Structural Variant of Complex Technical Systems. *Annals of DAAAM for 2012 & Proceedings of the 23rd International DAAAM Symposium*. ISBN 978-3-901509-91-9. ISSN 2304-1382. pp 0199 - 0204, Editor B[ranko] Katalinic. Published by DAAAM International. Austria: Vienna

SUMMARY

OPTIMIZATION OF SIZE RANGES OF MECHATRONIC SYSTEMS FOR AUTOMATED SLIDING DOOR DRIVE

This PhD thesis presents optimization of size ranges of mechatronic systems for automated sliding door drive.

In Chapter 1 is discussed the definition of 'automatic doors'. A review and analysis of the models by leading manufacturers is done. Considered are the methods for design and selection of an optimal variant of technical products, as well as design methods for optimization of size ranges. A review of programming environments for creating a database for automated documentation of automatic sliding doors is made. The goals and objectives of the dissertation work have been formulated.

In chapter 2 are classified automatic doors. The structure of the size range's basic size is developed and a systematization of the main building component is proposed. A list of requirements is compiled for the basic size. A functional model of an automated drive system is developed. The possible structural variants are represented graphically by a directed graph. A mathematical model of the problem is built. The problem is solved by the software program PolyOptimizer. When solving the problem, a compromise solution and solutions for different priorities of the objective functions are considered. A radar diagram of the problem solution is constructed. The basic size of the size range is designed.

In chapter 3 amongst a number of parameters of the basic size the main ones are defined. One main parameter is chosen for characterizing the sizes in the size range, and it is load capacity. The demand for each size is determined after market research. An optimality criterion is chosen. The functional dependence between the optimality criteria and the influencing factors is determined. A mathematical model is built. A choice of mathematical method is made. Algorithms and software applications are developed for solving the problem. An optimal size range is selected. The sensitivity of the found optimal solution is investigated.

Chapter 4 covers the basic steps in designing automatic sliding doors. A software program is selected according to certain criteria. A database with the parameters of the designed size range is developed and implemented in the software system "Logical". The development is approbated by solving a practical design problem commissioned by "Weiss profile" EOOD. Technical documentation is made automatically by the "Logical" software system.