



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ – СЛИВЕН
КАТЕДРА "МЕХАНИКА, МАШИНОСТРОЕНЕ И ТОПЛОТЕХНИКА"

маг. инж. Иван Стефанов Станев

ПРОЕКТИРАНЕ НА МОБИЛНИ МЕТАЛОРЕЖЕЩИ
МАШИНИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

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

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.1. Машинно инженерство

Научна специалност: Автоматизация на производството в машиностроенето

Научен ръководител: доц. д-р инж. Михаела Топалова

СЛИВЕН, 2017 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Механика, машиностроене и топлотехника“ към Инженерно-педагогически факултет – Сливен на ТУ-София на разширено заседание, проведено на 03.07.2017 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 27.10.2017 г. от 15:00 часа в зала 1207 на Инженерно-педагогически факултет – Сливен на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-280/17.07.2017 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д-р Димчо Чакърски – председател
2. Доц. д-р Михаела Топалова – научен секретар
3. Проф. д.т.н. Иван Тошев
4. Проф. д.т.н. Васил Костадинов
5. Проф. д-р Роман Захариев

Рецензенти:

1. Проф. д-р Димчо Чакърски
2. Проф. д.т.н. Иван Тошев

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в Учебен отдел на Инженерно-педагогически факултет – Сливен, кабинет № 201.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Механика, машиностроене и топлотехника“ на Инженерно-педагогически факултет – Сливен. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проект – Вътрешен конкурс на ТУ – София, 2014 г., договор №142ПД0007-16.

Автор: маг. инж. Иван Станев

Заглавие: Проектиране на мобилни металорежещи машини

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Голямогабаритни заготовки и детайли (ГГЗД) се използват в различни отрасли на промишлеността. Те намират разнообразно приложение в минната, металургичната, енергетичната и химическата промишлености. Характеризират се с голямо разнообразие на конфигурацията и размерите. Механичното им обработване се извършва със значителна трудопоглъщаемост на специализирани металорежещи машини – основна причина за високата технологична себестойност. За нейното намаляване решения се търсят в две направления – намаляване на машинното време и намаляване на спомагателното време. Практиката показва, че при обработването на ГГЗД частта на спомагателното време многократно надвишава тази на машинното време.

Търсенето на средства за намаляване на спомагателното време се разглежда при производството и при ремонта и възстановяването на ГГЗД, възли и съоръжения.

При производството на ГГЗД механичното обработване се извършва на специализирани металорежещи машини. Тези машини са скъпоструващи, затова е важно да са максимално натоварени. В действителност съществуват ред причини за загуба на машинно време. Поставя се основателно въпросът за създаване на ефективна технология, позволяваща всички или част от тези операции да се изпълняват на машини, които не са толкова скъпи и не заемат голяма производствена площ.

При изграждането на голямогабаритни стационарни съоръжения чрез заваряване се налага допълнително механично обработване на някои монтажни повърхнини с цел постигане на необходимата точност на размерите, точност на формата и разположението и грапавост на повърхнините. В тези случаи обработването може да се извърши единствено със специални мобилни машини, които се закрепват към съоръжението.

Ремонтът на ГГЗД и възли е широко приложим икономически ефективен начин за възстановяване на функциите им. Процесът изисква наваряване и/или механично обработване на износени и деформирани повърхнини. Осъществяването на тези операции с традиционни средства в условията на специализирани фирми изисква голямо технологично време и значителни човешки и материални ресурси.

В отговор на посочените проблеми е развита концепцията за използване на мобилно технологично оборудване с възможности за реконфигуриране.

Прилагането на мобилните металорежещи машини (МММ) при ремонта и особено при производството на ГГЗД е ограничено, поради липса на изследвания за технологичните им възможности и методики за конструирането им. Това е пречка за разкриване на техните потенциални възможности при обработване на ГГЗД и за усъвършенстване на конструкциите им.

Решаването на част от технологичните и конструктивни проблеми при проектирането и производството на МММ обуславя необходимостта от създаване на подходящи теоретични и методически средства за ефективното им изграждане при решаване на конкретни технологични задачи.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи на изследване

Целта на дисертационния труд е **създаване на теоретични, методически и приложни средства за вариантно проектиране на мобилни металорежещи машини за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли с възможности за реконфигуриране в съответствие с изпълняваните технологични задачи.**

За постигане на поставената в дисертационния труд цел са формулирани следните **основни задачи**:

1. Да се систематизират и класифицират съществуващите конструктивни решения на мобилни металорежещи машини в зависимост от изпълняваните технологични задачи при обработване на голямогабаритни заготовки и детайли.

2. Въз основа на анализ на прилаганите в практиката методи за базиране и закрепване, да се разработят типови конструктивни решения за установяване на мобилните металорежещи машини върху голямогабаритни заготовки и детайли.

3. За характерните технологичните операции при обработване на голямогабаритни заготовки и детайли да се разработят типови технологични схеми, отразяващи приложимостта на типовите конструктивни решения за установяване на мобилни металорежещи машини.

4. Като се изходи от типовите технологични схеми да се създаде система от типизирани и конструктивно унифицирани възли и детайли (базови функционални модули) за модулно изграждане на мобилни металорежещи машини с възможности за реконфигуриране според технологичните изисквания.

5. Да се разработи математичен модел за вариантно компоноване от базовите функционални модули на мобилни металорежещи машини за изпълнение на конкретни технологични задачи при обработване на голямогабаритни заготовки и детайли с отчитане на типовите технологични схеми.

6. Базовите функционални модули да се развият в типоразмерни редове, създаващи възможност за избор на оптимални по параметри модули при компоноване на мобилна металорежеща машина за удовлетворяване на конкретни технологични изисквания.

7. За базовите функционални модули да се разработят концептуални конструктивни решения, които да се организират в графична библиотека от 3D модели, за създаване на условия за вариантно автоматизирано проектиране на мобилни металорежещи машини в GCAD среда.

8. Да се разработи методика за проектиране на мобилни металорежещи машини за решаване на конкретни технологични задачи на основата на типови

технологични решения чрез целево съчетаване на подходящи по типоразмер базови функционални модули. Методиката да бъде адаптирана за компоноване на мобилните металорежещи машини в GCAD среда.

За постигане на целта и решаване на задачите на дисертационния труд са използвани теория на множествата, теория на графите, метод на типизацията, метод на геометричното моделиране.

Научна новост

Направена е систематизация и са предложени класификации на мобилните металорежещи машини в зависимост от методи за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли и от начините на установяването им.

Разработени са типови технологични схеми на характерните методи за обработване с мобилни металорежещи машини, които са основа за разработване на типизирани и конструктивно унифицирани решения за структурното изграждане на мобилни металорежещи машини за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли на модулен принцип.

Създадена е йерархична модулна система от базови функционални модули, създаваща условия за изграждане на специализирани мобилни металорежещи машини за удовлетворяване на конкретни технологични изисквания при обработване на голямогабаритни заготовки и детайли с възможности за реконфигуриране при промяна на технологичните изисквания.

Разработен е графов математичен модел за синтезиране от базовите функционални модули на възможни структурни варианти на мобилни металорежещи машини за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли и определяне на технически смислените структурни решения, удовлетворяващи конкретна технологична задача.

Предложена е методика за проектиране на мобилни металорежещи машини за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли на основата на типизирани технологични решения и набор от базови функционални модули, осигуряваща възможност за автоматизирано проектиране в GCAD среда.

Дефинирани са основните критерии за оценка при избора на оптимален структурен вариант на мобилна металорежеща машина за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли, като е отчетена възможността за многокритериална оптимизация.

Практическа приложимост

Предложените в дисертационния труд теоретични, методически и приложни средства могат да бъдат използвани от конструктори и технолози при проектирането и производството на мобилни металорежещи машини.

Прилагането в проектантската практиката на разработения теоретико-приложен апарат създава условия за:

- модулно изграждане на мобилни металорежещи машини с различно технологично предназначение и възможности за реконфигуриране според изпълняваната технологична задача;

- вариантно компоноване на мобилни металорежещи машини и избор на оптимален структурен и параметричен вариант, удовлетворяващ конкретни технологични изисквания;

- автоматизирано проектиране на мобилни металорежещи машини в GCAD среда чрез използване на готови конструктивни решения на базови функционални модули, развити в типоразмерни редове и организирани в графична библиотека от параметрични 3D модели.

Използването на резултатите от разработката в практиката създава реални възможности за:

- ускоряване на процеса на проектиране и производство на мобилни металорежещи машини чрез изграждането им от готови и изпитани в практиката конструктивни решения;

- повишаване на ефективността при производството на мобилни металорежещи машини, вследствие на намаляване на номенклатурата и повишаване на серийността на необходимите за компоноването им градивни единици;

- подобряване на рентабилността от експлоатацията на мобилните металорежещи машини, поради възможността за реконфигуриране при промяна на технологичните изисквания.

Апробация

Основни постижения и резултати, получени при разработване на дисертационния труд, както и отделни части от него, са докладвани и обсъждани на: XXII-та Национална НТК с международно участие „АДП 2013“, Созопол, 2013 г.; Международната научна конференция „70 години МТФ“, Созопол, 2015 г.; Националната конференция с международно участие „Сливен ‘2014“ и „Сливен ‘2017“ и 17-th International Conference “RADMI-2017”, Zlatibor, Serbia, 2017.

Публикации

Основните постижения и резултати от дисертационния труд са отразени в 5 публикации, от които три са на английски език и една е самостоятелна.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 129 страници, като включва увод, пет глави за решаване на формулираните основни задачи, използвана литература, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и приложения. Цитирани са общо 145 литературни източници, като 52 са на латиница и 56 на кирилица, а останалите са интернет адреси. Дисертацията съдържа 70 фигури, 2 таблици в изложението и 6 таблици в приложенията. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ОБРАБОТВАНЕ НА ГОЛЯМОГАБАРИТНИ ЗАГОТОВКИ И ДЕТАЙЛИ С МОБИЛНИ МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ

Проведеното проучване и анализ на особеностите на ГГЗД, методите за тяхното обработване и възстановяване и технологичното оборудване за обезпечаването им показва:

- Голямогабаритните детайли намират широко приложение в различни отрасли на промишлеността, характеризират се с голямо разнообразие на конфигурацията, габаритите и масата и завишени изисквания към качеството – точност на размерите, точност на формата и разположението и грапавост на повърхнините.

- Ниската ефективност при производството и особено при ремонта на голямогабаритните детайли се обуславя от ниската серийност, значителните човешки и материални ресурси за механичното им обработване на стационарни металорежещи машини и спецификата на сглобяването и транспортирането им.

- Мобилните металорежещи машини са алтернативно технологично решение за производство и ремонт на голямогабаритни детайли и съоръжения. Те се изграждат според технологията за обработване, компактни са за транспортиране, сглобяват се на място и се установяват върху обработвания детайл, който изпълнява ролята на корпусен елемент, затваря силовата верига и гаси появилите се при обработване вибрации.

- Предлагат се сравнително малка номенклатура специализирани мобилни металорежещи машини с ръчно или електромеханично управление и различни конструкции за решаване на сходни технологични проблеми, преобладаващо за нуждите на ремонта на голямогабаритни детайли и съоръжения.

- Прилаганите методи за базиране и настройване на мобилните металорежещи машини не осигуряват необходимата точност на разположение на обработваните повърхнини спрямо функционалните повърхнини на голямогабаритните детайли и съоръжения. Необходимо е да бъдат намерени адекватни решения за базиране и да се разработи технологична екипировка, които да осигурят използването на мобилните металорежещи машини не само за ремонтно-възстановителни дейности, а и като основно технологично оборудване при обработване на ГГЗД.

- Забелязват се тенденции за прилагане на модулния принцип при изграждане на мобилното технологично оборудване, но не са открити данни за създадена модулна система. Наложително е да се разработи система за компоноване на мобилни металорежещи машини с различно технологично предназначение и възможности за реконфигуриране според изпълняваната технологична задача.

- Съществуват проблеми при реализиране на контрола на преместванията на работните органи и осигуряване на размерите на обработваните

повърхнини. Трябва да се търсят решения за цифрово програмно управление, съвместимо със задвижването на мобилните металорежещи машини, с което ще се създаде възможност за обработване и на сложни повърхнини при голямогабаритните детайли и заготовки.

ГЛАВА 2. ТИПИЗИРАНЕ НА РЕШЕНИЯТА ЗА ОБРАБОТВАНЕ НА ГОЛЯМОГАБАРИТНИ ЗАГОТОВКИ И ДЕТАЙЛИ С МОБИЛНИ МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ

2.1. Класификация на мобилните металорежещи машини

За целите на дисертационния труд се възприема мобилните металорежещи машини (МММ) да се класифицират по признаци в зависимост от прилаганите методи за обработване на ГГЗД (фиг. 2.1), основополагащи за определяне на формообразуващите движения на всяка металорежеща машина.



Фиг. 2.1. Класификация на мобилните металорежещи машини според метода за обработване

2.2. Начини на установяване на мобилните металорежещи машини

Установяването на МММ се различава съществено от това при установяване на заготовките и детайлите върху конвенционалните металорежещи машини. В случая базирането на МММ се извършва спрямо координатната система на заготовката или детайла.

Характерно за установяването на МММ е, че се използват базови повърхнини на обработваните заготовки и детайли, осигуряващи минимална по дължина силова верига машина – приспособление – инструмент – детайл. В повечето случаи тези повърхнини не съвпадат с основните базови повърхнини на заготовките и детайлите. Налагат се допълнителни действия за настройване на геометричното положение на МММ спрямо обработваната заготовка или детайл. Това се постига чрез опорни механизми с възможност за прецизно настройване на размер по една или повече координати и закрепване в желано положение. Посредством тези опори се променя положението на МММ в пространството и траекторията на движение на инструмента. Броят на опорите трябва да е достатъчен за отнемане на шест степени на свобода на

МММ спрямо ГГЗД. При необходимост се поставят и допълнителни опори за повишаване на стабилността и виброустойчивостта на технологичната система.

За начините на установяване на МММ върху повърхнини от ГГЗД е предложена класификацията, показана на фиг. 2.2.



Фиг. 2.2. Класификация на мобилните металорежещи машини според начина на установяване

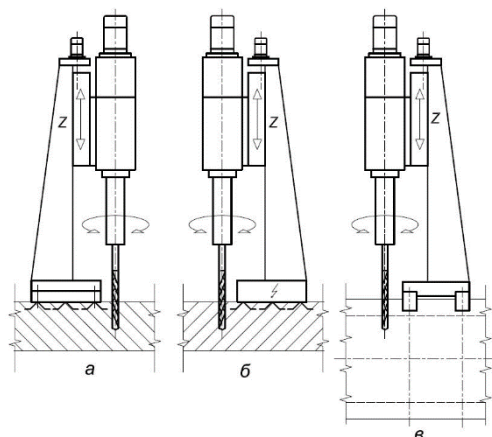
Въз основа на предложената класификация са разработени типови конструктивни решения за установяване на МММ при обработване на ГГЗД, включващи: установяване по вътрешна ротационна повърхнина със самоцентриращ механизъм; установяване по вътрешна ротационна повърхнина с несамоцентриращ механизъм; установяване по вътрешна ротационна повърхнина с несамоцентриращ механизъм с повишена стабилност; установяване по външна ротационна повърхнина с несамоцентриращ механизъм; установяване по външна ротационна повърхнина с призма; установяване по равнинна повърхнина и установяване по произволна повърхнина.

2.3. Типови технологични схеми за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли с мобилни металорежещи машини

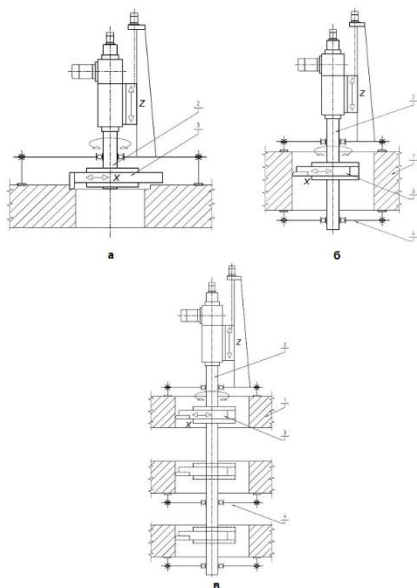
Структурното изграждане на всяка металорежеща машина се основава на нейната технологична схема, отразяваща броя и направлението на работните и установъчните движения за изпълнение на формообразуването.

На основата на предложените класификации (фиг. 2.1 и фиг. 2.2) са разработени типови технологични схеми за обработване на ГГЗД с МММ (фиг. 2.10 до фиг. 2.15).

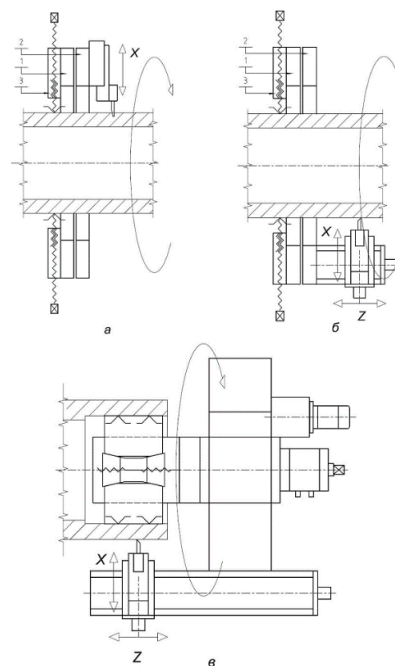
Разработените типови технологични схеми предлагат решения за най-често срещаните технологични проблеми при обработване на ГГЗД. Те са основа за подбор на градивните елементи при компоноване на МММ.



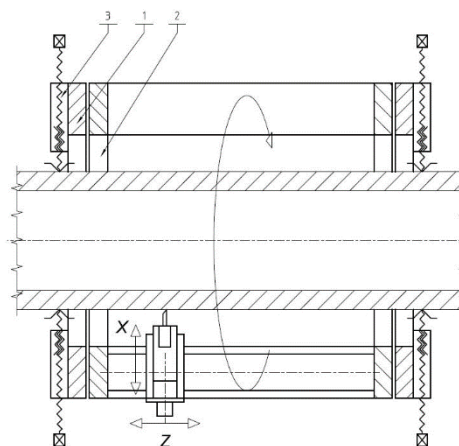
Фиг. 2.10. Технологична схема при обработване на вътрешни ротационни повърхнини с размерен инструмент
 а – базиране с винтови опори;
 б – базиране с електромагнитни опори;
 в – базиране с призматична опора;



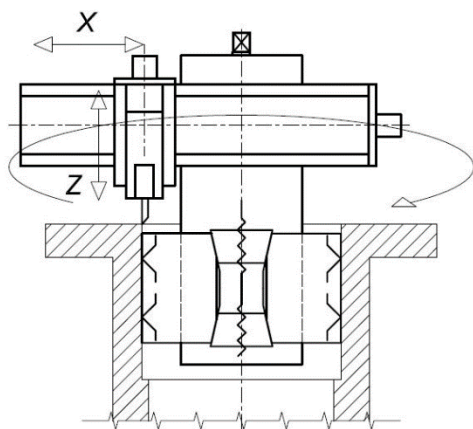
Фиг. 2.11. Технологична схема при обработване на вътрешни ротационни повърхнини с движение на инструмента по траектория
 а – базиране едностранно с винтови опори;
 б – базиране двустранно с винтови опори;
 в – базиране с допълнителни опори;



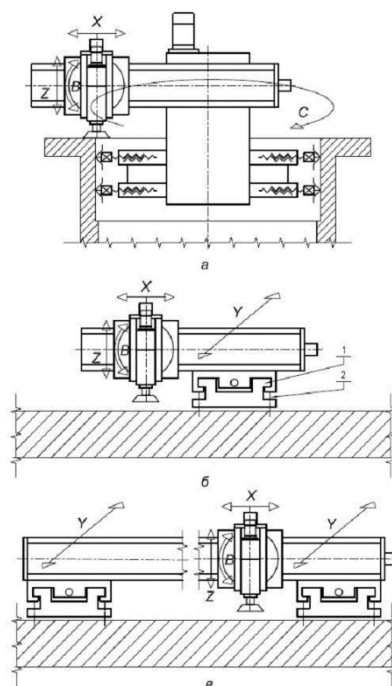
Фиг. 2.12. Технологична схема за обработване на външна къса ротационна повърхнина с движение на инструмента по траектория
 а, б – базиране с винтови опори;
 в – базиране със самоцентрираща опора;



Фиг. 2.13. Технологична схема за обработване на външна дълга ротационна повърхнина с движение на инструмента по траектория



Фиг. 2.14. Технологична схема за струговане на равнинна повърхнина с движение на инструмента по траектория



Фиг. 2.15. Технологична схема за фрезование на равнинна повърхнина с движение на инструмента по траектория

а – базиране по вътрешна повърхнина;
б – базиране по равнинна повърхнина конзолно;
в – базиране по равнинна повърхнина портално

2.4. Резултати и изводи

За ефективното компоноване на мобилни металоурежещи машини с възможности за реконфигуриране е предложен подход за типизиране на технологичните решения при обработване на ГГЗД, в резултат на което:

- Направена е систематизация и е предложена класификация на мобилните металоурежещи машини в зависимост от метода за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли, основополагащ за определяне на формообразуващите движения.
- Предложена е класификация на начините на установяване на мобилните металоурежещи машини, въз основа на която са разработени типови конструктивни решения за установяването им при обработване на голямогабаритни заготовки и детайли.
- Разработени са типови технологични схеми на характерните методи за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли, отразяващи броя и направлението на работните и установъчните движения за изпълнение на формообразуването и приложението на разработените типови конструктивни решения за установяване на мобилните металоурежещи машини.
- Предложените типови технологични схеми са основа за разработване на типизирани и конструктивно унифицирани решения за структурното изграждане на мобилни металоурежещи машини за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли на модулен принцип.

ГЛАВА 3. ИЗГРАЖДАНЕ НА МОБИЛНИ МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ ЗА ОБРАБОТВАНЕ НА ГОЛЯМОГАБАРИТНИ ЗАГОТОВКИ И ДЕТАЙЛИ НА МОДУЛЕН ПРИНЦИП

3.1. Основни постановки

За създаване на условия за ефективно прилагане на модулния принцип при проектиране и производство на МММ за обработване на ГГЗД е необходимо:

- Чрез типизиране и унифициране на съществуващото конструктивно разнообразие от възли и агрегати с идентично функционално предназначение да се създадат базови функционални модули (БФМ) и се въведат технологично обосновани редове от параметри за отделните модули.

- БФМ да се обединят в модулна система, обезпечаваща изграждането на специализирани МММ за удовлетворяване на конкретни технологични изисквания с възможности за реконфигуриране при промяна на технологичните изисквания.

- От БФМ да се синтезират възможни структурни варианти на МММ, като се отчетат структурните и функционални ограничения при съединяването на отделните модули.

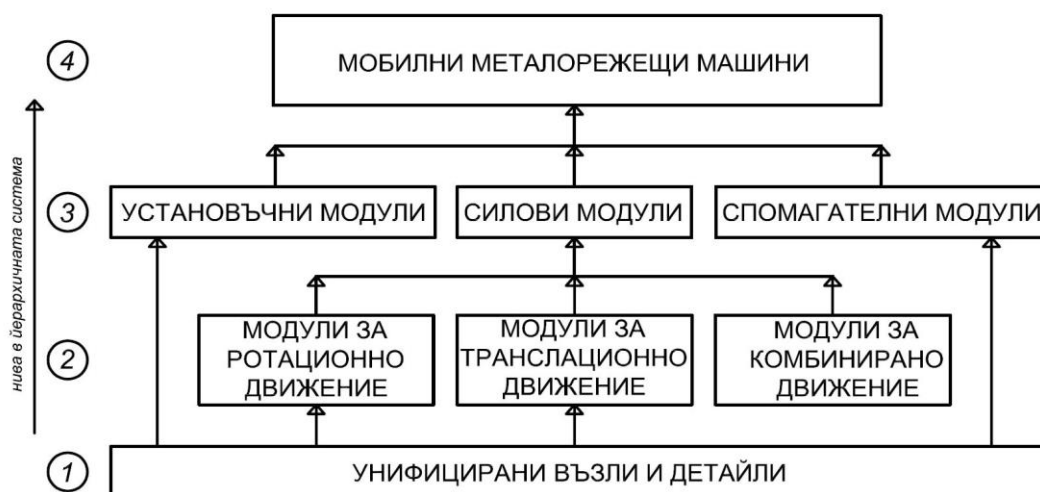
- За БФМ да се създаде библиотека от концептуални 3D модели за вариантно автоматизирано проектиране на МММ в GCAD среда.

3.2. Модулна система за изграждане на мобилни металорежещи машини

Въз основа на съществуващите концепции в конструирането на МММ, предложените в дисертационния труд типови технологични схеми и възприетите основни постановки е създадена йерархична модулна система за изграждане на МММ, чиято обобщена структура, е показана на фиг. 3.1.

Модулната система е изградена на четири йерархични нива, като модулите от по-ниските нива са част от по-високите йерархични нива или участват непосредствено в структурата на най-високото йерархично ниво – мобилната металорежеща машина. Първо ниво обхваща крайно множество унифицирани детайли и възли, които участват в изграждането на второ и трето йерархично ниво или на МММ. Второ ниво включва съвкупност от модули за реализиране на формообразуващите движения. Трето ниво се състои от базови модули, необходими за изграждане на компоновката на мобилната металорежеща машина като цяло.

Предложената модулна система има отворена структура, която позволява при необходимост да бъде допълвана с нови модули.



3.1. Обобщена структура на йерархична модулна система за изграждане на мобилни металорежещи машини

3.3. Базови функционални модули

Базовите модули са групирани по функционален признак в три подсистеми – силови, установъчни и спомагателни модули. Подходящото съчетаване на базови модули от тези подсистеми позволява да се изградят МММ с различна компоновка в съответствие с конкретни технологични изисквания.

Като е изходено от типовите технологичните схеми за обработване на ГГЗД се предлага модулната система да включва БФМ, показани в табл. 3.1.

Въведеното кодово означение показва принадлежността на модулите към съответна подсистема. При допълване на модулната система с нови модули е предвидена възможност за тяхното кодиране според принадлежността им към съответна подсистема.

3.3.1. Силови модули

В подсистемата на силовите модули са включени:

- **Вретенен модул (код 01.__.)** за предаване на главно въртливо движение на инструмента. Предвидени са пет варианта на задвижване: с асинхронен електродвигател (код 01.01.__); с постоянноходов електродвигател (код 01.02.__); с безчетков двигател (код 01.03.__); с пневматичен мотор (код 01.04.__); с хидравличен мотор (код 01.05.__).

В зависимост от типа на инструмента и начина на установяването му, вретеното може да бъде в следните варианти на изпълнение: морзов конус МК-2 по DIN 228 (код 01.__.01); цангов комплект ER 32 по DIN 6499 (код 01.__.02); ISO 40 по DIN 2080 (код 01.__.03).

- **Линейно-подавателни модули** за изпълнение на транслационни движения по координатните оси. В зависимост от големината на силовото натоварване и дължината на хода са предложени модули: с релсови направляващи (код 02.__); с плъзгащи направляващи тип "лястовича опашка" (код 03.__); за двукоординатно движение по две взаимно перпендикулярни оси с релсови направляващи (код 04.01.__) или с установъчно завъртане по една от тях (код 04.02.__); за двукоординатно движение по две взаимно

перпендикулярни оси с плъзгачи направляващи (код 04.03.__) или с установъчно завъртане по една от тях (код 04.04.__).

Таблица 3.1. Кодово означение на базовите функционални модули

Подсистема	Модул	Код
Силови модули	Вретенен	01
	Линейно-подавателен с релсови направляващи	02
	Линейно-подавателен с плъзгачи направляващи	03
	Линейно-подавателен за двукоординатно движение	04
	Орбитален	05
	Кръгово-подавателен	06
	Инструментален – ножовосупортен	07
	Инструментален – радиално-подавателен	08
Установъчни модули	Винтов	20
	Самоцентриращ по вътрешен диаметър	21
	Несамоцентриращ по вътрешен диаметър	22
	С въртяща се шанга	23
	С призми	24
	Електромагнитен	25
Спомагателни модули	Колона	40
	Греда	41

Задвижването на модулите се реализира с различен тип двигатели и плъзгачи се или сачмени двойки винт-гайка. Развити са следните варианти: сачмено-винтова двойка с постояннотоков серводвигател (код __.01) за модулите с релсови и с плъзгачи направляващи и код __.__.01 за модулите за двукоординатно движение; сачмено-винтова двойка с безчетков двигател (код __.02) за модулите с релсови и с плъзгачи направляващи и код __.__.02 за модулите за двукоординатно движение; плъзгачи се винт-гайка със скала за отчитане и хидромотор (код __.03) за модулите с релсови и с плъзгачи направляващи и код __.__.03 за модулите за двукоординатно движение; плъзгачи се винт-гайка със скала за отчитане и ръкохватка (код __.04) за модулите с релсови и с плъзгачи направляващи и код __.__.04 за модулите за двукоординатно движение.

- **Орбитален модул (код 05.__)** за предаване на главно или подавателно кръгови движения на възли от мобилната машина. Задвижването се реализира с различен тип мотор-редуктори: с постояннотоков серводвигател (код 05.01); с безчетков двигател (код 05.02); с пневматичен мотор (код 05.03); с хидравличен мотор (код 05.04).

- **Кръгово-подавателен модул (код 06.__)** за предаване на главно или подавателно кръгови движения на възли от мобилната машина. Предвидено е задвижване с мотор-редуктори: с постоянноходов серводвигател (код 06.01); с безчетков двигател (код 06.02); с пневматичен мотор (код 06.03); с хидравличен мотор (код 06.04).

- **Инструментален ножовосупортен модул (код 07)** за установяване на стандартни инструменти за струговане или стъргане.

- **Инструментален радиално-подавателен модул (код 08.__)** за установяване на стандартни инструменти за вътрешно или челно струговане. Предложени са два варианта: с радиално подавателен механизъм и скорост на подаване пропорционална на главното въртеливо движение (код 08.01); с радиално-подавателен механизъм, задвижван от серводвигател през осево разположен отвор във вретеното (код 08.02).

3.3.2. Установъчни модули

В подсистемата на установъчните модули са включени:

- **Винтов установъчен модул (код 20.__)** за базиране и затягане по външни и вътрешни ротационни повърхнини и за базиране по равнинни и неравнинни повърхнини. Според вида на главата на винта установъчният модул е разработен в три варианта: стандартен болт с шестостенна глава за установяване по равнинни и неравнинни повърхнини (код 20.01); стандартен болт с шестостенна глава, доработена като сферична пета, за установяване по външни и вътрешни ротационни повърхнини (код 20.02); винт с шестостен за установяване по периферията на вътрешни ротационни повърхнини при обработване на челата им (код 20.03).

- **Установъчен модул по вътрешен диаметър със самоцентриране (код 21)** за базиране и затягане по вътрешни обработени ротационни повърхнини с диаметър до около 500 mm.

- **Установъчен модул по вътрешен диаметър без самоцентриране – (код 22)** за базиране и затягане по вътрешни необработени ротационни повърхнини или такива с диаметър над 500 mm.

- **Установъчен модул с въртяща се щанга (код 23)** за обработване на отвори в корпусни детайли чрез наваряване и последващо вътрешно струговане.

- **Установъчен модул с призми (код 24)**

- **Електромагнитен установъчен модул (код 25)** за установяване по равнинни механично обработени повърхнини.

3.3.3. Спомагателни модули

Към подсистемата на спомагателните модули са включени елементи за изграждане на носещата конструкция на МММ:

- **Колона (код 40)** предназначена за конзолно закрепване на силови модули спрямо ГГЗД.

- **Греда (код 41)** предназначена за портално закрепване на силови модули или се използва като тяло с линейни направляващи.

Подходящото съчетаване на БФМ от трите подсистеми позволява да се изграждат МММ с различна компоновка в съответствие с конкретни технологични изисквания.

3.4. Математическо моделиране на структурата на мобилни металорежещи машини

За описание на структурата на МММ на модулен принцип се прилага математичният модел

$$\text{МММ} = [E, V] \quad (3.1)$$

където:

$E = (e_1, e_2, \dots, e_m)$ – множество от елементи в структурата;

$V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ – множество от бинарни функционални връзки между елементите.

В конкретния случай БФМ формират множеството на елементите за структурно изграждане на МММ, а възможностите за съединяването им – множеството от бинарни функционални връзки между тях.

За компоноването на МММ са необходими най-малко четири модула. Броят на възможните структурни варианти N , когато всеки модул участва в конструкцията само веднъж, е равен на сумата на комбинациите на k модула от общо m модула, т.е. при $k=4 \div 16$

$$N = \sum_k^m \frac{m!}{k!(m-k)!} = 64839 \quad (3.2)$$

Ако всеки от БФМ се използва в МММ повече пъти, броят на теоретичните варианти нараства значително. В действителност броят на осъществимите варианти е много по-малък.

За ограничаване на броя на възможните варианти при структурното изграждане на МММ се прилагат верижни мултиграфи. При тях на върховете на графа съответстват БФМ, а на ребрата – бинарните функционални връзки между модулите. Графовият модел определя вариантен математичен модел, изразяващ възможността за съединяване на два модула, като се отчитат структурните и функционални ограничения при съединяването на отделните модули. По този начин графовият модел създава необходимите предпоставки за: генериране на множество възможни структурни решения; свързване на структурното с функционалното описание на МММ; отхвърляне на неудачни и технически безсмислени структурни решения.

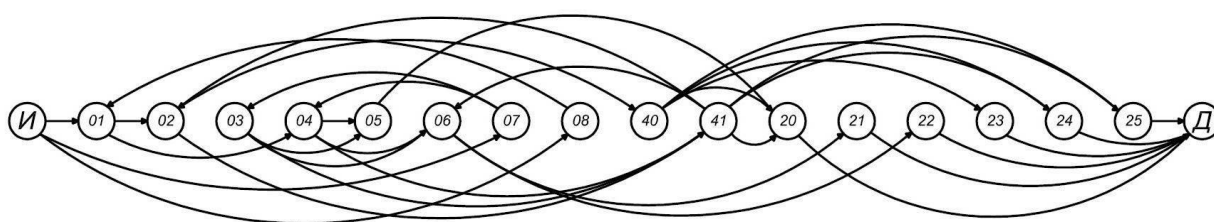
Математическият модел (3.1) е интерпретиран по следния начин:

- Синтезът на структура на МММ се основава на избрания метод на формообразуване. При МММ движенията за формообразуване се извършват само от инструмента и потокът на силите се движи от инструмента през всички функционални модули към голямогабаритния детайл, като се затваря през него. Така генерирането на компоновка на МММ се свежда до избор на най-подходящ метод на формообразуване, построяване на верижен мултиграф,

който съдържа необходимите БФМ и възможните връзки между тях и избор на най-късия силов път от всички възможни смислени варианти.

- От верижния мултиграф се определят множествата на входящите и изходящите връзки за всеки връх – информация, необходима за разработване на съответстващите присъединителни повърхнини на БФМ за сдружаване. Конфигурацията и размерите им трябва да правят възможни всички връзки, посочени в матрицата на съвместимост (фиг. 3.5), в която наличието на връзки между два модула е означено с „1“, а отсъствието – с „0“.

Като се използва алгоритъм за генериране на ориентирани пътища, за съвкупността от БФМ (табл. 3.1) са построени верижен мултиграф (фиг. 3.3) и матрица на диспозицията (фиг. 3.4 – съответства на фиг. 3.4.1, 3.4.2 и 3.4.3 от дисертацията), в която върховете „И“ (инструмент) и „Д“ (детайл) се намират в положение съответно на корен и листа.



Фиг. 3.3. Верижен мултиграф на възможните връзки между базовите функционални модули

Съгласно теория на графите всеки прост път на съединяване на началния и крайния върхове представлява вариант на нова структура на МММ за обработване на ГГЗД. От матрицата на диспозицията се установяват $S_i = 104$ ориентирани пътища на съединяване на началния и крайния върхове, т.е. чрез съчетаване на БФМ могат да се създадат **104** различни компоновки на МММ за обработване на ГГЗД.

Ориентиран граф се построява и за всяка от типовете технологични схеми за обработване на ГГЗД с МММ (фиг. 3.6). Установява се, че на приетите типови технологични схеми съответстват $G_j = 10$ прости ориентирани пътища, т.е. **10** различни компоновки на МММ за обработване на ГГЗД, изградени от набора БФМ.

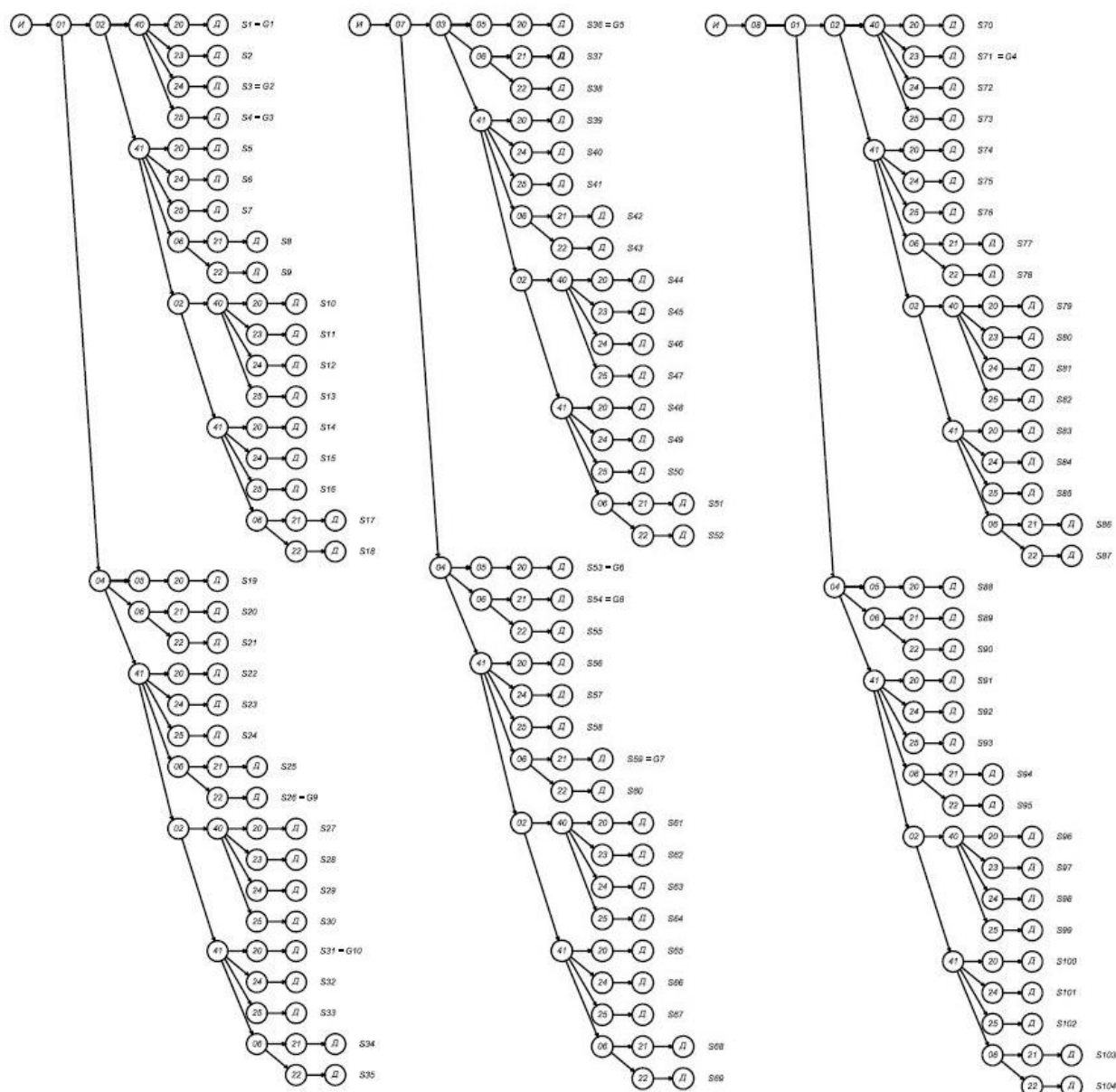
Направеният анализ показва:

- Между граф моделите G_j и простите ориентирани пътища от матрицата на диспозиция S_i съществува съответствието: $G_1 \equiv S_1$; $G_2 \equiv S_3$; $G_3 \equiv S_4$; $G_4 \equiv S_{71}$; $G_5 \equiv S_{36}$; $G_6 \equiv S_{53}$; $G_7 \equiv S_{59}$; $G_8 \equiv S_{54}$; $G_9 \equiv S_{26}$; $G_{10} \equiv S_{31}$.

- Част от простите ориентирани пътища изобразяват смислени компоновки на МММ, но приложимостта им не е типична за обработването на ГГЗД. Това са $S_2, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{19}, S_{20}, S_{21}, S_{22}, S_{23}, S_{24}, S_{32}, S_{33}, S_{55}$ и S_{60} .

- Останалите прости ориентирани пътища изобразяват безсмислени компоновъчни варианти на МММ за обработване на ГГЗД. При някои от тях изпълняваните движения са повече от необходимите за удовлетворяване на

формообразуването – $S_{10} \dots S_{18}$. При други те са недостатъчни – $S_{37} \dots S_{52}$. Част от компоновъчните варианти предлагат нелогични съчетания на БФМ – $S_{56} \dots S_{58}$ и $S_{61} \dots S_{69}$.



Фиг. 3.4. Матрица на диспозицията на базовите функционални модули

3.5. Типоразмени редове базови функционални модули

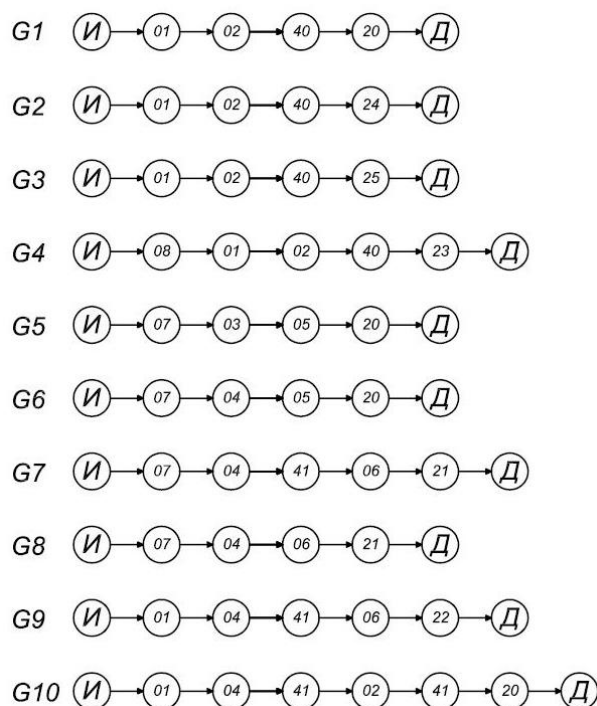
Типоразмерни редове са необходими за избор на оптимални по параметри БФМ при компоноване на МММ за решаване на конкретни технологични задачи.

При разработване на параметричните редове на БФМ са възприети ограничителните условия: минимални стойности на масите на модулите; възможност за сглобяване и разглобяване на ръка или с помощта на леки повдигателни съоръжения; мощност за задвижване на силовите модули; основни стандартни параметри на инструментите. За основно ограничително

условие е прието теглото на елементите, изграждащи МММ. Останалите ограничителни условия произтичат от това условие.

Начален връх	Краен връх																								
	Вретен модул	Лин. подав. с релсови напр.	Лин. подав. с плъзгащи напр.	Лин. подават. модул по две оси	Орбитален модул	Кръгово подават. модул	Инструментален модул	Инстр. рад. подав. модул	Колона	Греда	Винтов устен. модул	Самоцентр. по върт. диам.	Несамоцентр. по върт. диам.	Уст. модул с въртяща се щанга	Уст. модул с призма	Електромагнитен уст. модул									
01	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Фиг. 3.5. Матрица на съвместимост за базовите функционални модули



Фиг. 3.6. Граф модели на компоновки на мобилни металорежещи машини, съответстващи на типовете технологични схеми

При развиване на типоразмерните редове за основни параметри са възприети: за МММ, работещи с ножове – сечението на опашката на ножа; за МММ, работещи с въртящи се инструменти – необходимата мощност за обработване, като разделянето в редове е според вида на предния край на вретеното.

Стойностите в типоразмерните редове на основните параметри на БФМ, съобразени с редовете R5, R10, R20, R40 на предпочитани числа, са показани в табл. 3.2.

3.6. Графична библиотека от базови функционални модули

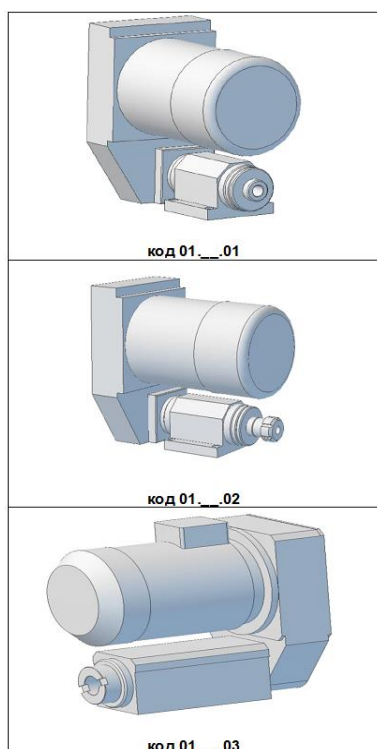
Като е изходено от съображения за унифициране и типизиране на конструкцията на възлите и агрегатите на МММ и типовете технологичните схеми за обработване на ГГЗД са създадени концептуални конструктивни решения на БФМ (фиг. 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 и 3.13).

За създаване на среда за вариантното автоматизирано проектиране на МММ в GCAD среда са разработени конфигурации от параметрични 3D модели на БФМ, съответстващи на развитите типоразмерни редове. Файловете с 3D

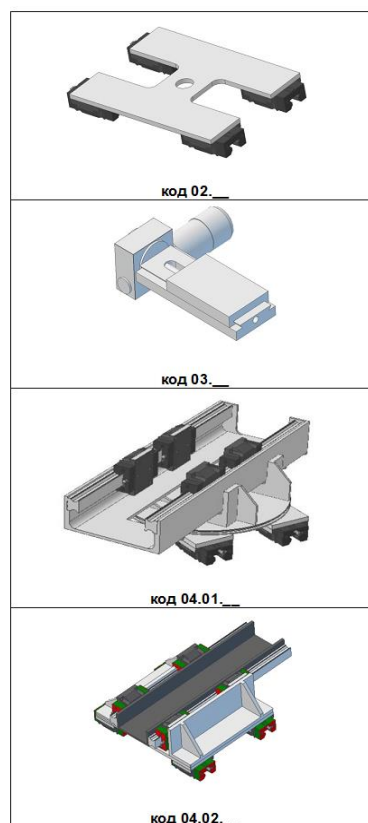
моделите са организирани в графична библиотека, структурирана по аналогия с йерархичната модулна система (фиг. 3.14).

Таблица 3.2. Стойности на параметрите на базовите функционални модули в типоразмерните редове

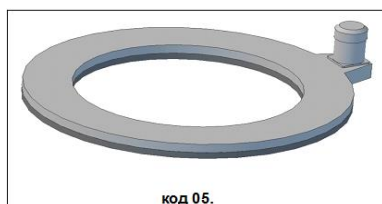
БАЗОВИ ФУНКЦИОНАЛНИ МОДУЛИ	ПАРАМЕТЪР [mm]	ТИПОРАЗМЕРЕН РЕД					
		1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3
Инструментален	Размери на опашката	16/16	25/25	32/32	МК-2	ER 32	ISO40
Вретенен	Широчина на врет. корпус	-	-	-	70	90	150
Линейно подавателен	Широчина на шейната	90	120	150	90	200	300
Орбитален	Широчина на пръстена	120	200	300	-	-	-
Кръгово подавателен	Външен диаметър	-	-	-	400	630	900
Греди, Колони, Стойки	Широчина на колоната	120	200	300	120	200	300
Винтов установъчен	Диаметър на винта	20	30	42	20	30	42
Установъчен самоцентриращ	Минимален работен диам.	150	300	400	150	300	400
Установъчен несамоцентриращ	Минимален работен диам.	600	900	1500	600	900	1500
Установъчен с въртяща щанга	Диаметър на щангата	-	-	-	40	60	80
Установъчен с призми	Минимален работен диам.	-	-	-	400	630	900



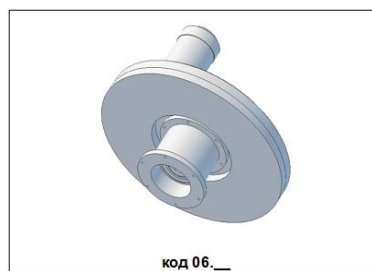
Фиг. 3.7. 3D модели на концептуални конструктивни решения на вретенни модули



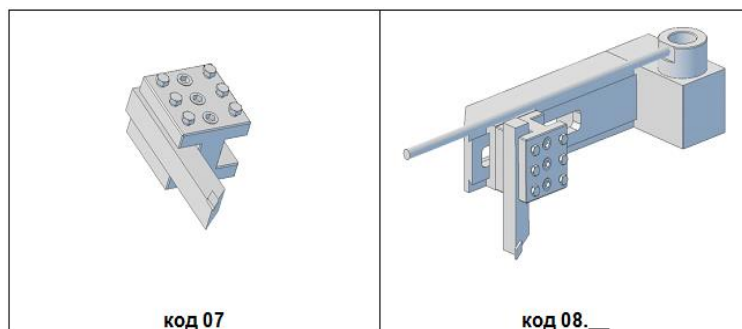
Фиг. 3.8. 3D модели на концептуални конструктивни решения на линейно-подавателни модули



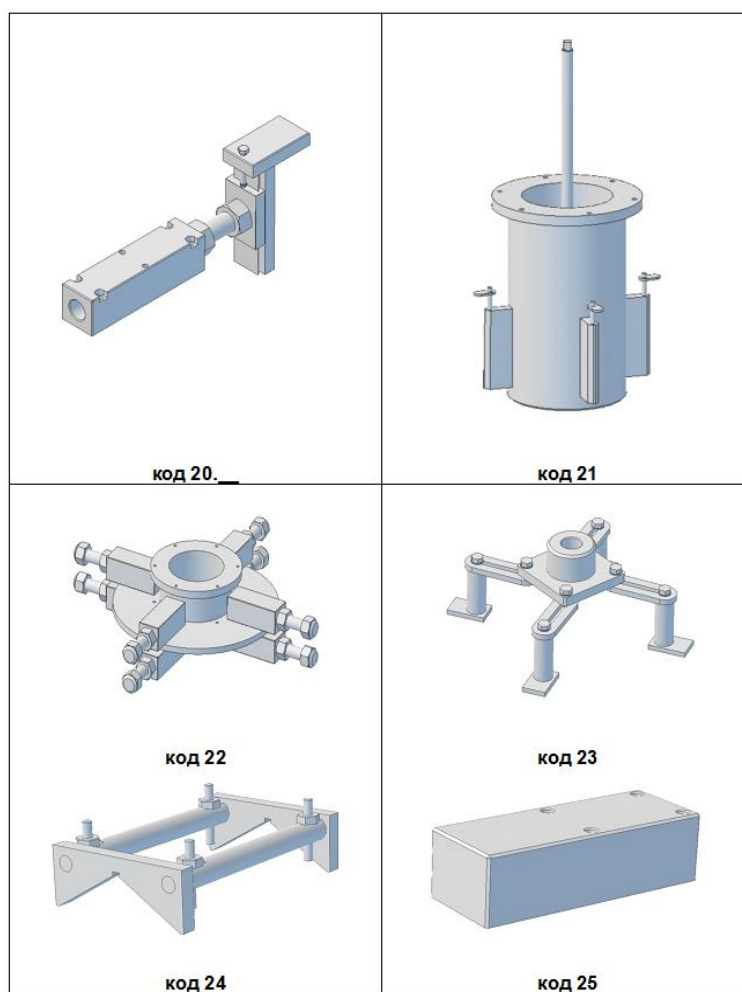
Фиг. 3.9. 3D модел на концептуално конструктивно решение на орбитален модул



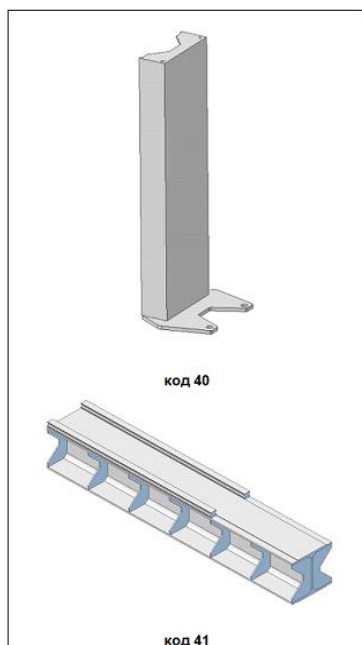
Фиг. 3.10. 3D модел на концептуално конструктивно решение на кръгово-подавателен модул



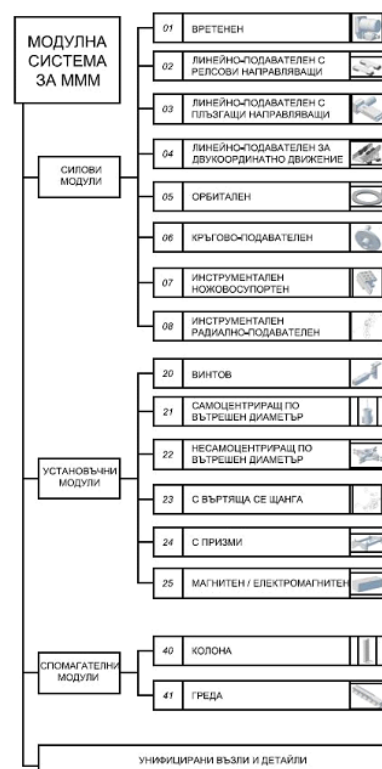
Фиг. 3.11. 3D модели на концептуални конструктивни решения на инструментални модули



Фиг. 3.12. 3D модели на концептуални конструктивни решения на установъчни модули



Фиг. 3.13. 3D модели на концептуални конструктивни решения на спомагателни модули



Фиг. 3.14. Структура на графична библиотека от базови функционални модули

Чрез съчетаване на 3D модели на БФМ от трите подсистеми могат да се изграждат МММ за обработване на ГГЗД с различна структура в съответствие с решаваната технологична задача.

3.7. Резултати и изводи

За създаване на условия за ефективно прилагане на модулния принцип при проектиране и производство на МММ за обработване на ГГЗД е предложен теоретико-приложен апарат, състоящ се в:

- Формулирани са основните постановки за създаване на условия за вариантното проектиране на МММ за обработване на ГГЗД на модулен принцип в GCAD среда.
- Създадена е йерархична модулна система с отворена структура, създаваща условия за изграждане на специализирани МММ за удовлетворяване на конкретни технологични изисквания при обработване на ГГЗД с възможности за реконфигуриране при промяна на технологичните изисквания.
- Предложени са БФМ от силовата, установъчната и спомагателната подсистеми на модулната система, чието съчетаване осигурява изпълнението на характерните формообразуващи движения при обработване на ГГЗД с МММ.
- Разработен е графов математичен модел, отразяващ възможността за съединяване на БФМ помежду им при синтезиране на структурни варианти на

МММ за обработване на ГГЗД в съответствие с решаваната технологична задача.

- От БФМ е генерирано множество от 104 структурни варианти на МММ, представени чрез ориентирани графи, анализирани са технологичните им възможности и са определени вариантите, представляващи технически смислени структурни решения на МММ за обработване на ГГЗД.

- Дефинирани са ограничителните условия за разработване на параметрични редове на БФМ и са определени стойностите на основните им параметри, развити в три типоразмерни реда.

- За създаване на условия за вариантно автоматизирано проектиране на МММ в GCAD среда:

- ✓ са предложени концептуални конструктивни решения на БФМ от йерархичната модулна система;
- ✓ въведено е кодово означение на БФМ, отразяващо конструктивните им особености и принадлежността им към съответна подсистема на йерархичната модулна система;
- ✓ разработени са конфигурации от параметрични 3D модели, съответстващи на развитите типоразмерни редове;
- ✓ предложена е структура на графичната библиотека от 3D модели на БФМ.

ГЛАВА 4. МЕТОДИКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА МОБИЛНИ МЕТАЛО-РЕЖЕЩИ МАШИНИ

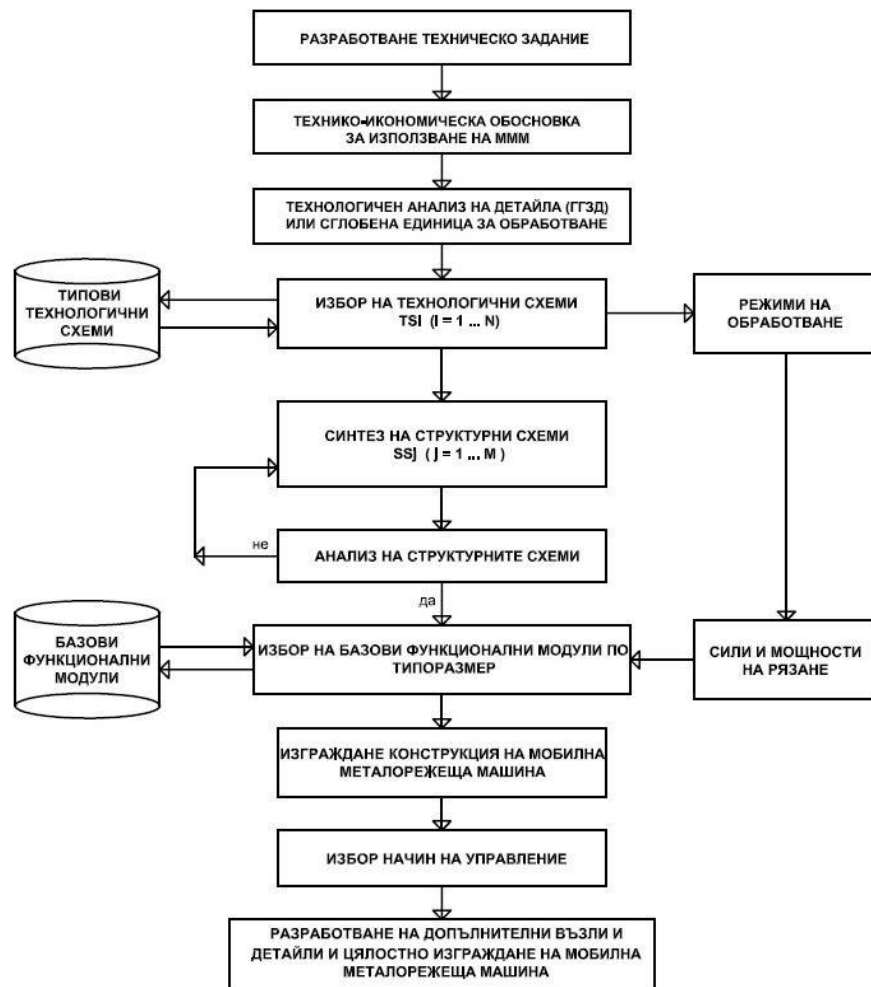
Методиката предвижда проектирането на МММ за удовлетворяване на конкретни технологични изисквания да се осъществява по алгоритъм, описан с показаната на фиг. 4.1 блок-схема.

При разработване на техническото задание се описва служебното предназначение на ГГЗД или сглобена единица и на техническите изисквания, предявявани към тях.

Потребността от проектиране и изработване на МММ е свързана с обосноваване на икономическата ефективност от тяхното използване при обработване на ГГЗД. За целта за всеки конкретен технологичен случай се прави сравнителен анализ на разходите за обработване със стационарна и с МММ. Разходите се определят като се използват съществуващи нормативи или по експертни оценки. В случай на ремонт при невъзможен демонтаж, технико-икономическа обосновка не е необходима, тъй като единственият начин за възстановяване е с използване на МММ.

При технологичния анализ се анализират подлежащите на обработване повърхнини по отношение на точност на размерите, точност на формата и разположението и грапавост. Отчита се наличието на подходящи базови повърхнини за установяване на МММ.

Изборът на технологична схема се прави от създадения набор типови технологични схеми. Избират се тези, които удовлетворят изискванията на решаваната технологична задача.



Фиг. 4.1. Обобщена блок-схема на алгоритъм за проектиране на мобилни металорежещи машини

Структурната схема на всяка МММ се генерира чрез съчетаване на подходящи БФМ от предложената йерархична модулна система. Структурирането започва с избор на модул, носещ режещия инструмент, преминава през функционалните модули, осъществяващи формообразуващите движения и завършва с избор на подходящи установъчни модули. Резултат от синтеза могат да бъдат множество структурни варианти, удовлетворяващи решаваната технологична задача.

Задачата за определяне на оптималната структурна схема на МММ за решаване на конкретна технологична задача е многокритериална. Критерии за оптималност са: минимален брой БФМ, удовлетворяващи изпълнението на формообразуващите и установъчните движения; минимална дължина на силовата верига, затваряща реакциите от силите на рязане; минимално тегло на избраните БФМ; конструктивна съвместимост на присъединителните повърхнини; възможности за лесен монтаж и демонтаж на МММ.

Изборът на БФМ се прави от развитите типоразмерни редове по параметър сила, въртящ момент или мощност в зависимост от изпълняваните от модулите функции. Типоразмерът на модулите се определя в зависимост от избраните

режими на рязане и изчислени сили на рязане и техните реакции в силовата верига инструмент – БФМ – ГГЗД.

Изграждането на конструкцията на МММ става чрез съчетаване на съвместими по функционални параметри и размери БФМ. При проектиране на МММ в GCAD среда се използва графична библиотека от параметрични 3D модели на БФМ.

Изборът на начин за управление на МММ се свежда до преценка на необходимостта от използване на система за цифрово програмно управление (ЦПУ). Критерии за тази преценка са изискванията към формата и точността на линейните и ъгловите размери на обработваните повърхнини.

За окончателното изграждане на всяка конкретна МММ е необходимо да бъдат разработени специфични оригинални възли и детайли.

Резултати и изводи

- Предложен е алгоритъм за проектиране на МММ за обработване на ГГЗД на основата на типизирани технологични решения и набор от БФМ, развити в типоразмерни редове.
- Описани са процедурите за генериране на структурни варианти на МММ за обработване на ГГЗД и определяне на оптималния от тях при решаване на конкретна технологична задача.
- Дефинирани са основните критерии за оценка при избора на оптимален структурен вариант на МММ за обработване на ГГЗД, като е отчетена възможността за многокритериална оптимизация.
- Методиката е адаптирана за автоматизирано проектиране на МММ за обработване на ГГЗД в GCAD среда чрез целево съчетаване на параметрични 3D модели на БФМ.

ГЛАВА 5. ГЕНЕРИРАНЕ НА ОПТИМАЛНИ СТРУКТУРНИ ВАРИАНТИ НА МОБИЛНИ МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ

Подходът при генериране на оптимален структурен вариант на МММ е илюстриран с разгледания по-долу пример. Следва се разработената методика за проектиране на МММ за обработване на ГГЗД, като се спазва алгоритъмът от фиг. 4.1.

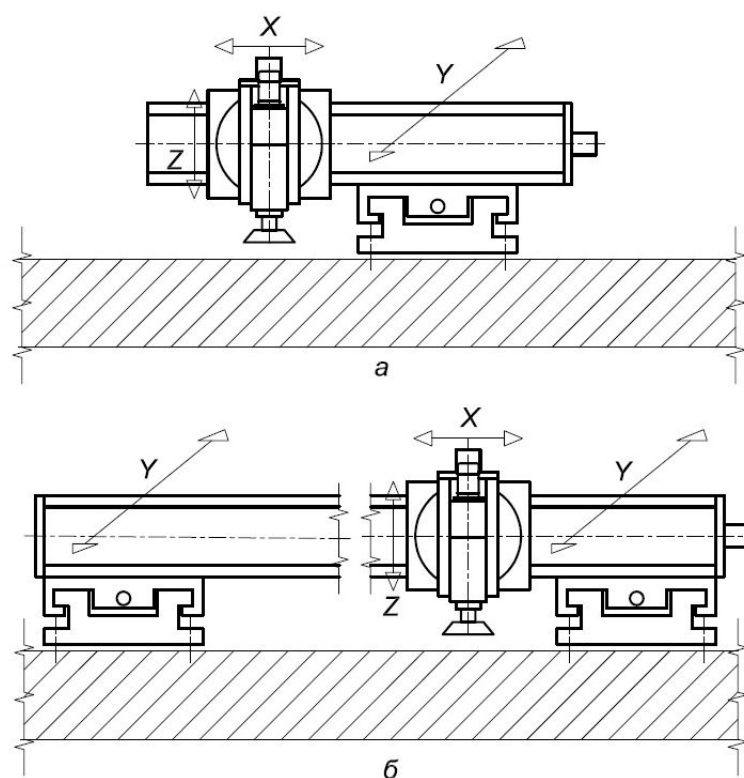
Съгласно техническото задание е необходимо да се проектира МММ за обработване на праволинеен канал със зададени размери и допуски по дължината на голямогабаритен корпусен детайл, изработен от сив чугун.

Направеният сравнителен анализ на разходите за обработване със стационарна и с МММ е в полза на последната.

Технологичният анализ на детайла показва наличие на подходяща равнинна повърхнина за установяване на МММ в непосредствена близост до обработваемата повърхнина. Размерите и допуските на канала са постижими при прилагане на грубо фрезование с последващо чисто фрезование с челно-цилиндрична фреза.

Типовите технологични схеми, които удовлетворяват решаваната технологична задача, са показани на фиг. 5.1. Поради малката дължина на хода по една от осите се предпочитат типовата технологична схема с конзолно изнесена фрезова глава (фиг. 5.1, а).

От матрицата на диспозицията (фиг. 3.4) се установява, че за удовлетворяване на технологичните изисквания на настоящия пример от всички ориентирани прости пътища са възможни пътищата S_{31} , S_{32} и S_{33} . За изграждане на компоновката на МММ се избира простият ориентиран път S_{31} , който отговаря на граф модела от фиг. 5.2. Останалите прости пътища не предлагат подходящи установъчни модули.



Фиг. 5.1. Типови технологични схеми за фрезование на равнинна повърхнина с движение на инструмента по траектория
а – базиране по равнинна повърхнина конзолно; б – базиране по равнинна повърхнина портално



Фиг. 5.2. Граф модел на структурен вариант, удовлетворяващ изискванията на технологичната задача

Като се изхожда от набора БФМ се възприема компоновката на МММ да включва един вратенен и два линейно-подавателни модули, единият от които за двукоординатно движение. Чрез тяхното съчетаване е възможно да се изгради МММ, съгласно структурната схема от фиг. 5.3.

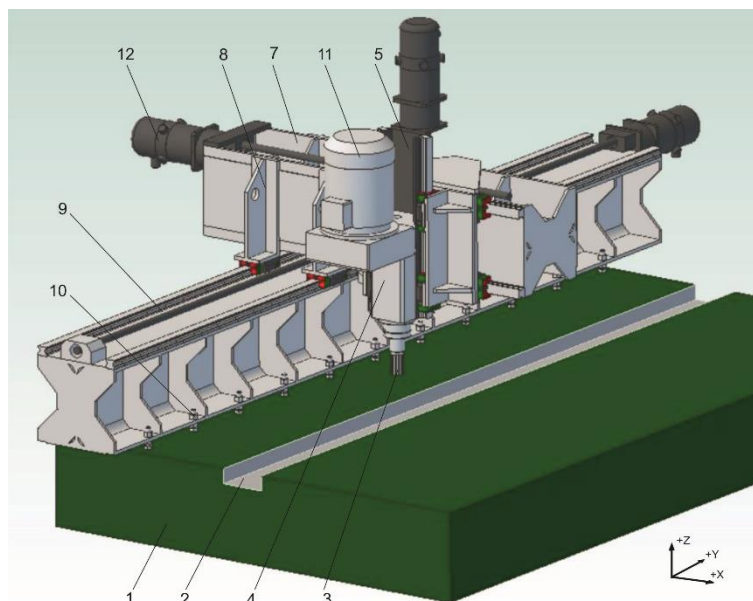
Анализът на структурната схема показва, че МММ включва минимално необходимия брой БФМ, силовата верига е с минимална дължина и

съществува възможност за лесен монтаж и демонтаж. След изчисляване на реакциите от силите на рязане и техните компоненти от параметричните редове се избират БФМ по типоразмер. Броят на установъчните модули и габаритните размери на спомагателните модули произтичат от големината на ходовете по координатните оси, респективно от размерите на обработваната повърхнина.



Фиг. 5.3. Структурна схема на мобилна металоуреждаща машина за фрезове на канал

На фиг. 5.4 е показан генерираният 3D модел на МММ за фрезове на канал в корпуса на голямогабаритния детайл. За цялостното изграждане на МММ допълнително конструктивно са разработени стъпки.



Фиг. 5.4. 3D модел на мобилна металоуреждаща машина за фрезове на канал на голямогабаритен корпусен детайл

- 1 – голямогабаритен детайл; 2 – канал; 3 – инструмент; 4 – вретенен модул;
5 – линейно-подавателен модул за двукоординатно движение; 7 – греда; 8 – стъпки;
9 – греда с релсови направляващи; 10 – винтови опори;
11 – двигател със зъбно-ремъчен редуктор; 12 – подавателни механизми;

Резултати и изводи

Илюстрирани са възможностите на създадения теоретико-приложен апарат за вариантно автоматизирано проектиране на МММ за обработване на ГГЗД детайли в GCAD среда, а именно:

- Потвърдена е приложимостта на разработените типови технологични схеми и създадена йерархична модулна система при автоматизираното проектиране на МММ за решаване на конкретни технологични задачи.
- Доказана е адекватността на разработения графов математичен модел за синтезиране на структурни варианти на МММ и на дефинираните критерии за тяхната оценка при избора на оптимален структурен вариант, удовлетворяващ конкретни технологични изисквания.
- Апробирана е създадената методика за проектиране на МММ, като е потвърдена нейната приложимост за нуждите на автоматизираното проектиране в GCAD среда.
- Коментиран е подходът за изграждане на конкретна конструкция на МММ в GCAD среда с използване на разработените конфигурации от параметрични 3D модели на БФМ, развити в типоразмерни редове.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Направена е систематизация и е предложена класификация на мобилните металорежещи машини в зависимост от метода за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли, основополагащ за определяне на формообразуващите движения.

2. Предложена е класификация на начините на установяване на мобилните металорежещи машини, въз основа на която са разработени типови конструктивни решения за установяването им при обработване на голямогабаритни заготовки и детайли.

3. Създадена е йерархична модулна система за изграждане на специализирани мобилни металорежещи машини, удовлетворяващи конкретни технологични изисквания при обработване на голямогабаритни заготовки и детайли с възможности за реконфигуриране при промяна на технологичните изисквания.

4. Разработен е графов математичен модел за синтезиране от базовите функционални модули на възможни структурни варианти на мобилни металорежещи машини за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли и определяне на технически смислените структурни решения за удовлетворяване на конкретни технологични задачи.

5. Предложена е методика за проектиране на мобилни металорежещи машини за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли на основата на типизирани технологични решения и набор от базови функционални модули, която е апробирана при автоматизираното им проектиране в GCAD среда.

6. Дефинирани са основните критерии за оценка при избора на оптимален структурен вариант на мобилна металорежеща машина за

обработване на голямогабаритни заготовки и детайли, като е отчетена възможността за многокритериална оптимизация.

ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Разработени са типови технологични схеми на характерните методи за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли и е потвърдена приложимостта им при структурното изграждане и автоматизираното проектиране на мобилни металорежещи машини за обработване на голямогабаритни заготовки и детайли на модулен принцип от типизирани и конструктивно унифицирани възли и детайли.

2. Предложени са базови функционални модули от силовата, установъчната и спомагателната подсистеми на йерархичната модулна система, чието съчетаване осигурява изпълнението на характерните формообразуващи движения при обработване на голямогабаритни заготовки и детайли с мобилни металорежещи машини.

3. Доказана е адекватността на разработения графов математичен модел за синтезиране на структурни варианти на мобилни металорежещи машини и на дефинираните критерии за тяхната оценка при избора на оптимален структурен вариант, удовлетворяващ конкретни технологични изисквания.

4. Дефинирани са ограничителните условия и са развити типоразмерни редове на базовите функционални модули от йерархичната модулна система, като са определени стойностите на основните параметри за избор на вариант за компоноване на мобилна металорежеща машина за решаване на конкретна технологична задача при обработване на голямогабаритни заготовки и детайли.

5. Предложени са концептуални конструктивни решения на базовите функционални модули от йерархичната модулна система, за които е въведено кодово означение и са разработени конфигурации от параметрични 3D модели, организирани в графична библиотека, за създаване на среда за вариантно автоматизирано проектиране на мобилни металорежещи машини с GCAD системи.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **Станев Ив.,** М. Топалова, Използване на мобилни машини за механично обработване на голямогабаритни детайли, XXII национална НТК с международно участие „АДП 2013”, юни 2013, Созопол // Научни известия на НТС по машиностроене, год. XXI, бр. 3/140, с. 70-74.

2. **Станев Ив.,** Типови технологични схеми за обработване на голямогабаритни детайли с мобилни металообработващи машини, Национална конференция с международно участие „Сливен '2014“, юни 2014, Сливен // Машиностроене и машинознание, год. IX, кн. 2, ТУ – Варна, 2014, с. 26-29.

3. Topalova M., **I. Stanev**, Modular system in the design of mobile machines for mechanical processing of large-sized workpieces, 28th International Scientific

Conference „70 years FIT“, September 2015, Sozopol // Proceedings “FIT’2015”, pp. 427-431.

4. Topalova M., **I. Stanev**, Design methods in portable machine tools for surface treatment of large workpieces, Национална конференция с международно участие „Сливен ’2017“, юли 2017, Сливен // приета за отпечатване в сп. Известия на СУ – Сливен, том 32, кн. 1, 2017.

5. Topalova M., **I. Stanev**, Modeling the structure of portable machine tools for surface treatment of large workpieces, 17th International Conference “Research and Development in Mechanical Industry” RaDMI 2017, 13-16 September 2017, Zlatibor, Serbia // Proceedings RaDMI-2017.

SUMMARY

DESIGN OF PORTABLE MACHINE TOOLS

MSc. Eng. Ivan Stefanov Stanev

In this dissertation are presents the results of a research in the field on the use of mobile technological equipment for large-sized workpieces machining. The features and benefits of portable machine tools are discussed. The guidelines for development of portable machine tools are explained. The characteristics of technological schemes in various processing of large-sized workpieces are examined. A classification of these processes is done and types technological processing, as the basis for selection of modular building blocks for portable machine tools, are proposed. Then the possibility of applying the modular approach for construction of portable machine tools are examined. The requirements to modules and the basic principles for their construction are formulated. The structure of modular system and conceptual design solutions of functional modules for portable machine tools for large-sized workpieces are suggested.

In the end of this work an algorithm for the design of portable machine tools for the processing of large-sized workpieces, based on typified technological solutions and a set of basic functional modules developed in dimensional rows is proposed. The procedures for generating structural variants of portable machine tools and determination of the optimal of them are described. The main criteria for assessment the optimal structural variant are defined. An example of application of the methodology for solving a specific technological task is done.