



**МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. ИВАН РИЛСКИ”, СОФИЯ
МИННОЕЛЕКТРОМЕХАНИЧЕН ФАКУЛТЕТ
Катедра "Механизация на мините"**

маг. инж. Димитър Ивайлов Митев

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕХНИКО - ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ
ПАРАМЕТРИ НА ЧЕЛЮСТНА ТРОШАЧКА ТИП CJ 615/01
ЗА УСЛОВИЯТА НА РУДНИК „ЧЕЛОПЕЧ”**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд за присъждане на
образователна и научна степен **"ДОКТОР"**

Научна област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.8 "Проучване добив и обработка на полезни изкопаеми"

Докторска програма: "Механизация на мините"

Научен ръководител: доц. д-р. Иван Стефанов Минин

СОФИЯ, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на 14.04.2018 г. от Разширен катедрен съвет на катедра „Механизация на мините” към Минно Електромеханичен факултет на МГУ „Св. Иван Рилски”, София, съгласно Ректорска заповед № Р-359 от 23.03.2018 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои пред Научно жури, утвърдено със заповед № Р - 481 от 02.05.2018 г. на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски” и ще се проведе на 11.07.2018 г. от 11.00 часа в зала 204Б на Минноелектромеханичен факултет, МГУ „Св. Иван Рилски”, София.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Сектор „Следдипломна квалификация” на МГУ „Св. Иван Рилски”, Ректорат, ет. 3, стая № 79, тел. 02/ 80 60 209.

Утвърденото Научно жури е в състав:

1. Доц. д-р Иван Минин – председател;
2. Проф. д-р Михаил Вълков, вътрешен;
3. Проф. д.т.н. Антоанета Ботева, външен;
4. Проф. д-р Никола Мърхов, външен;
5. Доц. д-р Росен Митрев, външен;

Резервни членове:

2. Доц. д-р Атанас Кузев, външен;
3. Доц. д-р Антоанета Янева, вътрешен;

РЕЦЕНЗЕНТИ:

1. Проф. д.т.н. Антоанета Ботева
2. Проф. д-р Михаил Вълков

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Механизация на мините” на Минноелектромеханичен факултет.

Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора.

Автор: маг. инж. Димитър Митев

Заглавие: Изследване на технико - експлоатационните параметри на челюстна трошачка тип CJ 615/01 за условията на рудник „Челопеч”

Тираж: 25 броя

Отпечатано в Издателска къща „Св. Иван Рилски” на МГУ „Св. Иван Рилски”, София.

Съдържание

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.....	4
ГЛАВА I. АНАЛИЗ НА СЪВРЕМЕННОТО ТЕХНИЧЕСКО НИВО НА ЧЕЛЮСТНИТЕ ТРОШАЧКИ=.....	6
ГЛАВА II. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.....	8
ГЛАВА III. ЛИНЕЕН СТРУКТУРЕН ДЕФОРМАЦИОННО-НАПРЕЖЕНОВ РЕ АНАЛИЗ НА CAD-CAE МОДЕЛ НА ЧЕЛЮСТНА ТРОШАЧКА CJ615:01	10
3.1. Въведение.....	10
3.2. Компютърно моделиране на триизмерен CAD - модел на челюстна трошачка CJ615:01.....	12
3.3. Граничните условия и натоварване на CAE - модела в програмната среда на COSMOS Works.	14
3.4. Резултати и анализ от проведения структурен линеен анализ на основните елементи на челюстната трошачка.	15
3.5. Изводи	20
IV. ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАДЕЖНОСТТА НА ЧЕЛЮСТНА ТРОШАЧКА ТИП CJ615:01	21
4.1. Определяне на параметрите на експлоатационната сигурност на трошачка тип CJ615:01	21
4.2. Изводи.....	25
ГЛАВА V. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАБОТАТА НА ЛАБОРАТОРНА ЧЕЛЮСТНА ТРОШАЧКА СЪС СЛОЖНО ЛЮЛЕЕНЕ НА ПОДВИЖНАТА ЧЕЛЮСТ.....	26
5.1. Математически модел на процеса трошене в челюстна трошачка.....	26
5.1.1. Етапи на моделирането	26
5.1.2. Избор на цел и целеви функции	26
5.1.3. Избор на управляващи фактори.....	26
5.2. Провеждане на експеримент с лабораторна челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст	27
5.3. Обработка на резултатите от експеримента.....	28
5.3.1. Изследване на относителният енергоразход на трошачката.....	28
5.3.2. Изследване на производителността на трошачка.....	30
5.3.3. Зърнометрични характеристики.....	32
5.4. Изводи.....	34
III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	356
VIII. ПРИНОСИ, ПУБЛИКАЦИИ И БЪДЕЩИ ЗАДАЧИ.....	36
6.1. Научно-приложни приноси.....	36
6.2. Приложни приноси на дисертационния труд.....	36
6.3. Перспективи и направления за бъдещи изследвания по основната цел на дисертационния труд.....	36
6.4. Публикации по дисертационния труд.....	37
Литература	38

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Цел на дисертационния труд

Целта на настоящият труд е чрез изследване на процеса на трошене на материали в челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст и създаване на математичен модел на процеса трошене, да се определи влиянието на конструктивните параметри върху технологичните такива и покаже връзката между тях, както и да се избере подходящ технологичен режим при различни стойности на изпускателния отвор на машината.

Актуалност на проблема

Динамичните промени в световната икономика водят до необходимост от разработването на все по бедни находища на полезни изкопаеми. Последното налага трошенето на огромни обеми руда. В същото време нараства обемът на консумацията на натрошени материали за нуждите на строителната и преработвателната промишленост. От друга страна непрекъснато се повишават цените на електрическата енергията, това налага изследването на челюстните трошачки, които са големи консуматори на електрическа енергия с цел поевтиняване на процеса трошене.

Практическа приложимост

Въз основа на теоретичните и експериментални изследвания са получени данни, които могат да се използват при проектирането, изследването и оптимизирането на подобен тип машини с оглед увеличаването на техническата и икономическата им ефективност.

Разработена е методика за симулационно компютърно изследване на 3D модел на челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст. Методиката е приложена върху триизмерен пространствен компютърен модел на челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст.

Научна новост

Въз основа на експерименталните данни от експеримент е предложен нов математичен модел на процеса трошене в челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст.

Изведени са нови аналитични зависимости за целевите функции относителен енергоразход, производителност по готов продукт при трошене в челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст.

Изведени са нови аналитични зависимости за функцията на надеждността на челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст работеща в рудник „Челопеч“.

Апробация

Настоящото изследване е извършено в периода 2015 – 2018 г. Натуралните изпитания и изследвания са извършени върху лабораторна челюстна трошачка, намираща се в гр. София. Компютърните изследвания и обработката на резултатите в МГУ „Св. Иван Рилски“- София.

Одобряване на работата

Работата е докладвана на етапи и като цяло на заседание на катедра „Механизация на мините“ при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“- София.

Публикации

Основните резултати от дисертационния труд са представени в показни 4 публикации.

Структура и обем на работата

Дисертационният труд е в обем 135 страници, съдържащ текст, 75 фигури, 38 таблици, списък с използваните литературни източници и сайтове и 3 приложения в обем от 52 страници, съдържащи 20 фигури. Номерата на фигурите, таблиците и формулите в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

ГЛАВА I. АНАЛИЗ НА СЪВРЕМЕННОТО ТЕХНИЧЕСКО НИВО НА ЧЕЛЮСТНИТЕ ТРОШАЧКИ

В началото на всяка технология, свързана с преработването на рудни и скални материали, се намира стадият едро трошене. Осъществяването на този стадий [1,2,3,4,5,7] може да стане с три вида машини: челюстни, конусни или ударни трошачки. За всеки отделен случай, в зависимост от техническото задание, изборът, на машината за първично трошене се определя от много фактори. Към основните фактори се отнасят: производителността на технологичната линия, едрината и гранулометричния състав на крайния продукт, физико-механичните характеристики на изходния материал и капиталните вложения. Основен проблем, решаван от теорията на разрушаване на материалите, е да се намери взаимовръзката между силите и енергиите вложени за разрушаване на даден обем от материала и времето, вида и начина на разрушаването на този обем от материала. Научното направление „смилање на материали“ се занимава с взаимовръзките между зърно метричните характеристики на частиците, техните физикомеханични свойства, параметрите на смилащата машина и разхода на енергия за разрушаване на частиците.

На база на литературния обзор и на известните научни изследвания, експерименталните разработки и производствения опит, могат да се направят следните изводи:

1. Разглеждайки конструкциите на различните видове трошачки, може да се направи извод, че най-удачни за първи стадии "едро трошене" са челюстните трошачки поради техните предимства. В настоящия момент прилагането им е най-широко разпространено особено в обогатителната промишленост. Да са челюстни се обуславя от това, че могат да се използват за преработване на всякакъв вид материали, както слаби така и много здрави, висока производителност, проста конструкция и сигурна експлоатация. Относно схемата им на задвижване най-удачни са задвижванията с клиново-ремъчна предавка от електродвигател, като задвижваната ремъчна шайба служи като маховик. С нея и другия маховик се акумулира кинетична енергия, за по-равномерно натоварване на двигателя в процеса на трошене.

2. В световната практика се наблюдават следните тенденции свързани с проектирането и експлоатацията на челюстните трошачки: използване на трошачки със сложно движение на подвижната челюст, преместване на оста на подвижната челюст в централната зона на трошене.

3. В литературата съществуват три подхода за описание на процесите на разрушаване на материалите:

- феноменологичен – използват се якостни теории и методи за изследване на определени образци с правилна форма и хомогенна структура. Директното използване на резултатите от тези изследвания на разрушаването на крехките материали е невъзможно и неточно;

- физически – търси се вътрешния механизъм на разрушаването на крехките материали. Към тези методи се причислява теорията на Грифит, с която се обяснява началото на разрушаването на материала с неизбежните микро-пукнатини и концентрация на напреженията в тях. Многобройните изследвания показват, че при натиск развитието на пукнатината започва при напрежения, значително по-ниски от границата на разрушаване, като отношението между напрежението, необходимо за началото на разпространението на пукнатината и якостта на опън е близо до това отношение, което се предсказва чрез модифицираните теории на Грифит.

- емпирични закони на смилането, които дават зависимостта между вложената енергия за трошене и дисперсната на готовия продукт.

4. Съобразно съвременните теоретични постановки процесите, които протичат при трошенето са многообразни и взаимосвързани. Като особено важни могат да се посочат: възникването на пластични деформации, предизвикано от съвместното действие на тангенциални и нормални напрежения, структурни промени, агрегация и дезагрегация, абсорбционно намаляване на якостта, което се проявява при значителни пластични деформации.

5. Основно разрушаването на материалите в челюстните трошачки от конструктивни съображения и от стремеж да не се получи преразтрошаване в съвременните обогатителни фабрики се прилагат трошачки, работещи предимно на принципите смачкване и удар при частично застъпване на начините стриване, счупване и разцепване. Целесъобразно е едрото, средното и дребното трошене на здравите и твърдите, но крехки скали да се извършва чрез смачкване и огъване, а на твърдите, но жилави чрез смачкване, придружено с разцепване и стриване. Меките и крехки скали следва да се разтрошават главно чрез удар, а меките и жилави чрез разцепване.

6. При всички хипотези на трошене се предполага, че разтрошавания материал е хомогенен и едноименните якостни характеристики на скалните чистички във всички посоки са еднакви. Поради това хипотезите дават възможност предимно за качествена оценка на процеса трошене.

7. Определянето на разхода на енергия, за предопределянето на вътрешните сили на сцепление в рудните късове при разтрошаването им е една от главните задачи на теорията на трошенето. Отчитането на безкрайното многообразие от обекти и случайни фактори, които могат да окажат върху големината на силата, нужна за разтрошаването на къс е невъзможно.

8. Почти всички теории за разрушаване на материалите не отчитат ефекта от натрупването на дефектите в обработвания материал в процеса трошене.

9. В съществуващите литературни източници има информация за влиянието на един или друг фактор самостоятелно върху производителността или мощността на челюстните трошачки. Липсва информация за въздействието им едновременно.

10. Не съществува пълна информация за методите използвани при определянето на конструктивните параметри на съществуващите челюстни трошачки.

11. Съществуват много и различни методи за прогнозиране на техническото състояние на механичните обекти. По своята същност те могат да бъдат обединени в

три основни групи: чрез методите на екстраполацията, метод на разпознаване на отказите и математическо моделиране. Точността на прогнозирането може да бъде различна и зависи от сложността на изследвания процес или на приетия математически модел.

12. В литературните източници малко е засегнат въпросът за компютърно моделиране и изследване на този тип машини с цел оценка на предпазването им.

ГЛАВА II. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Целта на настоящият труд е чрез изследване на процеса на трошене на материали в челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст и създаване на математичен модел на процеса, да се определи влиянието на конструктивните параметри върху технологичните такива и покаже връзката между тях, както и да се избере подходящ технологичен режим при различни стойности на изпускателния отвор на машината.

Постигането на поставената цел е възможно, като се решат следните основни задачи:

Да се извършат изследвания в лабораторни условия на лабораторна челюстна трошачка:

да се изследва относителният енергоразход на трошачката;

да се изследва относителната производителност на трошачката.

Да се изследват параметрите на експлоатационната сигурност на трошачка тип CJ615/01 за условията на рудник „Челопеч“;

Създаване на математичен модел на процеса трошене в челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст.

Да се определи структурата на математичния модел на процеса на трошене на материали в челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст.

Статистически анализ на резултатите от измерванията.

Създаване на CAD модел на трошачка тип CJ615/01, на който да бъде направено симулационно моделно изследване.

На база на извършените изследвания, направените изводи и получените зърнометрични характеристики да се създаде теоретична основа за определяне на влиянието на конструктивните върху технологичните параметри на трошачката.

ГЛАВА III. ЛИНЕЕН СТРУКТУРЕН ДЕФОРМАЦИОННО-НАПРЕЖЕНОВ FE АНАЛИЗ НА CAD-CAE МОДЕЛ НА ЧЕЛЮСТНА ТРОШАЧКА CJ615:01

3.1. Въведение.

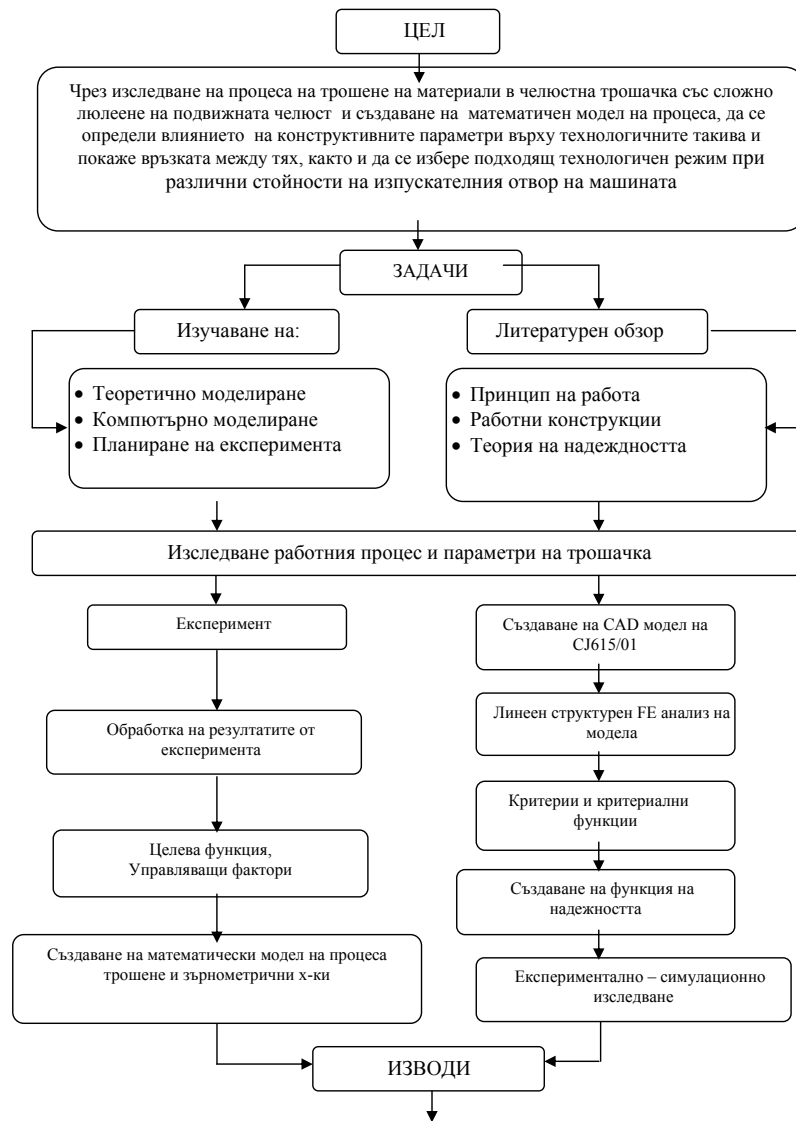
В тази глава са изложени резултатите от проведения структурен анализ на челюстна трошачка и на конструктивния възел (ексцентриков вал - подвижна челюст) на трошачката. Обект на изследването е реална високопроизводителна машина, част от трошачното отделение на рудник "Челопеч" разположен под земята. Направено е симулационно компютърно изследване на 3D-CAD модел и CAE - анализ. Чрез този метод могат да се прогнозира механичните повреди, експлоатационният срок и извършват конструктивни и др. промени с цел оптимизиране на механичното натоварване и повишаване на сигурността при работа.

Определянето на големината и разпределението деформациите и напреженията в конструкционните елементи от механични системи е особено важна инженерна задача. В много случаи нейното правилно решение може да подобри експлоатационната сигурност и времето на безаварийна работа на системата. В изследването са показани възможностите за извършване на линеен структурен анализ на обект от механична система с компютърно приложение на метода на крайните елементи (FEM). Програмната реализация на тридименсионната параметрична CAD-CAE система SolidWorks-COSMOS Works.

По време на процеса трошене върху елементите на челюстните трошачки въздействат много-големи механични натоварвания.

Анализът на технико - експлоатационните параметри на челюстна трошачка с тежки условия на работа и голяма производителност позволява да се обобщат следното:

1. Съществуват възможности за провеждане на изследване с цел установяване на причините, които пораждат механичните повреди в основните елементи на челюстните трошачки;
2. Целесъобразно е изследването да се осъществи чрез CAE-CAD моделно изследване на действителния обект.
3. Обектът трябва да бъде компютърен параметричен 3D-CAD модел, а работните инструменти - CAE програмни приложения за инженерен анализ чрез програмата Cosmos Works;
4. Компютърното изследване да бъде осъществено като линеен структурен анализ на деформационно - напреженовото състояние на обекта при адекватна картина на натоварване и ограничения на степените на свобода за най-тежките възможни работни режими.
5. Да бъде анализирана конструкцията на изследваните подвижна челюст и ексцентриков вал с цел подобряване на експлоатационния ресурс и намаляване на рисковите предпоставки за механични повреди.



Блок схема 2.1

Тук ще бъдат анализирани, разгледаните вече предпоставки за успешно провеждане на компютърното изследване и ще бъдат посочени целите и задачите на изследователския процес, както и характерните особености на изследвания обект.

Симулационният анализ е извършен на базата на специално създаден тримерен модел на челюстната трошачка със специализирания софтуер SolidWorks, като при изследването са пренебрегнати детайлите, които нямат отношение към здравината на конструкцията. Използван е метода на крайните елементи с помощта на програмният продукт COSMOS Works.

Крайна цел на това изследване е чрез инструментите на компютърното приложение на метода на крайните елементи (МКЕ) да се получи разпределението на деформациите и механичните напрежения във всички точки от обекта и чрез подходящ анализ, да се направят важни изводи относно възможностите за практическо подобряване на техникоексплоатационните параметри и сигурност на челюстните трошачки от този тип. Могат да бъдат посочени следните основни предпоставки за реализиране на тази цел:

- създаване на 3 дименсионен CAD – модел на челюстната трошачка;
- определяне на параметрите на работните режим, за които ще се извършва изследването;
- избор на подходяща приложна програма за инженерно CAE-изследване.

С изпълнението на други задачи, свързани с теоретико-експерименталното изследване на челюстните трошачки, бе прецизирана аналитичната изчислителна методика в следните области:

- уточняване на някои от основните параметри, като определяне на реакцията в ексцентриковия вал, определяне на средната стойност на силата на трошене, определяне на силата в лагера на разпорната плоча перпендикулярна на подвижната челюст.

С тази изчислителна методика в следващите раздели от работата е извършено аналитично определяне на параметрите на челюстната трошачка за най-неблагоприятни и тежки условия на работа по отношение на механичното натоварване, което понасят бабката и ексцентриковия вал. Чрез това компютърно програмно изчисление са получени стойностите на възможните най-големи механични натоварвания в ексцентриковия вал и бабката, които възникват в процес на работа.

Методиката на симулационното компютърно изследване се състои в провеждане на серия от компютърни симулации в среда на CAE-програмата COSMOS Works при дефиниране на граничните условия и натоварване за уточнените работни режими на натоварване и концентрация на механични повреди на челюстните трошачки. Такава е челюстната трошачка CJ615:01, която се експлоатира в трошачното на подземен рудник "Челопеч". Всички изчисления за натоварването на ексцентриковия вал и подвижната челюст са извършени в съответствие с прецизирания аналитичен алгоритъм за пресмятане на челюстни трошачки. Схематично съдържанието на разглежданата методика може да бъде представено така:

- Избор на обект и създаване на тримерен CAD-модел;
- Експертно и аналитично определяне на екстремалните параметри на механично натоварване за различни работни режими;
- Избор на програмната система за CAE – анализ, коректно дефиниране на граничните условия (степените на свобода) и натоварването и получаване на графичните и числени резултати, които характеризират деформационно - напреженовото състояние на изследвания обект;

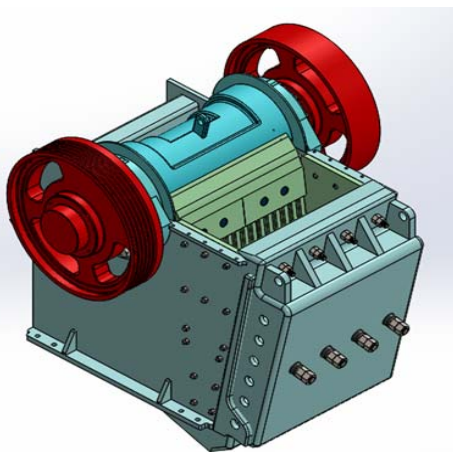
Анализ на резултатите с оглед на разпределението на екстремните стойности на напреженията, коефициента на сигурност (FOS), геометрията и топологията на детайлите, физикомеханичните параметри на използваните материали, параметрите на работните режими и др.

3.2. Компютърно моделиране на триизмерен CAD - модел на челюстна трошачка CJ615:01

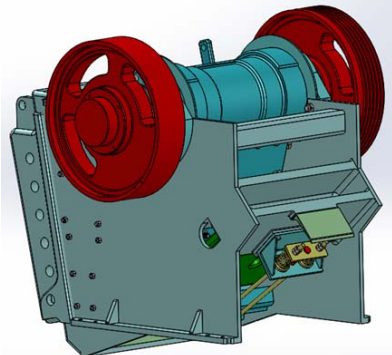
Тази задача е изпълнена като на базата на действителните геометрични и физикомеханични параметри на действителния обект се създаде тримерен компютърен модел в CAD формат. За целта са използвани инструментите на CAD програмата за 3D моделиране Solid Works [72]. Създаден е моделът на сглобената единица, който съдържа всички детайли, свързани помежду си в съответствие с технологията на изработване чрез разглобяеми или неразглобяеми съединения – пресови или такива със стягащи пръстени по нормите на DIN 7012.

На (фиг.3.1, фиг.3.2 и фиг.3.3) е показан CAD моделът на сглобената единица „челюстна трошачка“, който е изграден на базата на 3D моделите на детайли, създадени в същата програмна среда на Solid Works както следва:

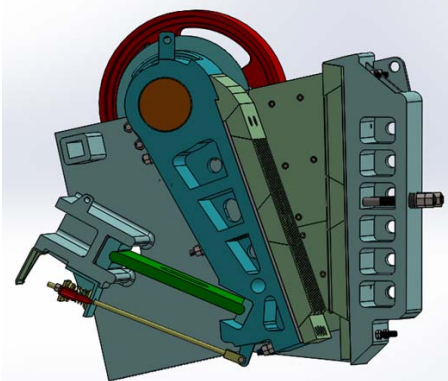
За дефиниране на физикомеханични параметри на отделните детайли е използвана както библиотечната база на програмата по стандартите на DIN, така и специално създадената база данни за материали по БДС 5785. Някои елементи като лабиринтните уплътнения са моделирани опростено, при точно спазване на монтажните размери и данните за физикомеханичните параметри.



Фиг.3.1. Челюстна трошачка изглед отпред



Фиг.3.2. Челюстна трошачка изглед отзад



Фиг.3.3. Челюстна трошачка разрез

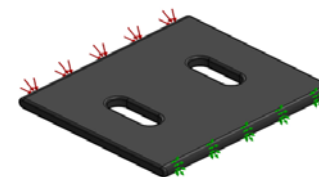
3.3. Граничните условия и натоварване на CAE -модела в програмната среда на COSMOS Works.

Задаването на граничните условия е втората стъпка при параметрирането на CAE изследването. В този случай характерните особености на процеса са следните:

1. При изследване на разпорната плоча на трошачката:

Разпорната плоча на трошачката е основен елемент и служи за затваряне на кинематичната верига на трошачката. Същевременно тя изпълнява ролята на предпазен елемент при екстремално натоварване породено от попадане на не трошим предмет в трошачното пространство. Силите, които възникват в този момент надвишават силата на трошене 15÷20 пъти, разпорната плоча е изработена със специални отвори благодарение на, които се чупи и предпазва другите елементи на трошачката. Тя е изработена от сферографитен чугун, като се лагерува със своите сферични краища в специално изработените клинове на бабката и рамата.

При изследването на модела на разпорната плоча е наложено ограничение по сферичната повърхност в единия край на плочата с ограничението Fixed Hinge. На другата сферична повърхност е наложена съсредоточената сила, която е определена аналитично фиг. 3.4.



Фиг.3.4. Сили и опорни реакции на разпорната плоча

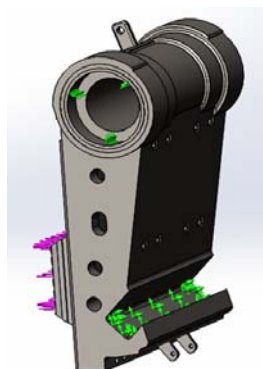
Направено е изследване на разпорната плоча при попадане на нетрошим предмет, когато силата на трошене се увеличава до 20 пъти.

2. При изследване на подвижната челюст на трошачката:

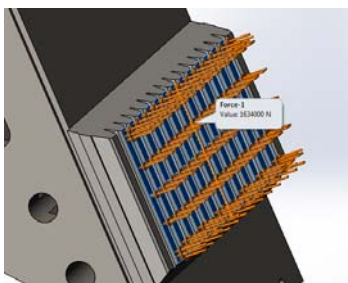
При определяне на силите действащи върху подвижната челюст. Тя се разглежда като греда на две опори. За да се пресъздадат реалните условия на натоварване на подвижната челюст при статичният ѝ анализ. Зададени са ограничения за неподвижност Fixed в лагерните легла на ролковите лагери и леглото където ляга клина на разпорната плоча както е показано на фиг. 3.5.

За да се пресъздадат реалните условия на натоварване на подвижната челюст е създаден assembly модел на подвижната челюст с монтирани върху нея износваща плоча и долната отбивна плоча. Тя е разположена на разстояние около една трета от долния край на бабката където се смята, че действа средната сила на трошене. Натоварил съм я със силата Force 1 с големина фиг. 3.6, която представлява средната сила на трошене изчислена за трошачката.

Направено е и статично изследване на трошачката при попадане на нетрошим предмет в зоната на трошене и неправилно избрана разпорна плоча, която не се чупи при екстремното натоварване. Максималната сила на трошене надхвърля 20 пъти средната сила на трошене.



Фиг. 3.5. Сили и опорни реакции на разпорната плоча



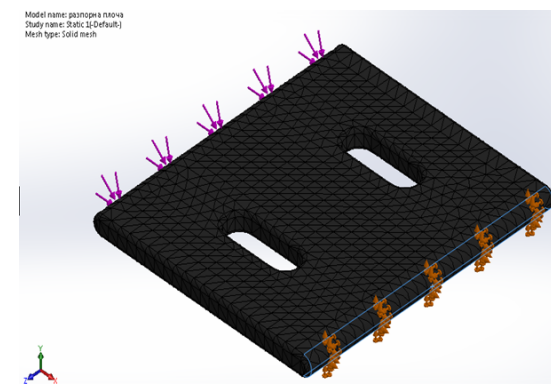
Фиг. 3.6. Сили в отбивната плоча

3.4. Резултати и анализ от проведения структурен линейен анализ на основните елементи на челюстната трошачка.

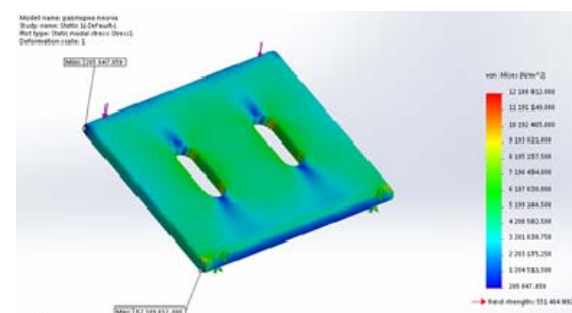
Методът на крайните елементи (FEA анализ) представлява числен метод за оценка на инженерните решения. За целта изработеният примерен модел се разделя на малки части от прости по форма елементи, свързани помежду си с общи точки (възли). Методът определя поведението на модела като комбинира информацията, получена от всички образуващи елементи.

Замрежването (дискретизацията) на модела е една от най-важните стъпки от изследването. Големият брой елементи предполага по-висока точност на резултатите, но също така увеличава продължителността на изчислителния процес. Обратно при малък брой крайни елементи изчислителното време намалява, но това е предпоставка за грешки при построяването на мрежата и по-неточни резултати.

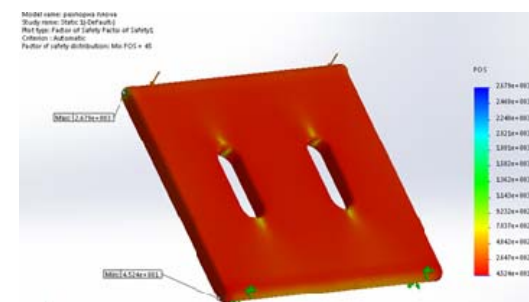
На фиг. 3.7 е показан моделът на разпорната плоча след дискретизация, а на фигури 3.8 диаграмите на напреженията при нормално натоварване на разпорната плоча и фиг.3.9 разпределение на фактора на сигурност в разпорната плоча.



Фиг. 3.7. Дискретизация на модела на разпорната плоча

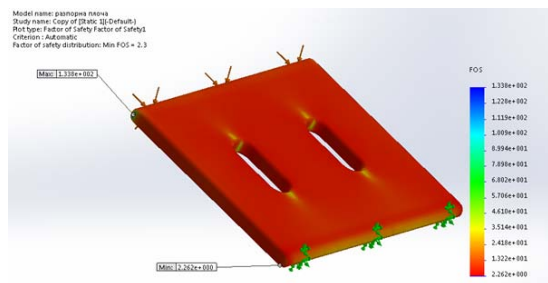


Фиг. 3.8. Разпределение на еквивалентни напрежения в разпорната плоча



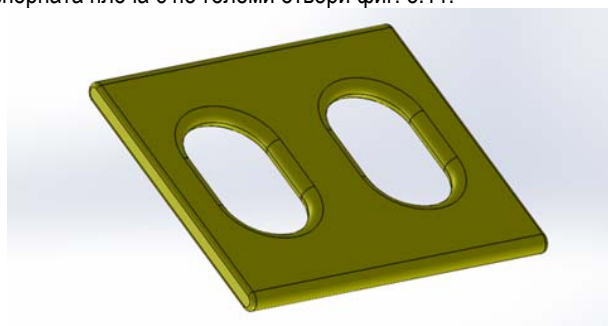
Фиг. 3.9. Разпределение на фактора на сигурност в разпорната плоча

На фиг. 3.10 са показани диаграмите на фактора на сигурност при екстремно натоварване на разпорната плоча.



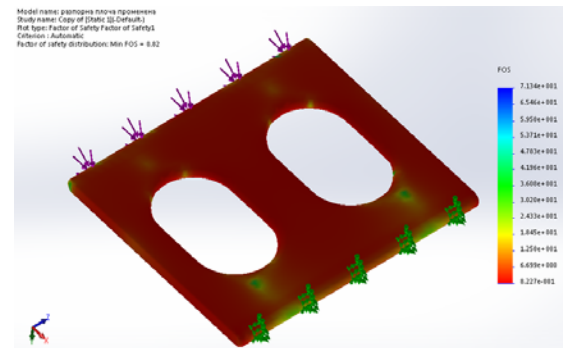
Фиг. 3.10. Разпределение на фактора на сигурност в разпорната плоча при екстремно натоварване

От резултатите се вижда, че разпорната плоча е преоразмерена поради, което е направено конструктивни промени в разпорната плоча. Направил съм един нов модел на разпорната плоча с по-големи отвори фиг. 3.11.



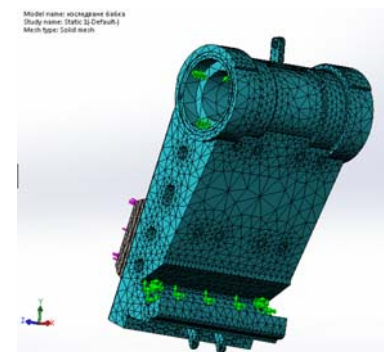
Фиг.3.11. Разпорна плоча с по-големи отвори

На фиг. 3.12 е показано разпределението на фактора на сигурност в разпорната плоча при екстремно натоварване на разпорната плоча с по-големи отвори.

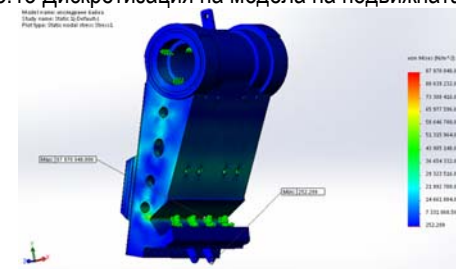


Фиг. 3.12. Разпределение на фактора на сигурност в разпорната плоча с по-големи отвори при екстремно натоварване

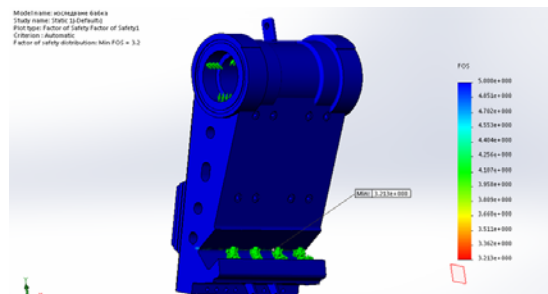
На фиг. 3.13 е показан моделът на подвижната челюст след дискретизация, а на фигури 3.14 и 3.15 диаграмите на напреженията при нормално натоварване на разпорната плоча.



Фиг. 3.13 Дискретизация на модела на подвижната челюст

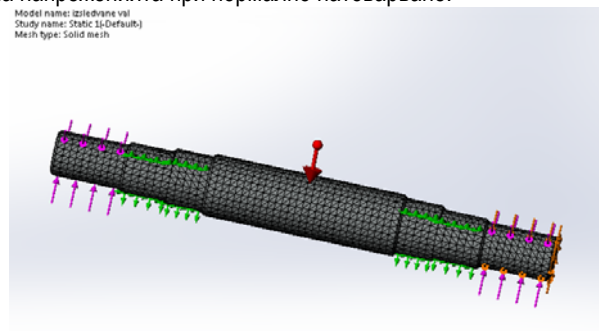


Фиг. 3.14. Разпределение на еквивалентни напрежения в подвижната челюст

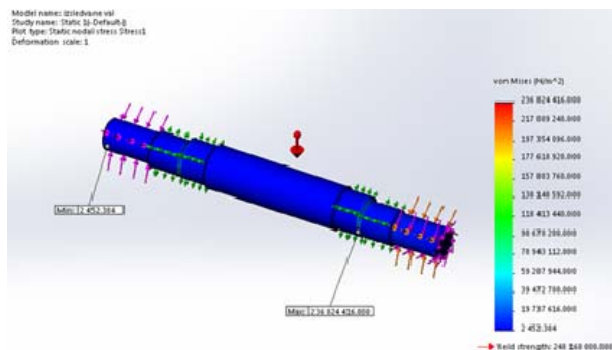


Фиг. 3.15. Разпределение на фактора на сигурност в подвижната челюст

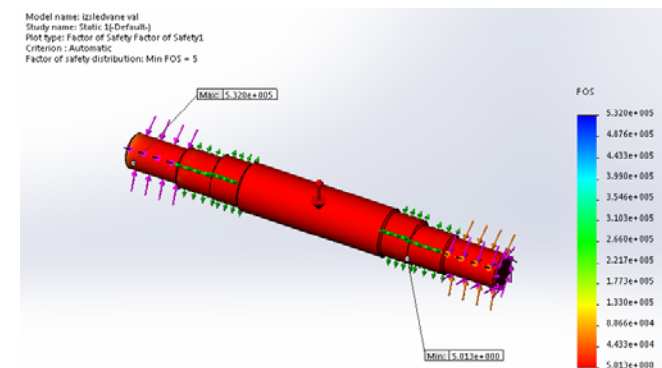
На фиг. 3.16 е показан моделът на вала след дискретизация, а на фигури 3.17 и 3.18 диаграмите на напреженията при нормално натоварване.



Фиг. 3.16. Дискретизация на модела на ексцентриковия вал



Фиг.3.17. Разпределение на еквивалентните напрежения във вала



Фиг. 3.18. Разпределение на фактора на сигурност във вала при нормално натоварване

3.5. Изводи

Относно резултатите от стимулационния анализ на подвижната челюст, ексцентриковия вал, разпорната плоча и целия възел като цяло могат да се направят следните изводи:

1. От фигурите и диаграмите на напреженията в ексцентриковия вал става ясно, че максималната стойност на напреженията от 23MPa се намират при прехода между двете ексцентрикови шийки (фиг. 3.41), където е получен и минималния фактор на сигурност (фиг. 3.42).

2. От фигурите и диаграмите на напреженията в подвижната челюст става ясно, че максималната стойност на напреженията от 87MPa се намират при горното закръгление в леглото на клина на разпорната плоча (фиг. 3.35), където е получен и минималния фактор на сигурност (фиг. 3.36). FOSmin=3,2

3. От фигурите и диаграмите на напреженията в разпорната плоча става ясно, че максималната стойност на напреженията от 12MPa се намират в ръбът на края на разпорната плоча (фиг. 3.24), където е получен и минималния фактор на сигурност FOSmin=45 (фиг. 3.25), който е прекалено голям и поради това е конструирана още една разпорна плоча с по малък коефициент на сигурност. Този извод се потвърди и в практиката. През 2017г. се получи аварийна ситуация при която, шилото на къртачния чук попада в трошачното пространство. Вместо да се счупи или деформира разпорната плоча с което да бъде предпазена трошачката обаче, се късат шпилките свързващи машината с фундамента.

4. От фигурите и диаграмите на напреженията в разпорната плоча с уголемени отвори става ясно, че максималната стойност на напреженията от 16MPa се намират в ръбът на края на разпорната плоча (фиг. 3.30), където е отчетен и минималния фактор на сигурност (фиг. 3.31) при нормално натоварване и при екстремно натоварване (фиг. 3.33).

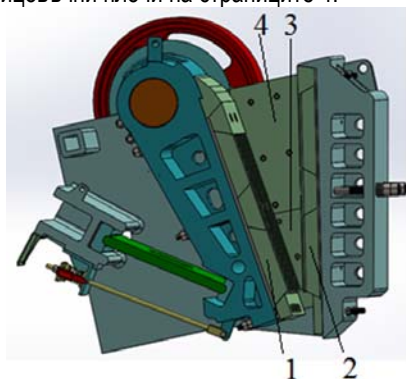
5. Анализът на резултатите от извършения линеен статичен анализ показва, че най-големите стойности на напреженията и деформациите не надхвърлят допустимите за конкретния случай на натоварване.

6. Анализът на резултатите от извършения линеен структурен статичен анализ показва, че най-големите стойности на напреженията и деформациите са много по – ниски от допустимите за конкретния случай на натоварване. Това води до извода, че трошачката спокойно може да бъде натоварена допълнително, ако е необходимо.

IV. ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА ЧЕЛЮСТНА ТРОШАЧКА ТИП CJ615:01

4.1. Определяне на параметрите на експлоатационната сигурност на трошачка тип CJ615:01

Изследваната челюстна трошачка е със сложно люлеене на подвижната челюст и работи при екстремални външни условия – висока влажност и температура под земята в условията на рудник „Челопеч“. На фиг.4.1 е показан разрез на 3D модела на машината, на който се виждат основните възли на трошачката. Основните елементи и възли които водят до престой (откази) на трошачката са: облицовка на подвижната челюст 1, облицовка на неподвижната челюст 2, долна облицовъчна плоча на лявата страница 3, съответно – долна облицовъчна плоча на дясната страница, горните облицовъчни плочи на страниците 4.



Фиг. 4.1. Основни възли водещи трошачката до неработоспособност

Това се обуславя от високата абразивност на рудата и относителното вертикално движение на подвижната челюст спрямо неподвижната водещо до стриване на материала в трошачното пространство, както и високото качество на проектиране и изработване на машината.

За да бъдат определени параметрите на експлоатационната сигурност на трошачката са събрани данни за всички откази настъпили при нейната експлоатация.

Като аргумент е избрано количеството преработена руда, даден елемент започва да работи при нулево количество преработена руда и след случайно количество спира да работи.

Като пример е показано (в автореферата) определянето на параметрите на експлоатационната сигурност на елемента долна дясна страница.

На таблица 4.1. са показани стойностите на преработената руда от трошачката при които тя е била в неработоспособност поради належаща смяна на облицовките на долната дясна страница. На таблица 4.2 са дадени обработените данни от таблица 4.1.

Табл.4.1. Статистически данни за долна дясна страница

№	Q, t	№	Q, t	№	Q, t	№	Q, t
1	741000	3	2398073	5	4077326	7	6020321
2	1653032	4	3279603	6	5149226		

Табл. 4.2. Обработка на данни за долна дясна страница

$\bar{X}$	f_i	P_i	C_i	$F_x(q)P_n = P_{n-1} + P_n$
ДО 225 хил. тон.	0	0	0	0
225 - 250	0	0	0	0
250 - 275	0	0	0	0
275 - 300	2	0,125	2	0,133333333
300 - 325	0	0	2	0,133333333
325 - 350	2	0,125	4	0,266666667
350 - 375	1	0,0625	5	0,333333333
375 - 400	1	0,0625	6	0,4
400 - 425	3	0,1875	9	0,6
425 - 450	2	0,125	11	0,733333333
450 - 475	2	0,125	13	0,866666667
475 - 500	0	0	13	0,866666667
500 - 525	1	0,0625	14	0,933333333
525 - 550	0	0	14	0,933333333
550 - 575	1	0,0625	15	1
575 - 600	0	0	15	1
над 600	0	0	15	1

Изчислените параметри от таблица 4.2 са следните:

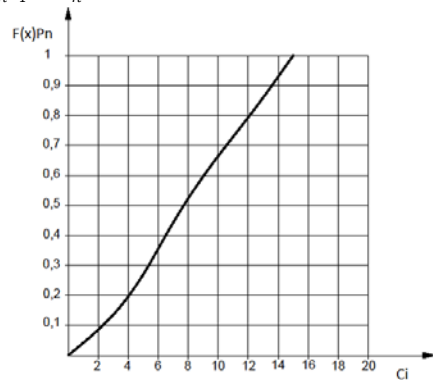
$\bar{X}$ - количеството преработена руда до отказ на облицовката на долна дясна страница;

f_i - честоти на отказите;

$P_i = \frac{f_i}{n}$ - вероятността в избрания интервал; $F_x(q)P_n$

$$C_i = \sum_{i=1}^n f_i - \text{комутативни честоти};$$

$$F_x(q)P_n = P_{n-1} + P_n - \text{функцията на разпределение на отказите (Фиг. 4.2);}$$



Фиг.4.2. Функция на разпределение на отказите за облицовката на долна дясна страница

$$\sum_{i=1}^n \overline{X_{\text{оддс}}} = 406967,333t \quad (4.1)$$

$$\lambda_{\text{оддс}} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overline{X_{\text{одлс}}}} = \frac{1}{406967,333} = 2,457199 * 10^{-6} \quad (4.2)$$

Където:

$\overline{X_{\text{оддс}}}$ е средната отработка до отказ за облицовката на долна дясна страница;

$\lambda_{\text{оддс}}$ е честота на отказите за облицовката на долна дясна страница;

Вероятността за безотказна работа на цялата трошачка за дадено количество преработена руда се определя от теоремата за умножение на вероятностите:

$$P_t(q) = e^{-q\lambda_1} . e^{-q\lambda_2} . e^{-q\lambda_3} . e^{-q\lambda_4} . e^{-q\lambda_5} . e^{-q\lambda_6} = e^{-q \sum_{k=1}^6 \lambda_k} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} P_t(q) &= e^{-q(5,787813*10^{-6}+1,357551*10^{-5}+2,457199*10^{-6}+1,155461*10^{-6})} = \\ &= e^{-q(2,543318*10^{-5})} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Вероятността за безотказна работа на цялата трошачка при 100000 тона преработена руда е равна на:

$$\begin{aligned} P_{t(100000)} &= e^{-100000 \left(\frac{5,787813*10^{-6}+1,357551*10^{-5}+2,457199*10^{-6}}{+2,457199*10^{-6}+1,155461*10^{-6}} \right)} = \\ &= e^{-100000(2,543318*10^{-5})} = 0,782 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Вероятността за безотказна работа на цялата трошачка при 500000 тона преработена руда е равна на:

$$\begin{aligned} P_{t(500000)} &= e^{-500000 \left(\frac{5,787813*10^{-6}+1,357551*10^{-5}+2,457199*10^{-6}}{+2,457199*10^{-6}+1,155461*10^{-6}} \right)} = \\ &= e^{-500000(2,543318*10^{-5})} = 0,280 \end{aligned} \quad (4.6)$$

Вероятността за безотказна работа на цялата трошачка при 1000000 тона преработена руда е равна на:

$$\begin{aligned} P_{t(1000000)} &= e^{-1000000 \left(\frac{5,787813*10^{-6}+1,357551*10^{-5}+2,457199*10^{-6}}{+2,457199*10^{-6}+1,155461*10^{-6}} \right)} = \\ &= e^{-1000000(2,543318*10^{-5})} = 0,078 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Вероятността за безотказна работа на цялата трошачка при средната отработка до отказ за разглежданите елементи $\sum_{i=1}^n \overline{X} = 165748,821$ тона преработена руда е равна на:

$$P_{t(165748,821)} = e^{-165748,821 \left(\frac{5.787813 \cdot 10^{-6} + 1.357551 \cdot 10^{-5} + 2.457199 \cdot 10^{-6}}{2.457199 \cdot 10^{-6} + 1.155461 \cdot 10^{-6}} \right)} =$$

$$= e^{-165748,821 (2.543318 \cdot 10^{-5})} = 0,656 \quad (4.8)$$

Функцията на разпределение на отказите за цялата трошачка е равна на:

$$F_x(q) = 1 - P_t(q) = 1 - e^{-\lambda q} \quad (4.9)$$

Функцията на разпределение на отказите за цялата трошачка при 100000 тона преработена руда е равна на:

$$F_x(100000) = 1 - 0,782 = 0,218 \quad (4.10)$$

Функцията на разпределение на отказите за цялата трошачка при 1000000 тона преработена руда е равна на:

$$F_x(1000000) = 1 - 0,078 = 0,922 \quad (4.11)$$

4.2. Изводи

1. Посредством методите на теорията на вероятностите и надеждността може да бъде описано поведението на машините за разкриване на минерални зърна (в случая челюстна трошачка) и да бъдат прогнозиран отказите и с цел планиране на необходимите резервни части и предстоящи ремонти.

2. От функцията на разпределение на отказите за цялата трошачка получен параметър може да бъде направен изводът, че вероятността трошачката да дефектира при годишната си преработката е около 92%. Всичко това води до изводът, че тази машина е сравнително надеждна и с високи параметри на експлоатационната сигурност и за година са необходими по 2 комплекта резервни облицовъчни плочи.

3. Като по-нататъшна задача могат да бъдат създадени евристични алгоритми и компютърни програми за анализиране и натрупване на данни, характеризиращи жизнения цикъл на машините и системите използвани в минната индустрия.

ГЛАВА V. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАБОТАТА НА ЛАБОРАТОРНА ЧЕЛЮСТНА ТРОШАЧКА СЪС СЛОЖНО ЛЮЛЕЕНЕ НА ПОДВИЖНАТА ЧЕЛЮСТ

5.1. Математически модел на процеса трошене в челюстна трошачка

5.1.1. Етапи на моделирането

Определянето на оптималния режим на работа на челюстна трошачка можем да оценяваме с различни критерий. Най-важният критерий за оптимален работен процес може да бъде формулиран по следният начин:

Да се конкретизират и установят стойностите на работните параметри на челюстната трошачка, спрямо който да бъде възможно да се осигури очакваната от потребителя производителност при изискваното качество на крайния продукт и то да бъде постигнато при минимални енергийни разходи. За да бъде удовлетворено това условие трябва да се определят законите за изменение на производителността, качеството на крайния продукт и разходът на енергия във функция от подходящо избрани представителни управляващи параметри на трошачката.

5.1.2. Избор на цел и целеви функции

Както бе посочено целта на настоящата работа е да се създаде математичен модел на процеса трошене в челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст, който да позволява да се отразяват основните явления, които протичат в нея. Създадения математичен модел може да обслужва проектирането и експлоатацията на машини от този тип.

За целеви функции са приети:

1. Производителност $q, d / s$ - по количество готова продукция за единица време.
2. Енергоразход за единица готов продукт - $E(Ws / g)$ - количеството разходвана електроенергия за производство на единица готов продукт.
- 3.

5.1.3. Избор на управляващи фактори

При избора на управляващи фактори [17,18,30] трябва да се имат в предвид някои изисквания, които определят и до голяма степен техния избор:

- Всеки управляващ фактор трябва да има определена област на определяне $(z_{\min}, z_{\max})$, в която да допуска еднозначно количество оценка т.е. да бъде контролируем.

- Факторите трябва да бъдат управляеми. Това изискване означава факторите да се установят и поддържат на различни нива в дефиниционната им област.

Факторите трябва да се измерват с възможно най-висока точност.

Като списък на управляващи фактори в настоящето изследване се посочват:

- ω – ъглова скорост на ексцентриковия вал на трошачката, rad / s ;
- i – степен на трошене;
- D – среден диаметър на постъпващите в трошачката късове, m ;
- b – широчина на изпускателния отвор на трошачката, m ;
- ρ – плътност на материала, който ще се троши, kg / m^3 .

5.2. Провеждане на експеримент с лабораторна челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст

В тази глава целта на проведеното изследване е да се опише с математически средства производителността и относителният енергоразход на челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст.

За да бъдат пренесени резултатите от изследване на лабораторна трошачка в трошачката - обект на дисертационния труд е необходимо да имаме подобие между тях. Поради това, че са подобни и следва да се направят измервания върху лабораторна машина (Фиг.5.1.).



Фиг. 5.1. Опитна постановка с лабораторна машина

Като управляващи фактори в изследването са определени възможните следни параметри:

1. D, mm – среден диаметър на постъпващите в трошачката късове. Този размер е среден за съответната класа избран и пресят предварително материал. Експериментите са правени с материали с размери показани в таблица 5.1. Те са съобразени с широчината на приемния отвор на лабораторната трошачка.

Табл. 5.1

Класа	D	Класа	D	Класа	D	Класа	D
+45-55	50	+35-45	40	+25-35	30	+15-25	20

2. Широчина на изпускателния отвор на трошачката - b, mm . Този параметър също е избран и съобразен съгласно размерите и възможностите на лабораторната машина и със стойности 6,8,12,16 и 20мм.

От целевите функции са направени измервания на производителността $q, g / s$. Тя е получена след измерване на времето за трошене на определено количество материал предварително претеглен с цифрова везна.

Друга изчислена целева функция е относителният енергоразход, $E, Ws / g$, който се получава като отношение на измерената посредством записващи ампер клеци среда мощност на двигателя на трошачката към производителността им за единица време.

Получените, резултати от измерванията са показани в таблици 5.2.

Като разгледаме внимателно параметрите измерени в показаната таблица можем да определим управляващи фактори и се вижда, че те се различават съществено от списъка приложен в глава 5.1.

Това се налага по следните причини:

1. Някои от параметрите не могат да бъдат променяни, затова за отстранени от списъка на управляващите фактори. Такива са ω - ъглова скорост на въртене на ексцентриковия вал.

2. Отпаднали са някои параметри от списъка на управляващите фактори поради изискването за уникалност. Това означава, че те са взаимосвързани и трябва да се представят от един фактор. Например i - степен на трошене на трошачката е свързан със средния диаметър на постъпващите в трошачката късове и широчина на изпускателния отвор на трошачката и поради това отпада от списъка.

Измерените параметри в таблица 5.2 са съответно:

- – среден диаметър на постъпващите в трошачката късове;
- – широчина на изпускателния отвор на трошачката;
- – тегло на разтрошаваното количество материал;
- – средна мощност на едната фаза на двигателя;
- – време за разтрошаване на пробата.

5.3. Обработка на резултатите от експеримента.

5.3.1. Изследване на относителният енергоразход на трошачката.

Първата изследвана целева функция е относителният енергоразход, който се получава като отношение на измерената мощност на двигателя на трошачката към производителността на трошачката по готов продукт за единица време.

Получените, резултати от измерванията получени при провеждането на експеримент с лабораторна трошачка са показани в таблици 5.2.

Табл.5.2.

№	D, mm	b, mm	M _{сум} , g	P ₁ , W	t, s
1	50	20	5975	0,69	16,37
2	50	16	6096	0,72	25,84
3	50	12	4026	0,63	23,42
4	50	8	2576	0,66	24,07
5	50	6	3602	0,69	35,6
6	40	20	5901	0,62	17,63
7	40	16	5947	0,7	22,59
8	40	12	5997	0,65	31,34
9	40	8	5916	0,7	39,99
10	40	6	6041	0,59	52,1
11	30	20	5967	0,78	14,14
12	30	16	5939	0,7	19,03
13	30	12	5903	0,64	24,04
14	30	8	5938	0,73	37,54
15	30	6	6070	0,58	54,2
16	30	20	5988	0,7	17,91
17	20	16	5920	0,74	15,3
18	20	12	5096	0,73	14,7
19	20	8	2596	0,62	29,65
20	20	6	5032	0,6	39,55
21	20	6	2569	0,56	37,33

Табл. 5.3.

D, mm	b, mm	E, kWs/g	q, g/s
50	20	0.00567128	364.9969
50	16	0.00915591	235.9133
50	12	0.01099449	171.9044
50	8	0.01191479	166.18
50	6	0.02045863	101.1798
40	20	0.00555699	334.7136
40	16	0.00797696	263.2581
40	12	0.0101906	191.3529
40	8	0.01419523	147.937
40	6	0.01526519	115.9501
30	20	0.0055451	421.9943
30	16	0.00672891	312.0862
30	12	0.00781921	245.5491
30	8	0.01384517	158.1779
30	6	0.01553674	111.9926
30	20	0.00628106	334.3384
20	16	0.0057375	386.9281
20	12	0.00631731	346.6667
20	8	0.01378799	134.9
20	6	0.01414746	127.2314
20	6	0.0156786	107.1524

Резултатите от експеримента са обработени статистически с програмата STATGRAPHICS, която е подходяща за научни изследвания. Изследвани са 10 модела като най-адекватен е модел М 5.6

Табл. 5.4. Параметри на модел М 5.6

Параметри	Стойност	Стандартна грешка	Т- статистика на Стюдънт		Р критерий
С	0.00283042	1.747*10 ⁻⁴	16.2005		0.0000
	Сума от квадрати на модела	Степени на свобода	Средно на квадрати на модела	F критерий	Значимост на F
Модел	2.554*10 ⁻³	1	0.00255424	262.46	0.0000
Остатък	1.946*10 ⁻⁴	20	9.73210 ⁻⁶		
Общо	0.00274888	21			
Коефициент на множествена корелация				92.9193%	
Коригиран коефициент на множествена корелация				92.9193%	
Стандартна грешка				0.00311962	
Средна абсолютна грешка				0.00230522	
Статистика на Дърбън- Отсън				0.654328	

Уравнението на модел М 5.6 без константа в натурални променливи изглежда по следния начин:

$$E = 2,8310^{-3} * \frac{D}{b}, \text{ kWh / t} \quad (5.1)$$

Изследване на производителността на трошачката, като резултатите са показани в таблица.

5.3.2. Изследване на производителността на трошачката

Производителността се пресмята по формулата:

$$q = \frac{M_{\text{сум.}}}{t}, \text{ g / s} \quad (5.2)$$

където:

q . - производителност на машината;

M_{сум.} - Сумарно количество натрошена руда g . Този параметър се измерва посредством електронна везна.

t - време за което е натрошена рудата, s.

Изследването започва със съставяне на матрица на Фишер №2 показана на таблица 5.5.

Табл. 5.5. Матрица на Фишер№2

	X_1	X_2	Y_2
№	D, mm	b, mm	q, g/s
1	50	20	364.997
2	50	16	235.913
3	50	12	171.904
4	50	8	166.18
5	50	6	101.180
6	40	20	334.714
7	40	16	263.258
8	40	12	191.353
9	40	8	147.937
10	40	6	115.950
11	30	20	421.994
12	30	16	312.086
13	30	12	245.549
14	30	8	158.178
15	30	6	111.993
16	30	20	334.338
17	20	16	386.928
18	20	12	346.667
19	20	8	134.900
20	20	6	127.231
21	20	6	107.152

Изследвани са 10 модела като най-адекватен е модел М 5.18

Табл. 5.6. Параметри на модел М5.18.

Параметри	Стойност	Стандартна грешка	Т- статистика на Стюдънт		Р критерий
b	26.4465	2.05081	12,8957		0.0000
D*b	-0.215449	0.0548965	-3.92465		0.0009
	<i>Сума от квадрати на модела</i>	<i>Степени на свобода</i>	<i>Среднона квадрати на модела</i>	<i>F критерий</i>	<i>Значимост на F</i>
Модел	1,288986	2	644489	570.57	0.0000
Остатък	21461	19	1129.53		
Общо	1,310446	21			
Коефициент на множествена корелация				98,3623 %	
Коригиран коефициент на множествена корелация				98.2761 %	
Стандартна грешка				33.6085	
Средна абсолютна грешка				24.2421	
Статистика на Дърбън - Отсън				2.04736	

Уравнението на модел М5.18. в натурални променливи изглежда по следния начин:

$$q = 26.4465 \cdot b - 0.215449 \cdot D \cdot b, g / s \quad (5.3)$$

Стойността на показателя на доверителна вероятност (Р-критерий=0) за модела е под критичната 0,05, коефициентът на множествена корелация R^2 е 98,36%, а коригираният коефициент на множествена корелация $R^2(adj)$ е 98.27%.

Следователно може да се приеме, че моделът е адекватен.

5.3.3. Зърнометрични характеристики

След приключването на експеримента за установяване на зърнометричния състав на натрошената руда се прилага ситовият анализ.

Методите за извършване на ситови анализи са унифицирани. Взема се представителна проба от материала, която се подлага на пресяване през сита с различни отвори, подредени по степента на намаляване на отворите им.

За лабораторни анализи се използват сита с плетени пресевни с квадратни отвори. Последователният от големините на отворите на ситата в даден комплект се нарича скала на пресяването. Размерите на отворите на ситата в комплекта не са произволни, а са членове на геометрична прогресия, частното на която се нарича модул на скалата.

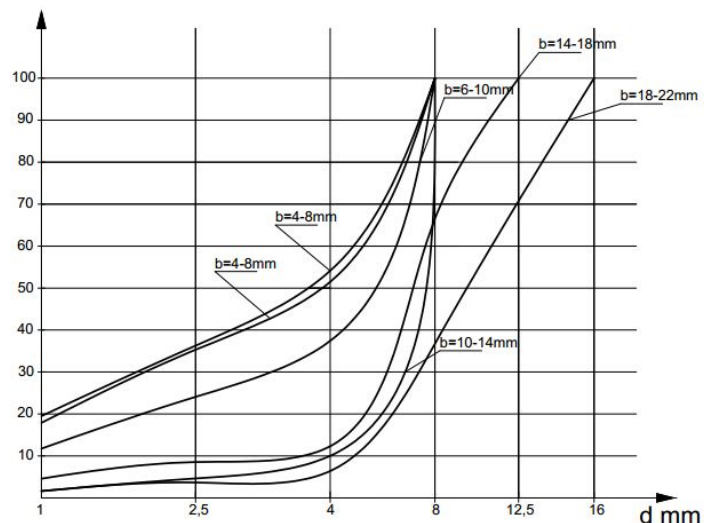
Резултатите от ситовия анализ са нанесени табл. 5.7. Въз основа на данните от таблиците се строят зърнометрични характеристики, които представляват графична форма на зърнометричния състав на насипната смес. Зърнометричните характеристики са частни и сумарни.

Табл. 5.7.

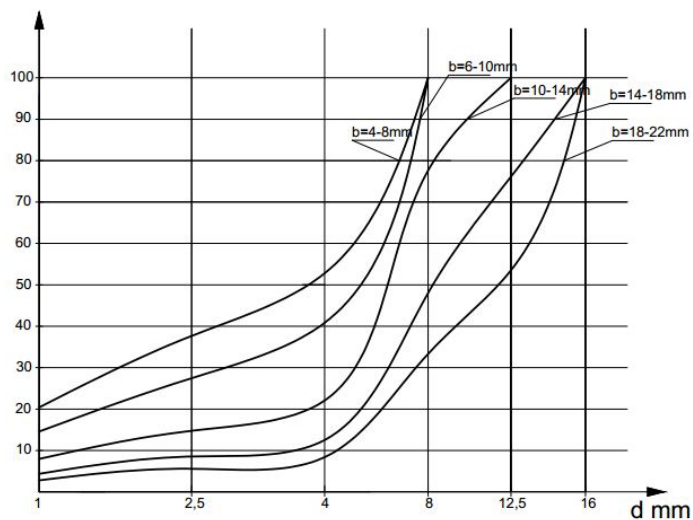
№	D, mm	b, mm	M сум, g	m-1, g	m 1-2,5, g	m 2,5-4, g	m 4-8, g	m 8-12,5, g	m 12,5-16, g	m 16+, g
1	50	20	5975	352	308	278	719	891	948	2479
2	50	16	6096	408	355	352	953	1239	1575	1214
3	50	12	4026	321	273	294	727	1376	825	210
4	50	8	2576	342	325	287	849	773	0	0
5	50	6	3602	685	574	551	1447	345	0	0
6	40	20	5901	265	230	217	607	776	1019	2787
7	40	16	5947	350	323	315	812	1400	1523	1224
8	40	12	5997	410	376	388	1093	2145	1585	0
9	40	8	5916	917	901	675	1853	1570	0	0
10	40	6	6041	1233	963	850	1540	1455	0	0
11	30	20	5967	166	167	167	545	944	1204	2774
12	30	16	5939	259	248	236	788	1323	1662	1423
13	30	12	5903	439	400	442	1320	1981	1321	0
14	30	8	5938	866	764	794	2138	1376	0	0
15	30	6	6070	1237	1049	918	2459	407	0	0
16	30	20	5988	275	240	223	614	845	1202	2589
17	20	16	5920	97	118	164	1156	2399	1986	0
18	20	12	5096	89	147	282	1658	2920	0	0
19	20	8	2596	305	320	346	1093	532	0	0
20	20	6	5032	982	844	764	2189	253	0	0
21	20	6	2569	459	449	482	1044	135	0	0

Частната характеристика се строи, като по абцисната ос се нанасят размерите на отворите на ситата, а по ординатната ос - частният добив на съответните класове в проценти.

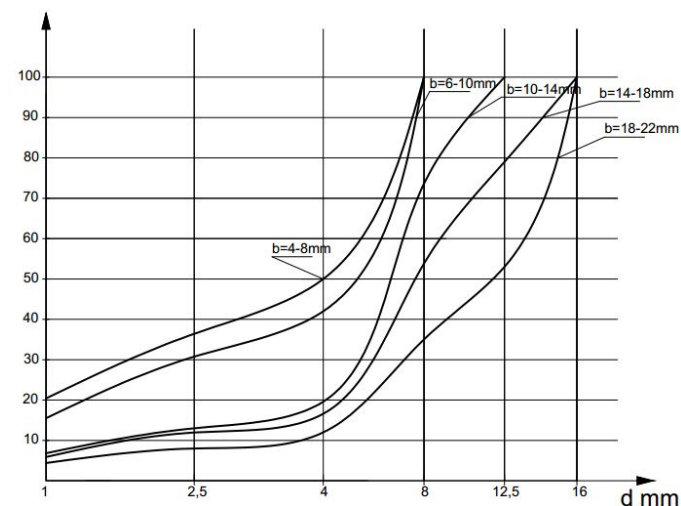
На фиг.5.2., фиг.5.3., фиг.5.4. и фиг.5.5. са показани сумарните зърнометрични характеристики получени след обработка на данните от зърнометричната характеристика, като са разделени по едрина на входящият продукт, съответно 20mm, 30mm, 40mm и 50mm.



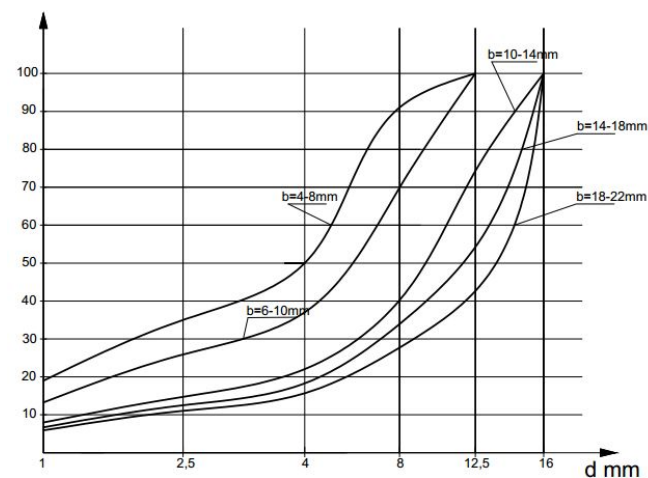
Фиг.5.2. Зърнометрични криви при D=20mm



Фиг.5.3. Зърнометрични криви при D=30mm



Фиг.5.4. Зърнометрични криви при D=40mm



Фиг.5.5. Зърнометрични криви при D=50mm

5.4. Изводи

5.4.1. Получените резултати от измерванията и статистическия анализ на относителния енергоразход на трошачката показват следното:

- относителният енергоразход се влияе в най - голяма степен от два параметъра, а именно от едрината на постъпващите късове и широчината на изпускателния отвор на трошачката;
- при увеличаване на едрината на постъпващите късове се повишава и относителният енергоразход на машината, което най-вероятно се дължи на това, че при

по-едър материал се увеличава и степента на трошене което повишава мощността за раздробяване на материала;

— при повишаване на широчината на изпускателния отвор на трошачката се намалява относителният енергоразход, което вероятно се дължи на това, че по-едър материал на изхода на машината означава ниска степен на трошене и по голяма производителност, която е в знаменателя на енергоразхода;

5.4.2. Получените резултати от измерванията и статистическия анализ на производителността на трошачката показват следното:

— производителността се влияе в голяма степен от същите два параметъра, а именно от едрината на постъпващите късове и широчината на изпускателния отвор на трошачката;

— повишаването на широчината на изпускателния отвор на трошачката води до нарастване на производителността на машината вероятно поради фактът, че намалява времето за разтоварване на трошачната камера;

— увеличаването на едрината на постъпващите късове постъпващи в машината води до намаляването на производителността, което вероятно се дължи на фактът, че се повишава времето за разтоварване на трошачната камера;

5.4.3. Получените сумарни зърнометрични характеристики показват, че с увеличаване на широчината на изпускателния отвор на машината кривите се изместват на дясно или се потвърждават направените до момента изводи.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ГЛАВА VI. ПРИНОСИ, ПУБЛИКАЦИИ И БЪДЕЩИ ЗАДАЧИ

6.1. Научно-приложни приноси

1. Въз основа на експерименталните данни от експеримент е предложен нов математичен модел на процеса трошене в челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст.

2. Изведени са нови аналитични зависимости за целевите фулеене върху функции относителен енергоразход, производителност по готов продукт при трошене в челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст.

3. Изведени са нови аналитични зависимости за функцията на надеждността на челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст работеща в рудник „Челопеч“.

5. Създадена е методика за симулационно компютърно изследване на 3D модел на челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст работеща в рудник „Челопеч“.

6.2. Приложни приноси на дисертационния труд

1. Създаден е три размерен пространствен компютърен модел на челюстна трошачка със сложно люлеене на подвижната челюст работеща в рудник „Челопеч“, посредством който могат да бъдат реализирани симулационни изследвания.

2. Резултатите от проведените съгласно целите и задачите на настоящата дисертация изследвания са внедрени за определяне необходимия брой резервни части на трошачката в „Дънди Прешъс Металс Челопеч“-АД. Същите са приложени и в учебния процес за обучение на студенти по дисциплина „Технология на ремонта“.

6.3. Перспективи и направления за бъдещи изследвания по основната цел на дисертационния труд

1. Чрез използвания лабораторен образец на трошачката да се проведе активен факторен експеримент включващ нови управляващи фактори като честота на люлеене на подвижната челюст.

2. Адаптиране на създадената методика за избор на конструктивните параметри на трошачката и към други конструкции (с просто люлеене на подвижната челюст).

3. Разширяване областта на приложение на създадената методика за определяне на функцията на надеждността и прилагането им в практиката.

6.4. Публикации по дисертационния труд

1. Митев Д., „Симулационно моделиране и изследване на ексцентриковия вал и подвижна челюст на челюстна трошачка тип CJ615:01”, Българско списание за инженерно проектиране ISSN 1313-7530, ТУ – София, брой 1, Януари 2017.

2. Минин И., Митев Д., „Определяне на функцията на надеждността и вероятността за безотказна работа на челюстна трошачка тип CJ615:01“. Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“, Свитък III, Том 60, София, 2017г.

3. Митев Д., „Симулационно моделиране и изследване на разпорната плоча на челюстна трошачка тип CJ615:01”, Българско списание за инженерно проектиране ISSN 1313-7530, ТУ – София, брой 1, 2018г.

4. Минин И., Митев Д., „Определяне на влиянието на едрината на постъпващия продукт и широчината на изпускателния отвор на челюстна трошачка със сложно люлеене върху производителността и“. Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“, 2018. Дадена за печат.

Литература

1. Акерман Ю, Г Букаты, В Олевский и др., „Справочник по обогащению руд“, Москва, Недра, 1982г.

2. Клебанов О Б, Шубов Л Я и др., „Справочник технолога по обогащению руд цветных металлов“. Москва, Недра, 1974г.

3. Олевский В А., „Размольное оборудование обогатительных фабрик“, Москва, Госгортехиздат, 1963г.

4. Шинкаренко Е П., „Справочник по обогащению руд черных металлов“, Москва, Недра, 1980г.

5. Андреев С Е. „Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых“. Москва, Недра, 1980г.

6. Цветков К., „Изследване на технологични и експлоатационни показатели на конусни трошачки с хидростатично поддържане на подвижния конус, работещи в „Елаците мед“-АД, София, 2003г. –дисертация.

7. Румф, Н., „Трети Европейски колоквиум въпросите на раздробяването“, Хага, 1971г.

8. Ананьев, И.В. и др., „Динамика конструкций летательных аппаратов“, Москва, Машиностроение, 1972г.

9. Асатурян В. Н., „Теория планирования эксперимента“ Москва, Радио и связь, 1983г.

10. Барский Л.А., Рубинтеин Ю.Б., „Кибернетические методы в обогащении ползучих ископаемых“, Москва, Машиноведение, 1972г.

11. Божанов Емил С., Иван Н. Вучков, „Статистически методи за моделиране и оптимизиране на многофакторни обекти“, София, Техника, 1973 г.

12. Божанов Емил С., Иван Н. Вучков, „Статистически решения в производството и научните изследвания“, София, Техника, 1979г.

13. Бродский, В.З., „Введение в факторное планирование эксперимента“, Москва, Наука, 1976г.

14. Бродский, В.З., „Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей“, Москва, Металлургия, 1982г.

15. Величкова, В.А., И.В. Кацарска, „Приложение на регресионния и корелационния анализ при моделиране на икономически процеси“, София, Техника, 1975г.

16. Венников, В.А., „Теория подобия и моделирования“, Москва, Высшая школа, 1976г.

17. Вучков, И.А., и др., „Ръководство за лабораторни упражнения по математическо моделиране и оптимизация на технологични обекти“, София, Техника, 1984г.

18. Вучков, И.А., С.К. Стоянов, „Математическо моделиране и оптимизация на технологични обекти“, София, Техника, 1980г.

19. К.Д.Димитров, Д.И.Данчев, Надеждност на строителни машини и системи. Техника, София, 1994.

20. Димова, В.С., „Ръководство по статистическа обработка на опитни данни“, София, ВМЕИ, 1979г.

21. Минин И. „Техника и технологии за обогатяване на полезни изкопаеми – I част“, Учебник, „Авангард Прима“, София, 2012г.
22. Минин И., „Методика при създаване на критерии за подобие на машините за разкриване на минералните зърна“, Българско списание за инженерно проектиране, бр.13, ТУ – София, 2012г.
23. А.Н.Колмогоров, И.Г.Журбенко, А.В.Прохоров, Введение в теорию вероятностей. Москва, Наука, 1982.
24. Налимов, В.В., И.А. Чернова, „Статистические методы планирования экспериментов“, Москва, Наука, 1965г.
25. Н.Обрешков, Теория на вероятностите. Наука и изкуство, София, 1963.
26. Острайковский, В.А., „Многофакторные испытания на надежность“, Москва, Энергия, 1978г.
27. Протодьяконов, М.М. и др., „Методика рационального планирования эксперимента“, Москва, Мир, 1975г.
28. Румшинский, Л.З., „Математическая обработка результатов эксперимента“, Ленинград, 1976г.
29. Стоянов А., „Изследване движението на механична система с две степени на свобода в матрична форма“, Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“, Свитък III, Том 59, София, 2016г.
30. Шефе Г., „Дисперсионный анализ“, Москва, Наука, 1980 г.
31. Цветков Х., „Обогатителни машини“, Техника, 1976 г.
32. Шоуп, Т.Е., „Наръчник по изчислителни методи за инженера“, София, Техника, 1983г.
33. Дамянов Ц., Компютърно моделиране на механични системи, МГУ, 2009г.
34. C.F. Jeff Wu, Michael Hamada, „Experiments; Planning, Analysis and parameter design optimization“, Wiley, 2000.
35. Недялков Петко Николов, „Динамично моделиране и изследване на работния процес и параметри на вертикална вибро-импулсна мелница“, Дисертация, ТУ – София 2009г.
36. Broek D. „The practical use of fracture mechanics“. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands 1988.
37. R.E.Barlow, F Proschan, Mathematical Theory of Reliability. SIAM, Philadelphia, 1996.
38. Rumberger, M., „Zur Beurteilung von Vorgängen in einer Schwingmühl Glückauf“, Forschungsh, 1971, 32, №1, s. 1-11.
39. Kiskalt, Bachman – Aufbereitungstechnik-2/61/10/419-421;
40. Rumpf, E., „Darstellung von Kornverteilungen und Berechnung der Spezifischen Oberfläche“, Chemie-Ingenieur Technik, 1971, s.32.
41. W.Feller, An Introduction to Probability Theory and its Applications. J.Wiley & Sons, New York, 1970. V.1, v.2.
42. Интернет: