

МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. ИВАН РИЛСКИ“ – СОФИЯ
МИННО-ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧЕН ФАКУЛТЕТ
Катедра „Механизация на мините“

маг. инж. Николай Стоянов Динев

ИЗСЛЕДВАНЕ И ПОДОБРЯВАНЕ НА
КОНСТРУКЦИЯТА НА КОФАТА НА
РОТОРЕН БАГЕР SRS 4000

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен

„ДОКТОР“

професионално направление 5.8. „Проучване, добив и обработка
на полезни изкопаеми“,
научна специалност – „Механизация на мините“

Научни ръководители:

Проф. д-р Вяра Пожидаева
Доц. д-р Христо Шейретов

Рецензенти:

Проф. д-р Никола Борисов Мърхов
Проф. д-р Матей Навинов Матеев
Доц. д-р Мара Крумова Кандева - Иванова

СОФИЯ, 2016

Дисертационният труд е в обем 137 страници, съдържащи текст, 64 фигури, 2 таблици, списък с използваните 54 литературни източници и 3 приложения в обем от 37 страници, съдържащи 25 фигури и 19 таблици.

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита на разширен катедрен съвет на катедра „Механизация на мините” при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски” – София, състоял се на 10.11.2016 г. – с протокол № 3.

Докторантът работи като инженер конструктор в ОП „Механооборудване“ на „Мини Марица-Изток“ ЕАД.

Номерацията на таблиците и фигурите в автореферата съответства на номерацията в дисертационния труд.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 14.03.2017 г. от 10.00 часа в лаборатория № 22 на Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски” – София, на открито заседание на научното жури в състав:

1. Доц. д-р Кристиан Христов Цветков
2. Доц. д-р Христо Константинов Шейретов
3. Проф. д-р Никола Борисов Мърхов
4. Проф. д-р Матей Навинов Матеев
5. Доц. д-р Мара Крумова Кандева - Иванова

Материалите по защитата (дисертации и рецензии) са на разположение на интересувашите се в сектор „Следдипломна квалификация“ на Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски” – София.

Автор: Николай Стоянов Динев

Заглавие: „Изследване и подобряване на конструкцията на кофата на роторен багер SRs 4000“.

Печат: Издателска къща „Св. Иван Рилски“ МГУ-НИС, София

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Въвеждането в експлоатация на багер SRs 4000, който има по-голяма производителност и по-голяма режеща сила на работния орган, има за цел да се подобри изкопаването на откривните скали в хоризонти с наличие на твърди включения, където по-малките багери като SchRs 1200 и SRs 2000 срещат затруднения.

Поради значително по-големите размери на кофите в сравнение с тези на SchRs 1200 и SRs 2000 при работа в забой с едри твърди включения или пластовидни, се откъсват негабарити, които кофите поемат и подават в транспортните ГЛТ на багера, забоя и магистралните ГЛТ.

Повредите по ГЛТ се оказаха много сериозен проблем. Те предизвикваха спиране на комплекса - багер, ГЛТ, насипообразувател и големи загуби.

Незадоволителната работа на използваната в момента кофа в забой и твърди включения е причина техническият съвет към „Мини Марица-Изток“ ЕАД да вземе решение и да възложи проектиране и конструиране на нова кофа, съобразена с конкретните условия.

Цел и задачи на работата

Цел:

Създаване на кофа, която да раздробява твърдите включения на късове с допустимата за ГЛТ големина.

Задачи:

1. Преглед на съществуващите конструктивни разработки и избор на подходяща за целта конструкция.
2. Създаване на кофа, която да осигурява следните изисквания:
 - 2.1. Да осигурява раздробяване на твърдите включения.
 - 2.2. Да запази производителността на багера.
 - 2.3. Да се запази консумираната мощност на копаене.
 - 2.4. Да се облекчи натоварването на механизма на въртене на горния строеж на багера.

Практическа приложимост:

Разработената като идеен и работен проект кофа, ще се ползва в реални условия на багер SRs 4000 в р-к „Трояново -1“ на „Мини Марица-Изток“ ЕАД.

При нейната експлоатация се очаква:

Намаляване на негабаритните късове материали, възможност за работа в откривни скали с твърди включения, намаляване на натоварването на механизма за въртене на горният строеж и на неговото задвижване, на металоконструкцията на роторната стрела, намаляване на консумираната мощност на копаене, а от там и разходът на електроенергия.

Изработването на новата кофа не е по-сложно от изработването на старата и, следователно, няма да бъде по-скъпа.

Методи за изследване:

За якостното оразмеряване на кофата са ползвани два метода:

- По класическите методи на науката съпротивление на материалите;
- По метода на крайните елементи.

Публикации (брой и класификация).

Основните резултати от дисертационния труд са представени в 4 публикации, като три от тях са докладвани на Международни научни сесии 2015 и 2016 на МГУ „Св. Иван Рилски” – София, една е публикувана в научно списание „Геология и минерални ресурси“.

Обем и структура на дисертацията

Дисертационният труд е структуриран в увод, пет глави, претенции за приноси, публикации на автора по дисертационния труд, използвана литература и три приложения.

Увод:

Откритият добив на полезни изкопаеми позволява използването на мощни машини и съоръжения, с което се постига значително увеличаване на производителността на труда и намаляване на себестойността на продукцията.

Строителството на откритите рудници се извършва много по-бързо и с по-малко капиталовложения отколкото при подземен добив.

Откритите минни работи са свързани с изкопаване, транспортиране и насипване на огромни количества откритка и полезно изкопаемо.

Необходимо е също да се отбележи, че машините, влизащи в състава на комплексите - земекопни, транспортни и насипищни, най-често не са конструирани и изработени за конкретното находище. Много често се налага те да бъдат реконструирани и приспособявани към конкретните минни и геоложки условия на находищата.

Правят се много изследвания за определяне на геологията, физико-механичните и химични свойства на откривните скали и възлищата, както и многобройни подобрения на работния процес на багерите, ГТЛ и насипообразувателите.

Само работните органи на роторните багери – роторно колело, кофи и зъби са претърпявали десетки реконструкции.

Тези машини трябва да се поддържат и модернизират, за да се приспособят по-добре към разнообразните и сложни минни и геоложки особености на Източно-Маришкото възлищно находище.

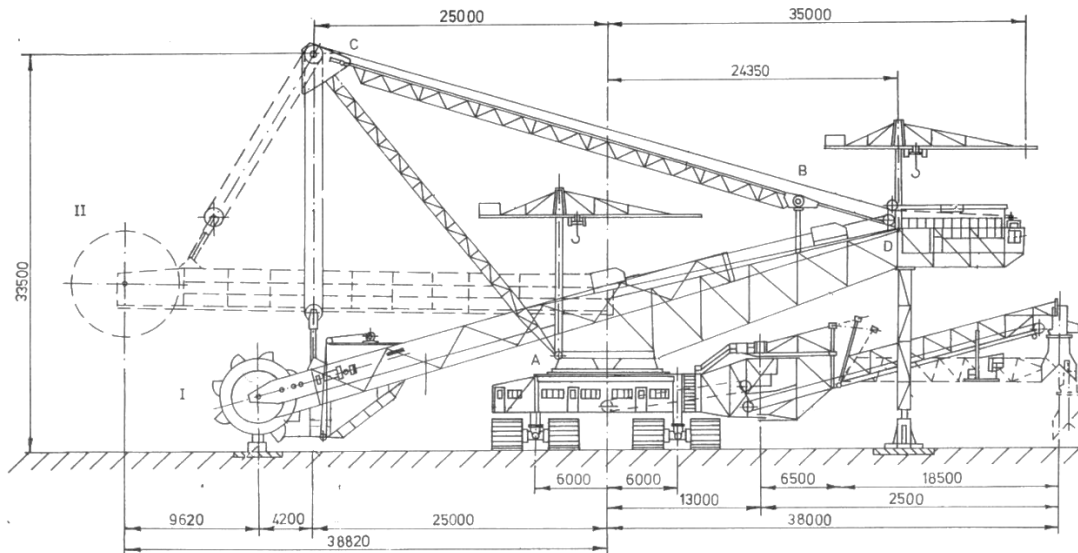
Научните изследвания винаги са съпровождали и сега съпровождат и подпомагат открития добив в „Мини Марица – Изток“ ЕАД.

Глава I

Състояние на проблема. Необходимост от разработване на темата. Цел и задачи.

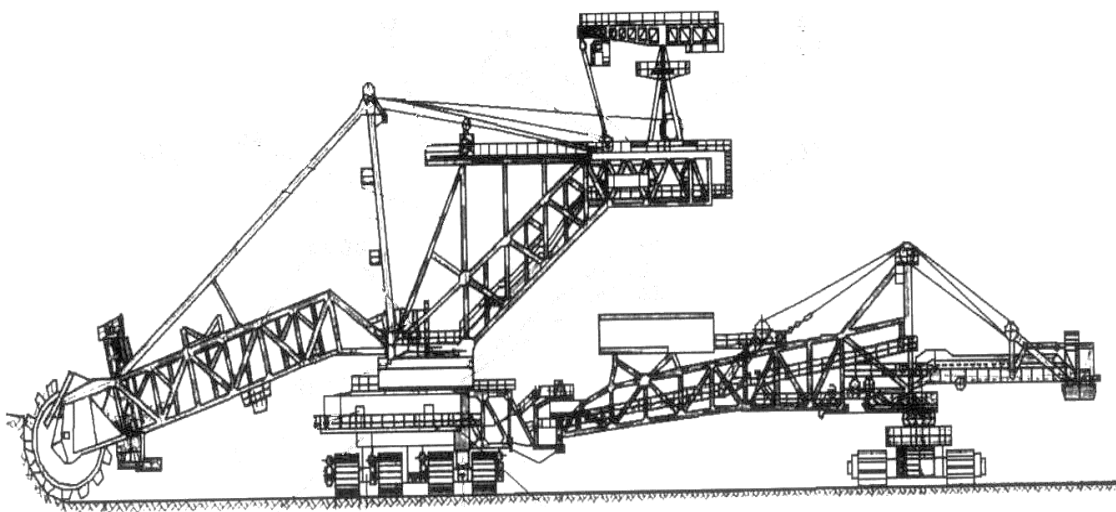
1.1 Състояние на проблема

Заместването на роторните багери SchRs 1200 (фиг.1.2) с роторни багери SRs 2000 (фиг.1.3) подобри значително изземването на откритка с твърди включения.



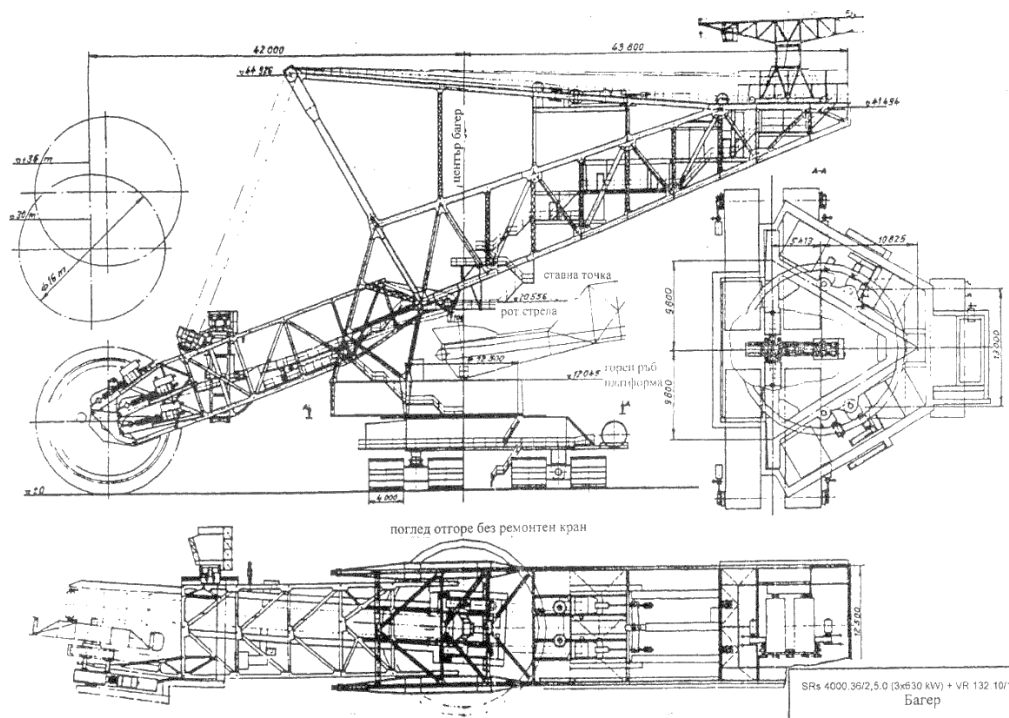
Фиг. 1.2
Багер SchRs 1200

Въпреки по-здравата си носеща металоконструкция, по-голяма режеща сила на работния орган и шарнирното окачване на роторната стрела, тези багери също се затрудняват при разработването на забои с пластообразни твърди включения.



Фиг. 1.3
Багер SRs 2000

Включването в работа на роторния багер SRs 4000 (фиг.1.1) създаде надежда, че проблемът ще бъде решен.



Фиг.1.1
Багер SRs 4000

Наистина багерът се справи успешно с работата в здрави забои с дребни включения.

1.2. Необходимост от разработване на темата.

Незадоволителната работа на използваната в момента кофа в забои и твърди включения е причина Техническият съвет към „Мини Марица-изток“ ЕАД да вземе решение и да възложи проектиране и конструиране на нова кофа, съобразена с конкретните условия. Конструктивното изпълнение на старата кофа е показано на фиг.1.4

Анализът показва следното:

Почти всички зъби са разположени върху предната част на ножа на кофата. Това показва, че замисълът на конструктора е бил багерът да работи с малка дебелина на стружката и голяма широчина, т.е. малки подавания с ходовия механизъм и по-голяма скорост на въртене на горния строеж на багера.

Такъв метод на работа е неблагоприятен за натоварването на механизма на въртене на горния строеж на багера и води вероятно до пониска производителност.

Избран е и малък ъгъл на рязане на ножа и зъбите, поради което те се изтриват отзад, често се износват и втулките, в които са поставени зъбите, и те трябва да се подменят при малко износване. Това е свързано с увеличен разход на зъби и по-чести ремонти.

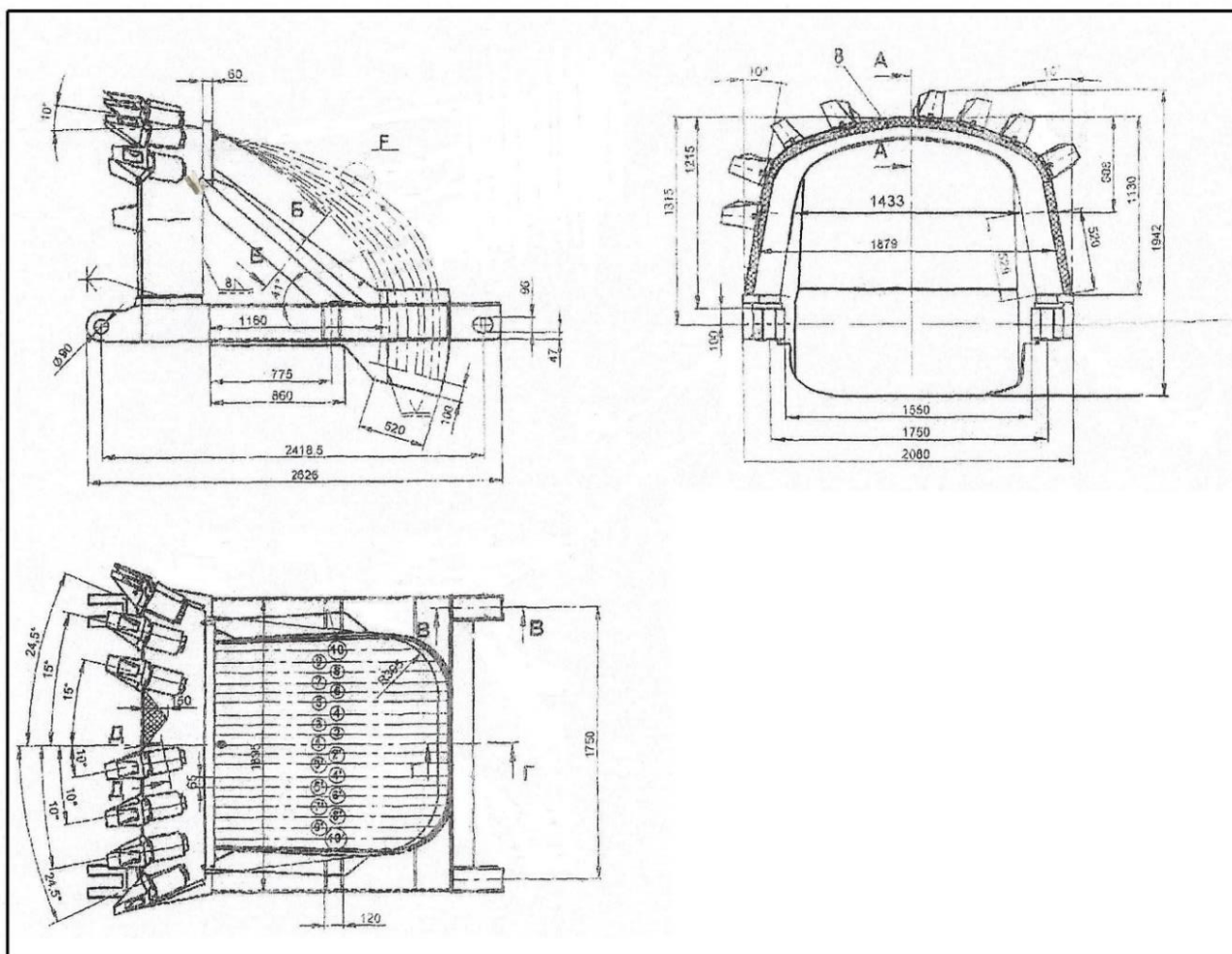
Забелязано е и неправилно ориентиране на зъбите спрямо траекторията на рязане и като резултат – увеличено съпротивление на рязане.

Режещият ръб на кофата е разположен почти по радиуса на роторното колело (отклонен назад само на ъгъл $\approx 7^\circ$) (фиг. 1.5а).

Това води до почти едновременно врязване на зъбите, свързано с висока динамичност на натоварването на роторното колело, на задвижването му и на металоконструкцията на багера, както и за откъсване на едри късове материал, особено при наличието на твърди включения. Тази възможност е показана с прекъсната линия на фиг.1.5b.

Стеснена е задната част на кофата, което намалява обема ѝ, което се отразява върху производителността на багера и влошава разтоварването ѝ. Не е направена корекция на наклона на роторното колело спрямо надлъжната вертикална равнина на симетрия на роторната стрела. Това се отразява неблагоприятно на работата на кофата, поради разликата в параметрите на стружката при подаване в ляво и дясно.

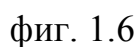
Посочените недостатъци са много сериозни и са основание да се поиска проект и конструктивна разработка на нов тип кофа за роторен багер SRs 4000.



Фиг. 1.4

Действаща в момента кофа на SRs 4000

Този тип кофи имат предимства в случаи, че се разработва забой с твърди включения, но работят добре и в забои без твърди включения, тъй като изкопаният материал е с по-малка едрина. Както всички кофи със зъби, те работят лошо в забои от влажни и преовлажнени лепливи глини.



Кофа с „разделно“ рязане

Променен е ъгълът на рязане от 10° на 15° , за да се подобри работата и дълготрайността на зъбите. Зъбите са изместени върху страничните части на ножа, с което се осигурява копаене с по-голямо подаване с ходовия механизъм и по-малка скорост на въртене на горния строеж на багера. Това осигурява работа на по-широк забой без намаляване на производителността. Ножът на кофата е наклонен на 30° назад по отношение на радиуса на роторното колело, което осигурява т.н. „разделно рязане“, при което всеки зъб отделя част от стружката. Зъбите работят

последователно и самостоятелно, при което се намалява едрината на изкопания материал.

Отделянето на късовете към свободна повърхност води до намален разход на енергия за копаене.

Улеснява се и рязането на твърди включения, тъй като периферната сила се концентрира върху един зъб вместо върху два или три.

Прегледът на състоянието на проблема показва, че е необходимо срочното му решение.

Това решение е икономически обосновано, тъй като ще се намалят ремонтите по ГЛТ, както и престоите на комплекса – багер, ГЛТ, насипообразувател.

1.3. Литературен обзор

В по-голямата част от рудниците на Източна Германия (бившата ГДР) скалите от откривните хоризонти са слаби и песъчливи и не създават проблеми на багерите при изкопаване.

Ето защо там верижните и роторните багери използват кофи без зъби, или ако някои от тях имат кофи със зъби, то зъбите са заварени или занитени към ножа, т.е. те са несменяеми фиг.1.8 а, б.

Поради недостатъчна проученост на физико-механичните свойства на скалите от надвъглищните хоризонти на басейна „Марица Изток“, внесените у нас верижни и роторни багери са се оказали с неподходящи за условията кофи и зъби.

При износване на зъбите се сменя цялата кофа.

През периода 1968 – 1978 година са направени доста изследвания на геоложките особености на басейна и на физико-механичните свойства на скалите на откривката.

Резултатите от тези изследвания, заедно с проучването на световния опит, доведе до създаването на нови конструктивни решения за кофи, роторни колела и зъби.

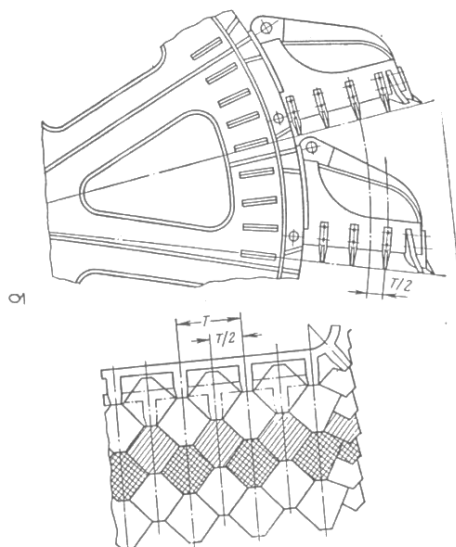
Едно от първите решения е предложението за сменяеми зъби.

Въпреки направените подобрения по отношение на смяната на зъбите, на якостта им, на износването и на ориентирането им по траекторията на рязане, е предложено зъбът да има предварително зададена площадка на износване.

Причина за това предложение са голям обем измервания и наблюдения върху влиянието на площадката на износване върху съпротивлението при копаене и динамичността на натоварването на работния орган на багера и на металоконструкцията на горният му строеж.

На фиг.1.16 е показана разновидност на кофа с разделно рязане. Тези кофи са с по-голяма височина и по-малка широчина. На страничната си стена имат по три и повече зъба, които са разместени радиално на 0,5 от разстоянието между два зъба спрямо зъбите на следващата кофа от роторното колело.

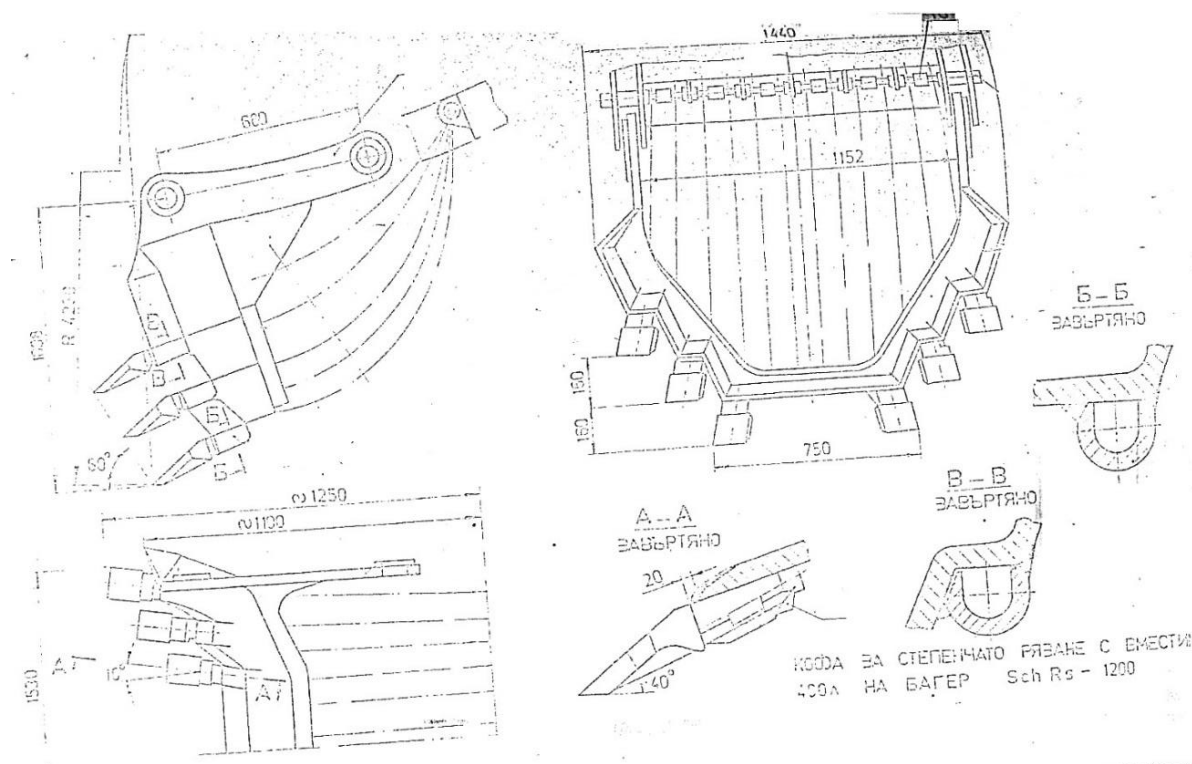
Поради разполагането на страните на режещия нож по радиуса на роторното колело, тази конструкция работи по-динамично от кофите с наклон на ножа.



Фиг. 1.16

Роторно колело с кофи със зъби разместени на $\frac{1}{2}$ стъпка през една кофа.

За да се подобри работата им, е предложена нова конструкция кофа по идея на проф. В. Ю. Чудновский от Донецкия политехнически институт, т.н. кофи със „стъпаловидно рязане“ показана на фиг. 1.18.



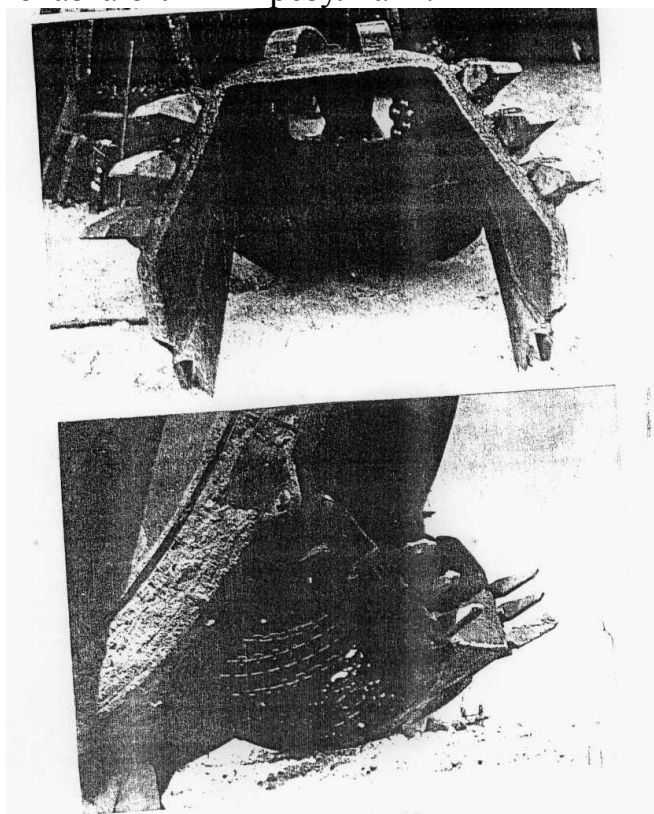
Фиг.1.18

Кофа със стъпаловидно рязане

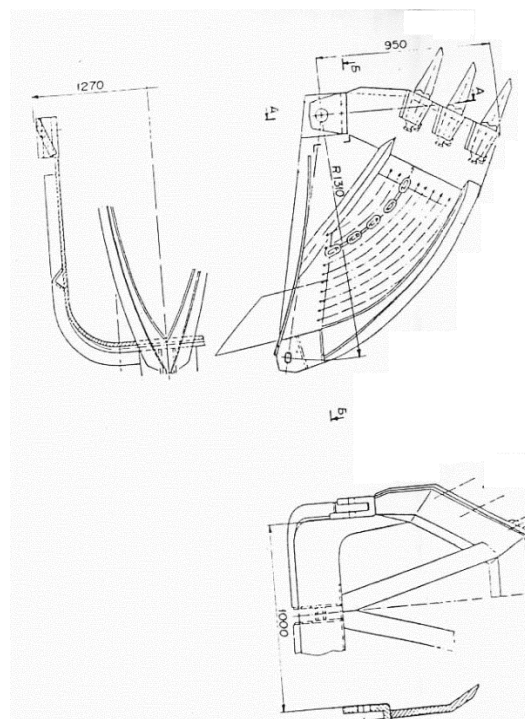
Предложено е увеличаване на броя на кофите от осем на четиринадесет с реконструирането на венеца на роторно колело. Сложната форма на ножа изисква той да бъде направен чрез отливане.

През 1984 година, поради затруднения при приемането на едри късове въглища от ТЕЦ – 2, е решено да се експериментира кофа с т.н. „разделно рязане“, предложена от колектив от Висшия минно-геоложки институт – София.

Експериментът е направен през 1985 година. Кофата (фиг.1.19 а, б) показва отлични резултати.



Фиг. 1.19 а



фиг. 1.19 б

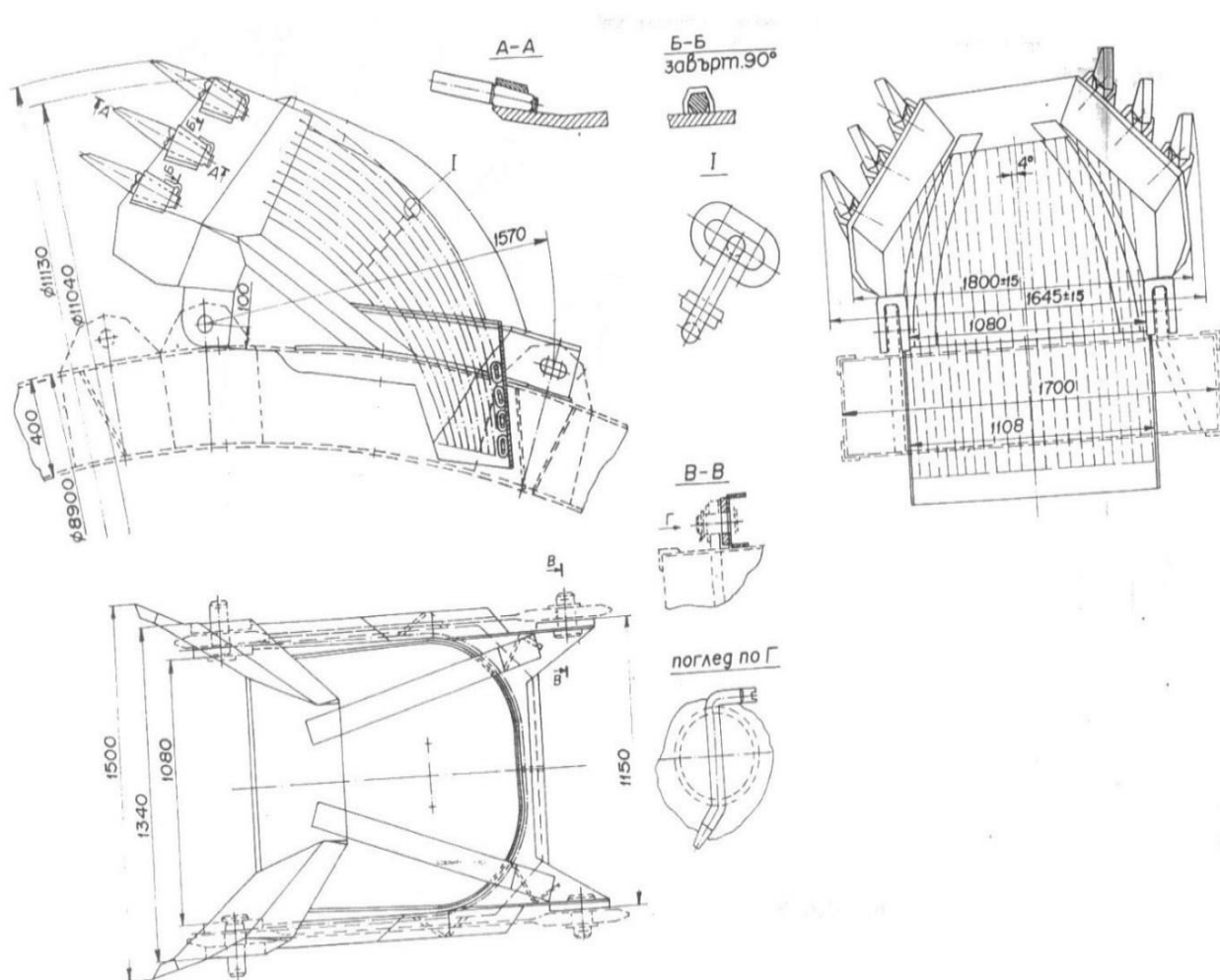
Кофа за разделно рязане за SchRs 1200

При дългогодишната експлоатация на роторните багери SRs 2000 са направени много подобрения по работния орган и особено по режещата му част.

В условия на твърди включения са използвани и кофи с т.н. „разделно рязане“. (фиг. 1.22)

Експлоатацията на роторни багери в открити рудници и кариери в продължение на повече от сто години показва, че ефективното им използване зависи в много голяма степен от конструкцията на работния им орган и особено от режещите му части: кофи, ножове, зъби.

При изкопаването на средно здрави и слаби, крехки и ронливи почви се използват кофи със зъби, конструирани и съобразени с конкретни характеристики на изкопаваната откритка: абразивност, лепливост, склонност към откъсване на негабаритни късове и т.н.



Фиг. 1.22

Кофа с разделно рязане за SRs 2000

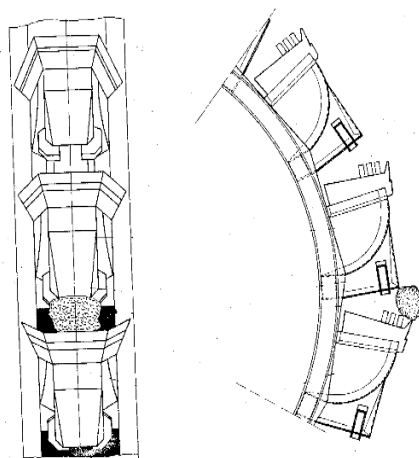
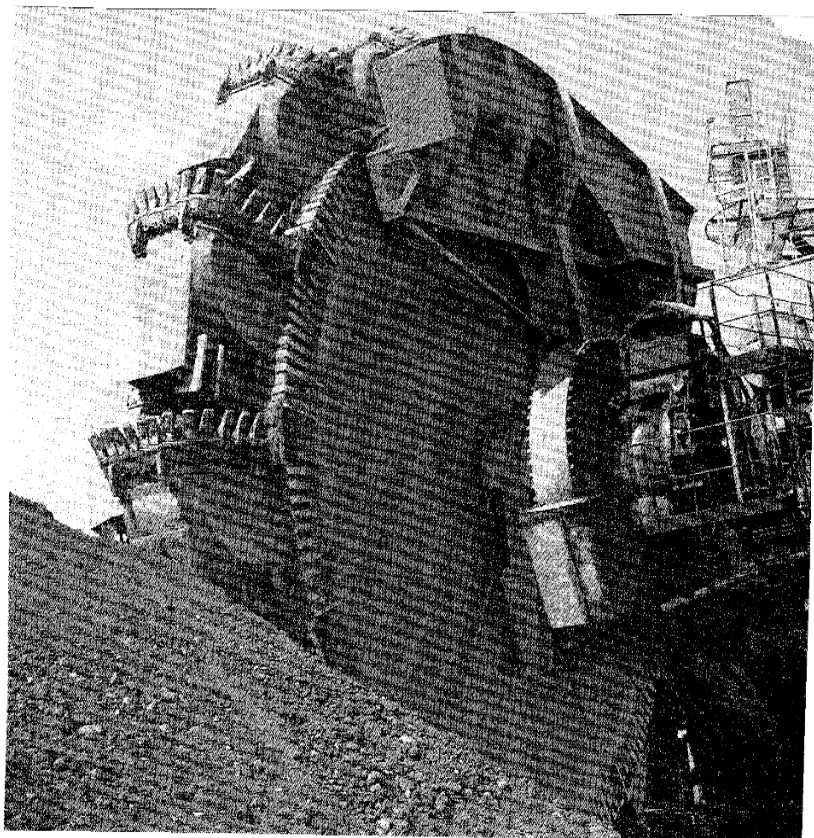
В случаите когато се изкопава глинеста и малко абразивна откритка, зъбите са заменени с пластини за намаляване съпротивлението на рязане. Пластините изпълняват роля на зъби и са занитени или заварени към режещия нож.

В случаите когато скалите и почвите на откритката са склонни към отделяне на негабаритни късове, особено когато има твърди включения във вид на пластове или отделни конкреции, се вземат конструктивни мерки срещу създаването на негабарити, срещу попадането им в кофите или за натрошаването им преди да попаднат в ГЛТ.

Пример за такова решение е показано на фиг.1.27. Задната част на кофите е удължена и не позволява на негабаритните късове да попаднат в кофата.

В случаите, когато сравнително рядко се случва да се отделят негабаритни късове здрава скала и част от тях да се загребат с кофите и попаднат на роторната лента, някои багери имат устройство за улавяне и изхвърляне на тези късове.

При някои багери, като например роторният багер SRs 2000, роторната лента се спира, камъкът се хваща със специален грайфер и се изнася встрани от нея.



Фиг. 1.27

Кофа с удължена задна част, която не позволява попадане на негабаритен камък в следващата кофа

При други багери този процес се извършва без спиране на роторната лента и без намесата на оператор.

Автоматизирана система следи материала по роторната лента и при констатиране на голям камък задейства устройство, което насочва камъка извън потока на материала.

Изпълнителната част на отделителя се задейства чрез пневматична енергия след като се получи сигнал за идващ по роторната лента негабаритен къс.

В случаите, когато скалите от откривката са така напукани, че създават много негабарити и други методи не са приложими, се използват различни видове трошачки, разположени на багера или след него.

На багера могат да се разположат в роторния или централния бункер.

Недостатъкът им е, че натоварват допълнително конструкцията на багера, повишават разхода на енергия и повишават риска от престои поради аварии.

Направеният анализ на състоянието на проблема показва:

1. Източно-маришкият въглищен басейн има сложен геоложки строеж. Скалите и почвите, изграждащи надвъглищните хоризонти, имат разнообразни физико-механични свойства, като съпротивление на копаене, абразивност, лепливост, твърди включения, вода и др., изменящи се в широки граници.

2. В началото на експлоатацията на находището, поради недостатъчно познаване на особеностите му и недостатъчно възможности за избор на механизация, избраните и доставени машини се оказват недостатъчно пригодени за конкретните условия на находището.

3. След около 15-25 години експлоатация и натрупване на опит, доставената механизация в периода 1960-1975 година е значително по-подходяща за работа в условията на находището.

4. Проблемът с твърдите включения не е нов, но се изостри при експлоатирането на багер SRs 4000, поради голямата му кофа.

5. Необходима е реконструкция на кофата или други мерки за ограничаване на попадане на негабаритни късове в транспортните системи на багерите, участъка и рудника.

Глава II

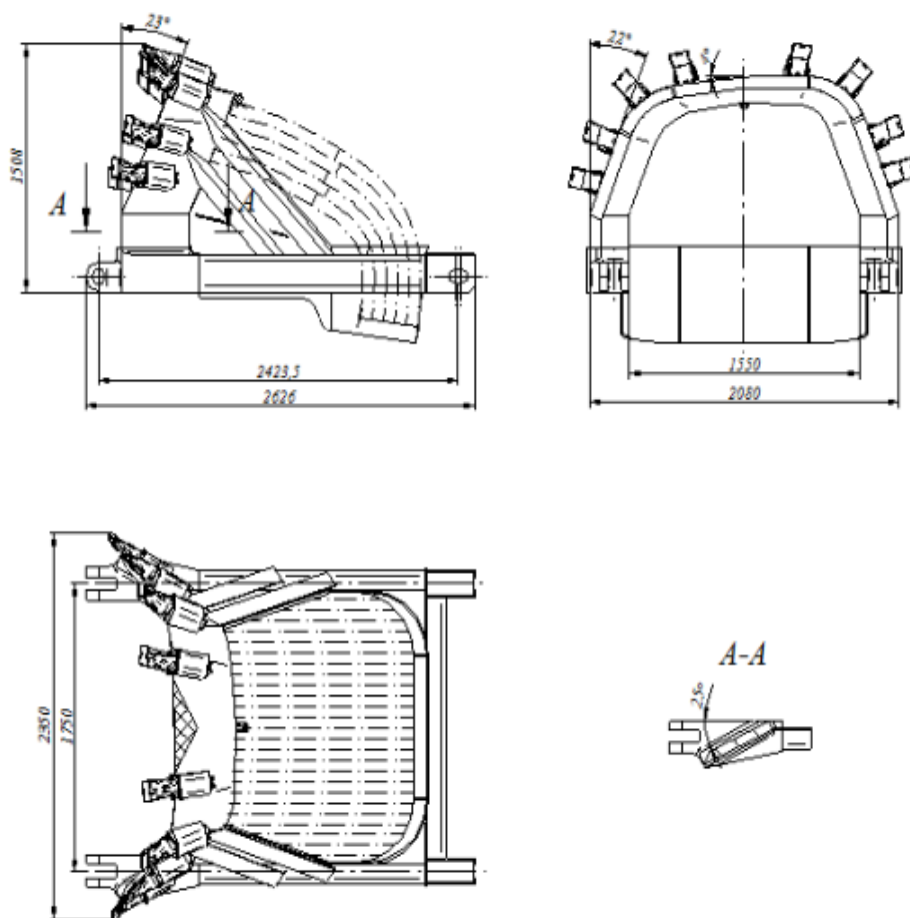
Технологични изчисления. Разработване на идейни проекти.

2.1. Идеен проект кофа с „разделно рязане“ за багер SRs 4000.

Като се имат предвид недостатъците на използваната в момента кофа, изброени в Глава първа, би следвало при проектирането на новата кофа, те да бъдат отстранени.

Идейният проект има задача да изясни практическата възможност за създаване на кофа с „разделно рязане“, поради многото съществуващи ограничения, като запазване на производителността на багера, запазване на конструкцията на роторното колело, запазване височината на кофите и връзката им с роторно колело и др.

Идейният проект нова кофа е показан на фиг. 2.1.



Фиг. 2.1.

Идеен проект на кофа с „разделно рязане“

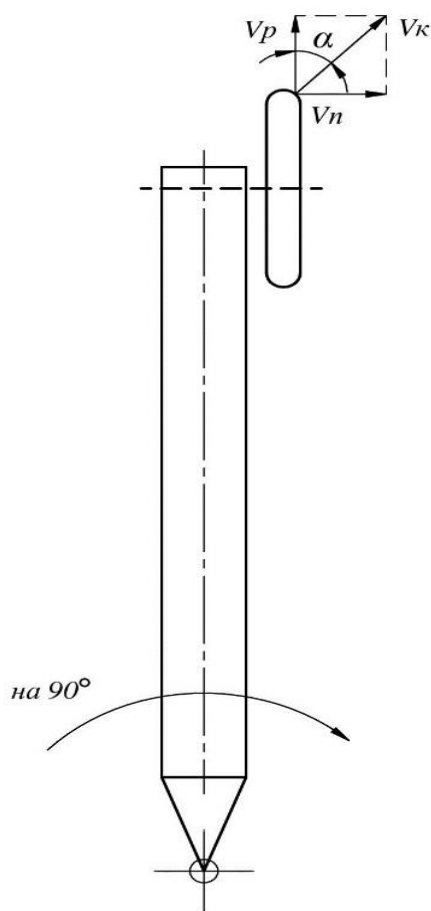
Най-съществената промяна, чрез която да се осигури „разделно рязане“, е наклоняването на ножа на 30° назад. Наклоняването на ножа по отношение на вертикалата спрямо равнината на окачване е 23° (фиг. 2.1). Тъй като ъгълът между тази вертикала и радиуса на колелото е 7° , то сумарното наклоняване на ножа е 30° спрямо радиуса на роторното колело.

Друга съществена промяна е разположението на зъбите върху ножа и ориентирането им спрямо посоката на рязане.

Три от зъбите се разполагат върху страничната стена на ножа. Тези зъби осъществяват т.н. „разделно рязане“. Четвъртият зъб е само спомагателен. Той има за задача да защитава от износване средната стена на ножа. Той също сменя стружка, но със значително по-малка дебелина от другите зъби.

Зъбите трябва да бъдат ориентирани по посоката на вектора на скоростта на копаене V_k , която се определя като сума от векторите на

периферната скорост на роторното колело и периферната скорост на горния строеж на багера фиг. 2.2.



V_p – периферна скорост на роторното колело – 180 m/min

V_n – скорост на подаване чрез механизма за въртене на горна багерна част - 8÷38 m/min

$\alpha = \arctg\left(\frac{V_n}{V_p}\right)$ – ъгъл на вектора на скоростта на рязане

$$\alpha_{cp} = \arctg\left(\frac{23}{180}\right) = 7^{\circ}16'54''$$

Фиг. 2.2.

Посока на скоростта на копаене

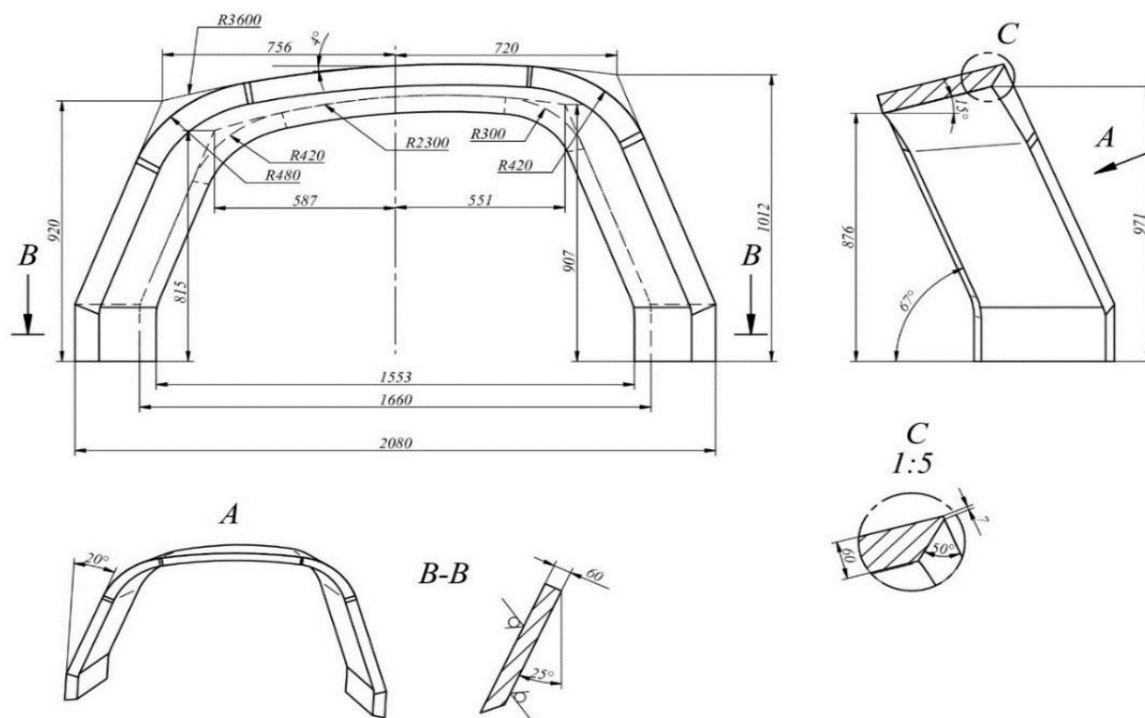
Задният ъгъл в средата на ножа е увеличен до 15° , а странично до 25° (фиг. 2.4).

Наклонът на ножа на 30° назад е причина зъбите да се внедряват в материала на забоя последователно. Когато най-близкият до оста на роторното колело се внедри на около 10-12 см, започва внедряването на втория, и след 10-12 см на третия, а след 3-4 см и на четвъртия.

Така, когато кофата срещне твърдо включение, зъбите ще отрежат от него три слоя вместо един голям. Конструкцията на кофата ще се натовари по-малко, тъй като ще отреже от него три стружки вместо една голяма.

Този начин на работа е благоприятен не само за кофите, ротора и конструкцията на багера, но и за задвижването му.

Тъй като отрязания от зъбите материал се разрушава към свободна повърхност, би следвало и да се намали и разходът на електроенергия.



Фиг. 2.4

Нож за кофа с разделно рязане – идеен проект

2.2. Технологично изчисление

Технологичното изчисление има за цел да определи необходимите параметри на стружката, за да се осигури оптимална работа на новата кофа при запазване производителността на багера.

Условието за оптимална работа на кофата с „разделно рязане“ е подаването напред да бъде към 0,6 до 0,8 от височината на кофата, а подаването встрани (чрез въртене на горната страна на багера) да бъде такова, което осигурява напълване на кофата.

Производителност [теоретична] - $Q_{\text{теор.}}$, $[m^3/h]$

$$Q_{\text{теор.}} = 60 \cdot z \cdot q'_k, m^3/h, \quad (2.1)$$

където z е броят на разтоварените кофи, min^{-1}

q'_k - обем на кофата заедно с подкофовото пространство, m^3 .

От техническата характеристика на багера

$$Q_{\text{теор.}} = 11000 m^3/h$$

$$z = 57,5 \text{ min}^{-1}$$

$$q'_k = \frac{Q_{\text{теор.}}}{60 \cdot z} = \frac{11000}{60 \cdot 57,5} = 3,2 m^3$$

$$q'_k = q_k + q_n, m^3$$

q_n - обем на подкофовото пространство във венеца на роторното колело, m^3

Където q_k е обемът на една кофа, m^3

2. Производителността (техническа) в разбухнал материал се определя по формулата:

Производителност (техническа) в разбухнал материал.

$$Q_{\text{техн}}^p = 60 \cdot z \cdot a \cdot b \cdot H \cdot K_n \cdot K_p, m^3/h \quad (2.3)$$

Където $Q_{\text{техн}}^p$ е техническата производителност на багера в разбухнал материал, m^3

z - брой на разтоварените кофи за минута, min^{-1}

a - подаване, m

b - широчина на стружката, m

H - височина на стъпалото, m

K_n - коефициент на напълване

K_p - коефициент на разбухване

$$Q_{\text{техн}}^n = \frac{Q_{\text{техн}}^p}{K_p}, m^3/h \quad (2.4)$$

където

$Q_{\text{техн}}^n$ е техническа производителност на багера в плътен материал, m^3/h .

От техническата характеристика на багера SRs 4000:

$$Q_{\text{техн}}^p = 11000, \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{\text{техн}}^n = \frac{11000}{1,6} = 6875, \frac{m^3}{h}$$

където

$K_p = 1,6$ за откривката на „Мини Марица Изток“ ЕАД

Приемаме: $z = 57,5 \text{ min}^{-1}$ - от характеристиката на багера

a - подаване - задава се от манипуланта на багера, препоръчва се от 0,6 до 0,8 от височината на кофата, m

прието $a = 0,75 m$

H - височината на стъпалото се определя от технологични съображения и в зависимост от свойствата на изкопаната откривка, но се

препоръчва в границите от $\frac{1}{2} D$ до $\frac{2}{3} D$,

където $D = 16 m$ е диаметърът на роторното колело

Следователно $H = 8 \div 10,5 m$. Ако забоят е устойчив и не се обрушава лесно, височината

на стъпалото може да се приема от $\frac{1}{2} D$ до $\frac{3}{4} D$, т.е. от $8 \div 12 m$.

Нека $H = 10 m$

Тогава широчината на стружката, която срязва една отделна кофа, може да бъде пресметната

$$b = \frac{Q_{\text{техн}}^p \cdot K_n}{60 \cdot z \cdot a \cdot H \cdot K_p} = \frac{11000.1}{60 \cdot 57,5 \cdot 0,75 \cdot 10 \cdot 1,6} = 0,266 \text{ m} \quad (2.5)$$

Тъй като V_{π} - скоростта на подаване чрез механизма за въртене за багер SRs 4000 е $18 \div 38 \text{ m/min}$ за минималната и максималната възможна широчина на стружката ще се получат:

$$b_{\min} = \frac{\pi \cdot D}{z_k} \cdot \frac{V_{\pi \min}}{V_p}, \text{ m} \quad (2.6)$$

$$b_{\max} = \frac{\pi \cdot D}{z_k} \cdot \frac{V_{\pi \max}}{V_p}, \text{ m} \quad (2.7)$$

Където V_{π} - периферната скорост при зъбите на кофата на нивото на оста на роторното колело, задавана от механизма на въртене на горния строеж на багера, m/min

V_p - скорост на рязане (периферна скорост на роторното колело), m/min

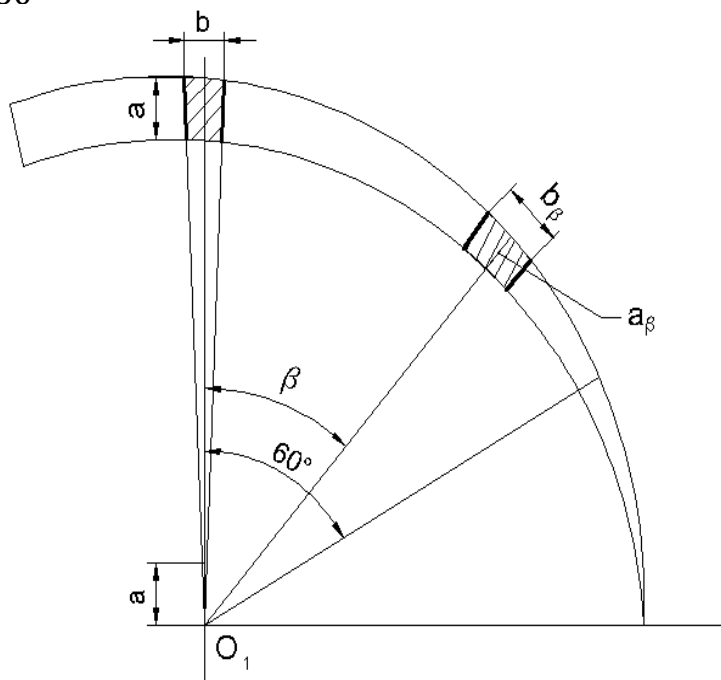
$$V_p = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot \frac{D}{2} = \frac{\pi \cdot 3,6 \cdot 16}{60} = 3 \text{ m/s} = 180 \text{ m/min}$$

n - честота на въртене на роторното колело, min^{-1} ; $n = 3,6 \text{ min}^{-1}$

z_k - брой на кофите на роторното колело; $z_k = 16$

$$b_{\min} = \frac{\pi \cdot 16}{16} \cdot \frac{18}{180} = 0,314, \text{ m}$$

$$b_{\max} = \frac{\pi \cdot 16}{16} \cdot \frac{38}{180} = 0,66, \text{ m}$$



Фиг.2.6.

Намаляване дебелината на стружката в зависимост от завъртането на ГБЧ

От фиг. 2.6 се вижда, че при завъртане на горния строеж на багера на ъгъл β спрямо оста му, дебелината на стружката намалява по закона $a_\beta = a \cdot \cos \beta$. За да се запази производителността на багера, е необходимо да се запази напречното сечение на стружката, т.е. $S_{\text{стр}} = a \cdot b = \text{const.}$

Това се постига чрез увеличаване на b по същия закон, т.е. $b_\beta = \frac{b}{\cos \beta}$.

Автоматизирана система осигурява това до ъгъл 60° , след което производителността спада.

Нека b_β добие стойност b_{max} при $\beta = 60^\circ$.

Тогава $b = b_{\text{max}} \cdot \cos 60 = 0,66 \cdot 0,5 = 0,33 \text{ m}$.

Ако се реши формулата за техническата производителност на багера спрямо a ще се получи подаването, под стойността на която производителността на багера ще намалява още преди горния му строеж да се е завъртял на 60° .

$$a_{\min} = \frac{Q_{\text{техн}}^p}{60 \cdot z \cdot b \cdot H \cdot K_p}, \text{ m} \quad (2.8)$$

$$a_{\min} = \frac{11000}{60 \cdot 57,5 \cdot 0,33 \cdot 10 \cdot 1,6} = 0,6 \text{ m}$$

Вижда се, че при тази височина на стъпалата, за да запази производителността си, багерът трябва да работи с подаване по-голямо от 0,6 m.

Препоръката да се работи с голямо подаване напред – „а“ е благоприятна за постигане на по-висока производителност на багера, защото той ще работи на по-голям ъгъл вляво и в дясно от оста на движение с номинална производителност.

2.3. Изводи към глава втора

1. Разработен е идеен проект на кофа с „разделно рязане“ за роторен багер SRs 4000.
2. Направени са необходимите изчисления, за да се осигури запазване на техническата производителност на багера.
3. Увеличен е задният ъгъл на ножа и зъбите, за да се намали съпротивлението при копаене и износването им.
4. Изработването на новата кофа не е по-сложно от изработването на старата и, следователно, няма да бъде по-скъпа.
5. Променена е формата на ножа, разположението и ориентирането на зъбите за постигане на т.н. „разделно рязане“.
6. Очаква се намаляването на негабаритни късове материали.
7. Очаква се възможност за работа в открити скали с твърди включения.
8. Очаква се намаляване на натоварването на механизма за въртене на горният строеж, задвижването му и металоконструкцията на роторната стрела.

9. Очаква се намаляване на консумираната мощност на копаене, а от там и разходът на електроенергия.

Глава III

Разработване на работен проект на кофа с „разделно рязане“ за багер SRs 4000

3.1. Общи сведения.

Работният проект е разработен въз основа на идеен проект, съгласуван и приет от възложителя. Точното реализиране на идейния проект осигурява всички предимства на новата кофа.

Новата кофа има същите елементи, както и старата, само някои от тях имат променена форма.

Запазват се обемът, габаритните и присъединителните размери. Запазват се също и материалите използвани за производството на старата кофа. Това позволява да се използват доставени по-рано материали, екипировка и технология.

Така новата кофа не се оскъпява и преминаването към работа с новата кофа може да стане без допълнителни разходи.

3.3. Основни възли и детайли.

Кофата (фиг. 3.1.) е оформена върху две носещи странични греди

Към тях са захванати предните уши и задна гредата, върху която са задните уши.

Чрез задните и предните уши тя се позиционира върху съответните отвори на роторно колело. Закрепването ѝ към него става чрез шарнири.

Върху предните уши е заварен ножът (фиг. 3.2.). На него са захванати кутии (втулки) (фиг. 3.7.), в които се поставят зъбите. Формата им на пресечена пирамида осигурява самозадържането им в процеса на работа.

Зъбите (фиг. 3.6.) са с предварително зададена повърхнина на износване в процеса на работа.

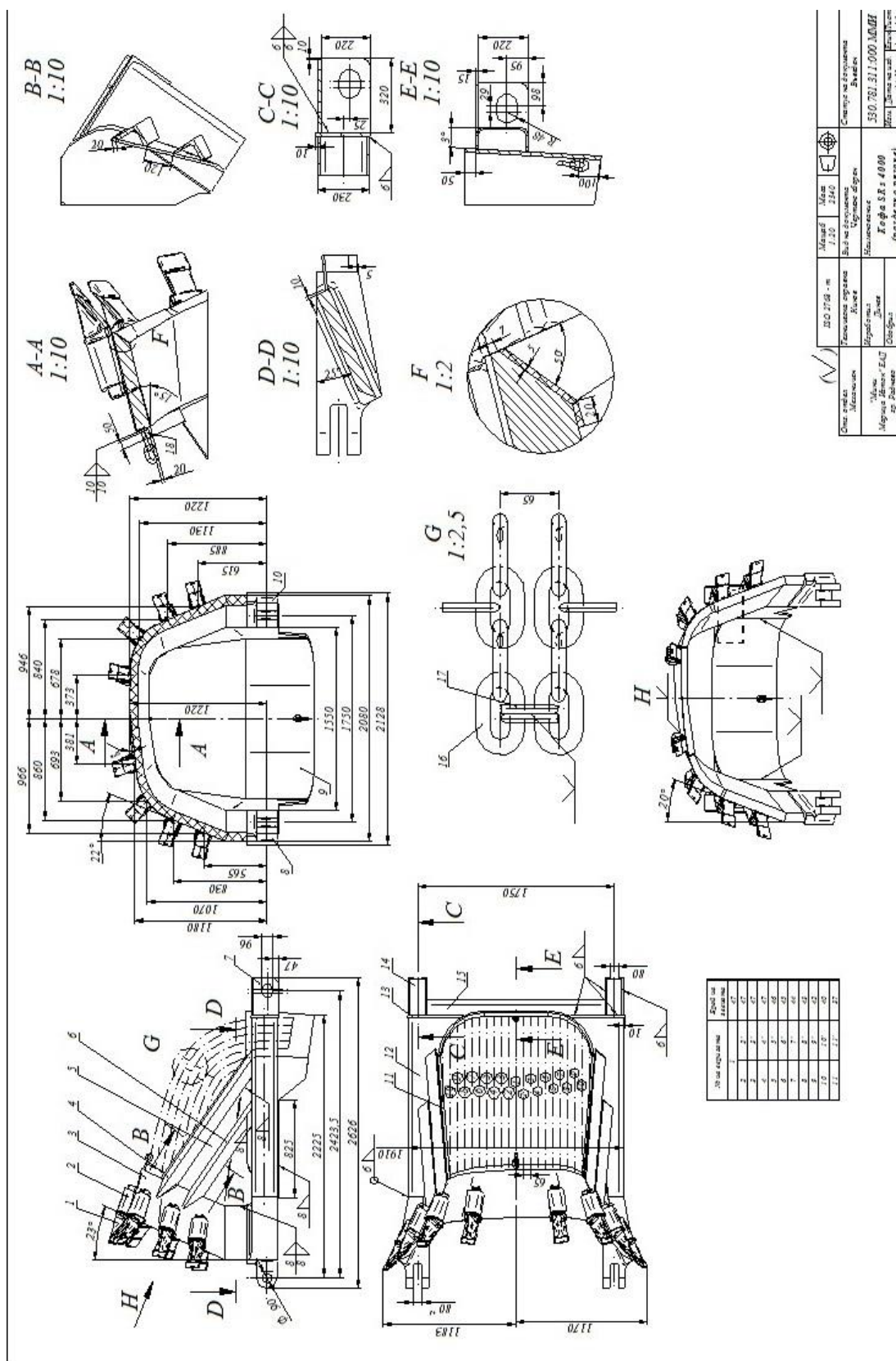
За оформяне обемът на кофата, има две странични и една задна профилирани ламарини. Страничните, също така спомагат и за здравината на кофата, като поемат част от товара върху ножа.

За затваряне на кофата е използвана мрежа от котвена верига, която спомага разтоварването на изкопания материал и не позволява облепването на кофата.

Предният вътрешен ръб на кутиите (фиг. 3.7) е скосен, за да се избегнат големите локални напрежения, които се получават от контакта със зъба по време на работа.

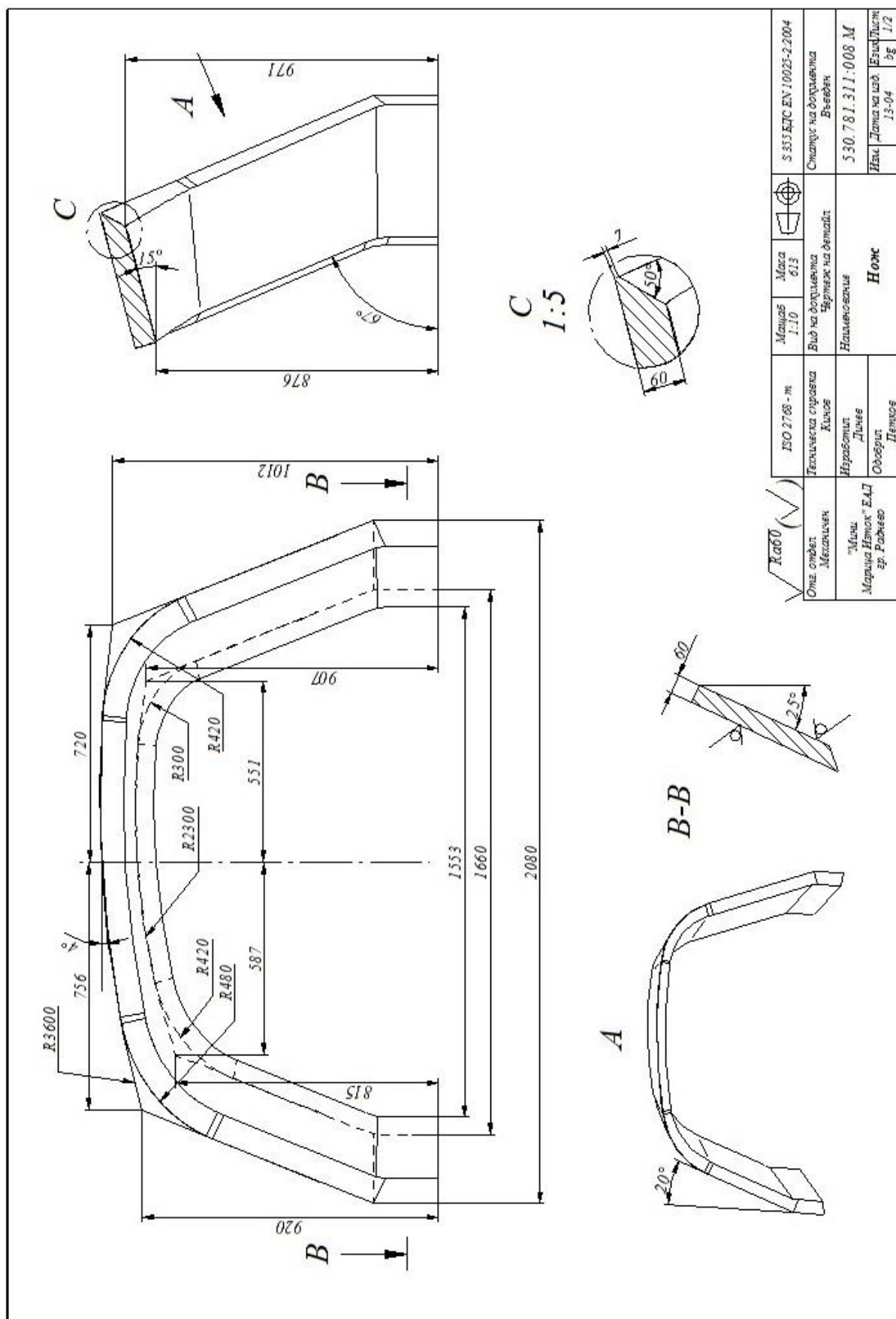
Основните промени са в ножа, кутиите и зъбите. Така окомплектовани, те могат да се разположат и на старата носеща конструкция, до нейното изчерпване.

3.2. Сборен чертеж.

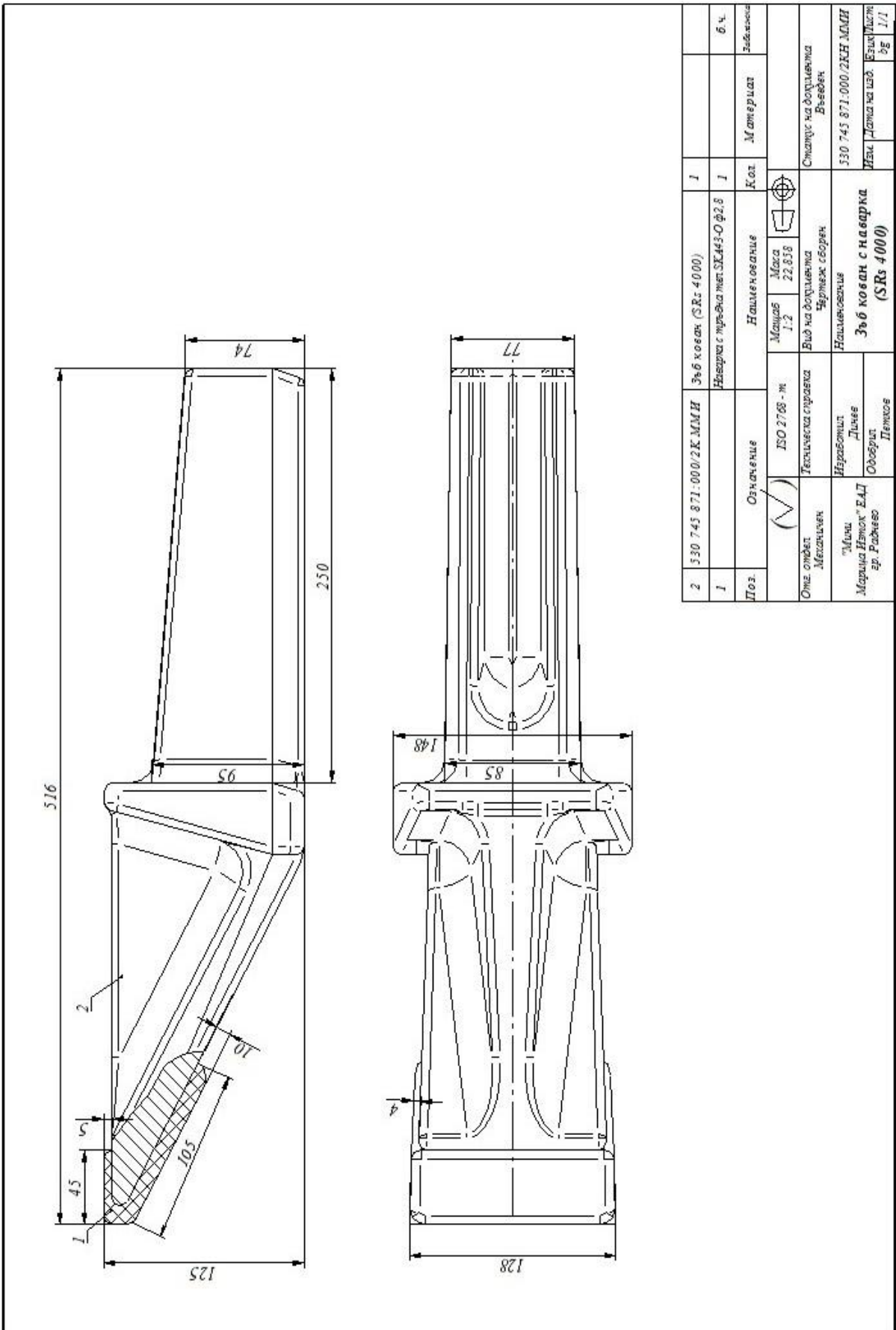


ФИГ. 3.1.

Кофа за „разделно рязане“

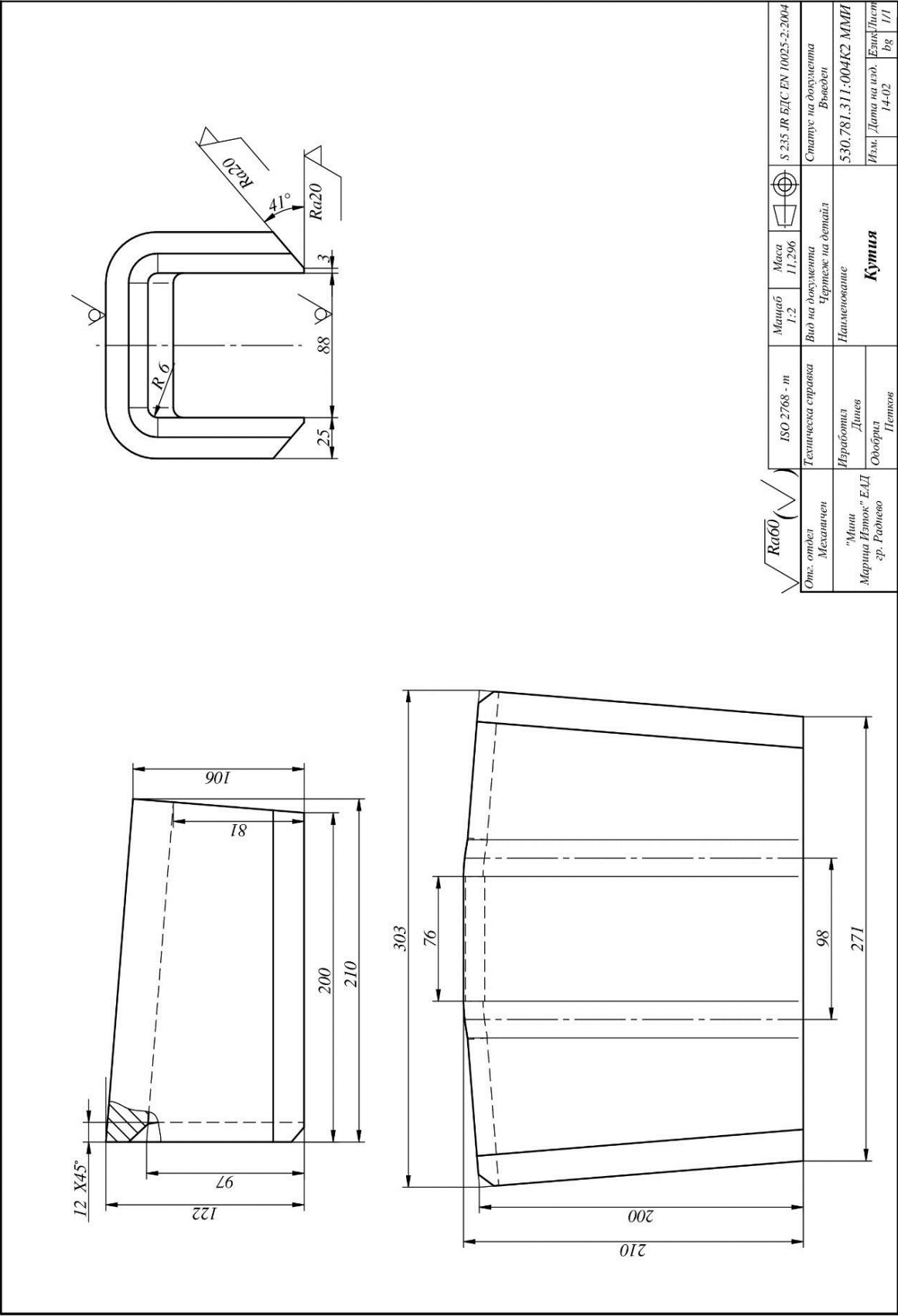


Фиг. 3.2
Нож на кофата.



Фиг. 3.6.
Зъб за SRs 4000

2	530 745 871-000/2К ММН	Зъб кован (SRs 4000)	1			
1		Наварка с твърдата тип СК443-О ф2,8	1			б.ч.
Поз.	Означение	Наименование	Кол.	Материал	Забелески	
Опел. отдел. Механичен	(✓)	ISO 2768 - m	Материал 1-2	Маса 22,838	Стандарт на допустимостта Въведен	
Машинен	Техническа спецификация	Чертане Сборен	Вид на допустимостта	Наименование	330 745 871-000/2КН ММН	Базисна част
"Мина. Маршала Исток" ЕАД	Изработил	Дане	Зъб кован с наварка (SRs 4000)	Изм.	Дата на изд.	1/1
ар. Рабчев	Одобрил	Петков				



Фиг. 3.7.
Кутия за зъб

3.4. Изводи към трета глава

1. Изработена е работна документация на кофа с „разделно рязане“ за роторен багер SRs 4000.
2. Работната документация отговаря на всички изисквания за работна документация на машиностроително изделие.
3. Изработената документация е съобразена с възможностите и опита на рудничните ремонтни работилници за ремонт на кофи за роторни багери.
4. Изработената документация е съобразена и с възможностите на „Ремотекс“ и с опита му в производството на зъби и кофи за роторни багери.
5. След внедряването на кофата ще се получат очакваните подобрения описани в изводите към глава втора.

Глава IV

Якостно оразмеряване на кофа за роторен багер предназначена за изкопаване на откривка с твърди включения.

4.1. Общи сведения.

Проектираната и разработената конструкция на кофа с „разделно рязане“ за роторен багер тип SRs 4000 трябва да е якостно оразмерена, поради особеното си предназначение.

Известно е, че натоварването на кофите на роторното колело, при изкопаване на еднородни почви от откривката, е пропорционално на дебелината на стружката, която снемат. При работа с вертикални стружки силата расте от нула до максимална стойност, когато кофата достигне нивото на оста на роторното колело и след това намалява. При среща с твърдо включение може да се случи цялата периферна сила да натовари само едната кофа. Тогава тя не трябва да се разруши или деформира.

За целта са направени две проверки:

- а) по класическите методи на науката за съпротивление на материалите.
- б) по „метода на крайните елементи“

4.1.1. Якостни изчисления. Конструктивна разработка на кофа с обем 2500 dm³.

Определяне на максималната периферна сила на роторното колело определена от мощността на двигателите.

$$F_n = \frac{N_{\text{дв}} \cdot 10^3 \cdot \eta_m}{V_n}, \text{ N} \quad (4.1)$$

където $N_{\text{дв}}$ е мощността на задвижващите двигатели, kW; 2x1000 kW

η_m – механичен к.п.д. на задвижването на роторното колело. Обикновено се приема $\eta_m = 0,85$

V_n – периферна скорост на роторното колело по окръжността на рязане

$V_n = V_p$

$$F_n = \frac{2.1000.10^3.0,85}{3} = 566666,7, \text{ N}$$

$$F_n = 566,7 \text{ kN}$$

Тази сила се разпределя върху едновременно врязаните в забоя кофи n_e , който може да се определи по формулата

$$n_e = \frac{\psi}{\varphi}, \text{ броя} \quad (4.2)$$

където

ψ е ъгъл на захвата на роторното колело, °

$$\psi = \arccos \frac{R-H}{R}$$

φ е ъгъл между две съседни кофи, °

където

R е радиусът на роторно колело, m

H – височина на стружката, m

$$\varphi = \frac{360^\circ}{n_k}, \text{ }^\circ \quad (4.3)$$

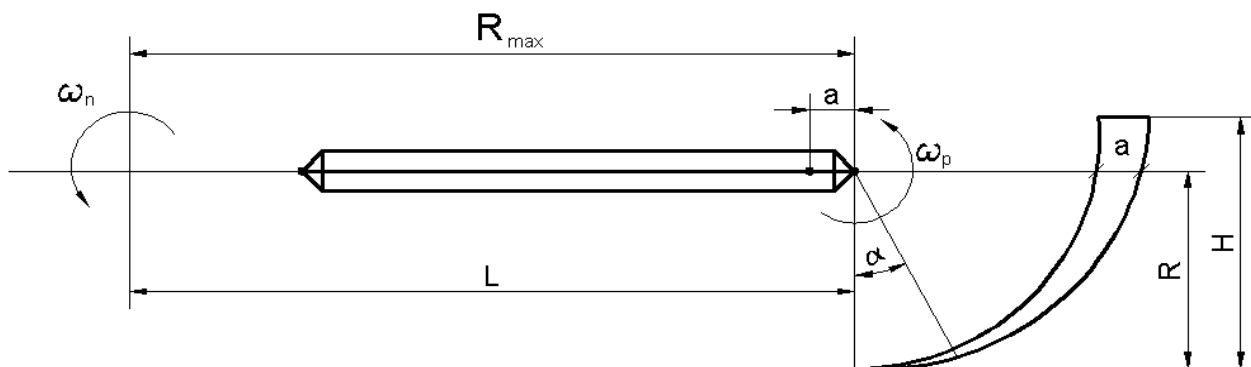
където n_k е броя на кофите в роторното колело

$$\varphi = \frac{360^\circ}{16} = 22,5^\circ$$

$$\psi = \arccos \frac{8-10}{8} = \arccos(-0,25) = 104,45^\circ$$

$$n_e = \frac{\psi}{\varphi} = \frac{104,45^\circ}{22,5^\circ} = 4,64, \text{ бр.}$$

Вижда се, че едновременно врязаните в даден момент кофи са 4 или 5 и периферната сила ще се разпределя между тях според съотношението на дебелината на стружките, които срязват в дадения момент.



Фиг.4.1.

Дебелина на стружката

Всяка отделна кофа срязва сърповидна стружка, чиято дебелина δ се пресмята по формулата

$$\delta = a(\sin \alpha + \frac{a}{D} \cos^2 \alpha), \text{ m (4.4)}$$

$$\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$$

При $\alpha_1 = 0^\circ$, $a = 0,7 \text{ m}$, $D = 16 \text{ m}$

$$\delta_1 = 0,7(\sin 0^\circ + \frac{0,7}{16} \cos^2 0^\circ) = 0, \text{ m}$$

Следващата кофа се намира на ъгъл $\alpha_2 = 22,5^\circ$

$$\delta_2 = 0,7(\sin 22,5^\circ + \frac{0,7}{16} \cos^2 22,5^\circ) = 0,7(0,383 + 0,044 \cdot 0,854) = 0,294, \text{ m}$$

Следващата кофа се намира на ъгъл $\alpha_3 = 45^\circ$

$$\delta_3 = 0,7(\sin 45^\circ + \frac{0,7}{16} \cos^2 45^\circ) = 0,7(0,707 + 0,044 \cdot 0,5) = 0,51, \text{ m}$$

Следващата кофа се намира на ъгъл $\alpha_4 = 67,5^\circ$

$$\delta_4 = 0,7(\sin 67,5^\circ + \frac{0,7}{16} \cos^2 67,5^\circ) = 0,7(0,924 + 0,044 \cdot 0,146) = 0,651, \text{ m}$$

Следващата кофа се намира на ъгъл $\alpha_5 = 90^\circ$

$$\delta_5 = 0,7(\sin 90^\circ + \frac{0,7}{16} \cos^2 90^\circ) = 0,7, \text{ m}$$

Периферната сила се разпределя по петте кофи, както съотношенията на дебелините на стружките.(табл.4.1)

Табл. 4.1

Разпределение на максималната периферна сила на копаене

№ на кофата	1	2	3	4	5
Ъгъл	0°	$22,5^\circ$	45°	$67,5^\circ$	90°
Дебелина на стружката, m	0	0,294	0,51	0,651	0,7
Сила върху кофата, kN	0	77,3	134,1	171,2	184,1

Вижда се, че най-натоварена е петата кофа, която се намира на нивото на оста на роторно колело.

Това разпределение на натоварването се получава при работа на багера в хомогенен забой, тъй като при срязването на стружка, кофите срещат съпротивление пропорционално на напречното сечение на срязваните стружки.

Можем да изчислим съпротивителната сила, която среща всяка отделна кофа при копаенето, в условията на находището на „Мини Марица Изток“ ЕАД.

$$P_k = k_0 \cdot F_c = k_0 \cdot b \cdot \delta, N \quad (4.5)$$

където: k_0 е специфичното съпротивление на скалите при копаене, Pa

F_c е сечението на срязваната стружка, m^2

Приемаме $k_0 = 0,292 \text{ MPa}$ от табл. 14.1 [18]

$$b = b_{max} = 0,66 \text{ m}$$

За кофа №1 $\delta = 0$

$$P_k = k_0 \cdot F_c = k_0 \cdot b \cdot \delta = 0,292 \cdot 10^3 \cdot 0,66 \cdot 0 = 0 \text{ kN}$$

За кофа №2 $\delta = 0,294$

$$P_k = k_0 \cdot F_c = k_0 \cdot b \cdot \delta = 0,292 \cdot 10^3 \cdot 0,66 \cdot 0,294 = 56,66 \text{ kN}$$

За кофа №3 $\delta = 0,51$

$$P_k = k_0 \cdot F_c = k_0 \cdot b \cdot \delta = 0,292 \cdot 10^3 \cdot 0,66 \cdot 0,51 = 98,29 \text{ kN}$$

За кофа №4 $\delta = 0,651$

$$P_k = k_0 \cdot F_c = k_0 \cdot b \cdot \delta = 0,292 \cdot 10^3 \cdot 0,66 \cdot 0,651 = 125,46 \text{ kN}$$

За кофа №5 $\delta = 0,7$

$$P_k = k_0 \cdot F_c = k_0 \cdot b \cdot \delta = 0,292 \cdot 10^3 \cdot 0,66 \cdot 0,7 = 134,9 \text{ kN}$$

Табл. 4.2.

Разпределение на съпротивителната сила на копаене

№ на кофата	1	2	3	4	5
Дебелина на стружката, m	0	0,294	0,51	0,651	0,7
Сила върху кофата, kN	0	56,66	98,29	125,46	134,9

В случаите, когато забоят има твърди включения, кофата може да се натовари различно от описания случай.

Възможно е, при среща с твърдо включение, една кофа да се натовари за кратко с цялата периферна сила.

Възможно е същото това натоварване да се разпредели неравномерно върху режещите зъби.

Тези особености в натоварването на кофите на роторното колело трябва да се отчитат при якостното им оразмеряване. Тези кофи се предвижда да работят в условия на твърди включения и не трябва да се деформират или разрушават.

4.2. Изчисления по класическите методи на науката „Съпротивление на материалите“.

Разработена е методика за решаване на задачата с помощта на теоретичния силов метод. Поради това в дадената работа са разработени следните задачи:

1. Определена е изчислителната схема;
2. Разложено е натоварването върху осите на приетата изчислителна схема;
3. Определени са коравините на различните участъци;
4. Формулирани са видове задачи, с помощта на които се определя еквивалентното напрежение.

1. Изчислителна схема.

Ножа на кофата има пирамидален вид (фиг.4.2. а).

Наклонът на стените на пресечена пирамида е равен на α . Освен това част от ножа е наклонен под ъгъл β спрямо вертикалата и е хваната кораво в двата края.

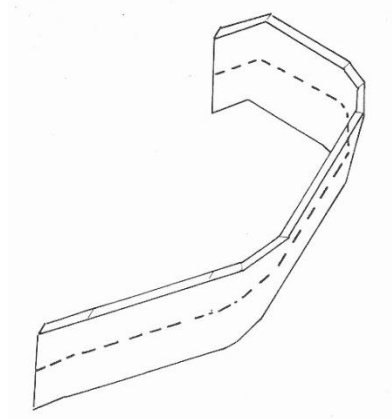
Освен това в двете страни на ножа са заварени две триъгълни плочи. Последните са укрепени с по два L – образни профила. Приемаме, че по дължините на тези профили преобладаващо е натисковото усилие.

Останалите разрезни сили са малки и ще се пренебрегнат.

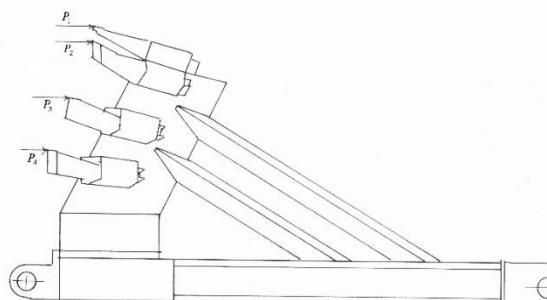
Ето защо триъгълните плочи ще се заменят с четири опорни прътове (фиг.4.2. б).

Между страничните и горните наклонените стени на пирамидата има участъци с кръгово-цилиндрична форма. Техните размери обаче са малки, поради което се предлага тези участъци да се заменят с призматични.

Геометричното място на центровете на тежестта на напречните сечения образуват начупена пространствена рамка, означена с пунктир на фигура 4.2. а.



4.2 а



4.2 б

Фиг. 4.2 а,б Нож на кофата

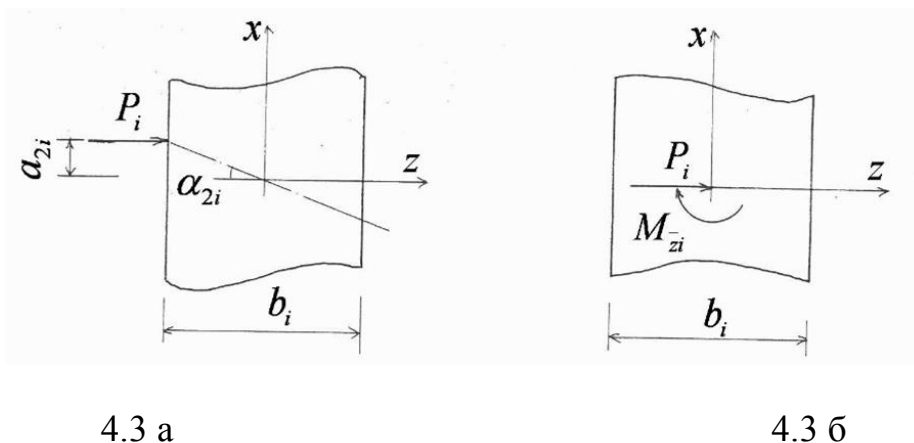
2. Натоварване.

Във върховете на зъбите са приложени сили P_i , ($i=1,2,3,4$) (фиг. 4.2 б), които се преместват в точки от изчислителната схема. Тогава, освен

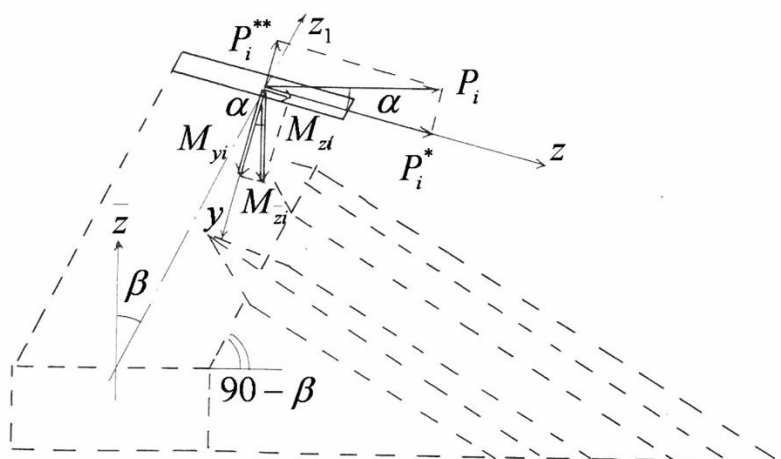
силите, се получават още огъващи и усукващи моменти. Това действие е известно като принцип на Поансо [16].

Осите на зъбите са наклонени спрямо главната ос y от произволно сечение на рамката (фиг.2а). Хоризонталните сили P_i приложени в точка A_i^I се преместват в точка A_i^{II} (фиг.4.3 а). В резултат на това действие се получава огъващият момент $M_{z,i}$ (фиг.4.3 б и фиг. 4.4), имащ еднаква посока с оста $\bar{z}$, успореден е на нея и има големина :

$$M_{z,i} = P_i \cdot a_{2i} . \quad (4.6)$$



Фиг. 4.3 Натоварване в план



Фиг. 4.4 Вертикално натоварване върху челото на ножа

Разстоянието a_{2i} , участващо в уравнение (4.6) се определя от:

$$a_{2i} = 0,5b_i \tan \alpha_{2i} . \quad (4.7)$$

Ъглите α_{2i} са отчетени от изработения модел на нож, а ширината b_i се определя по начин, описан по - долу.

Силите P_i и моментите $M_{z,i}$ се разлагат по осите y и z на напречното сечение от изчислителната рамка (фиг.4.4):

$$P_i^{**} = -P_i \sin \alpha ; \quad P_i^* = P_i \cos \alpha ; \quad M_{yi} = M_{z,i} \sin \alpha ; \quad M_{zi} = M_{z,i} \cos \alpha \quad (4.8)$$

където:

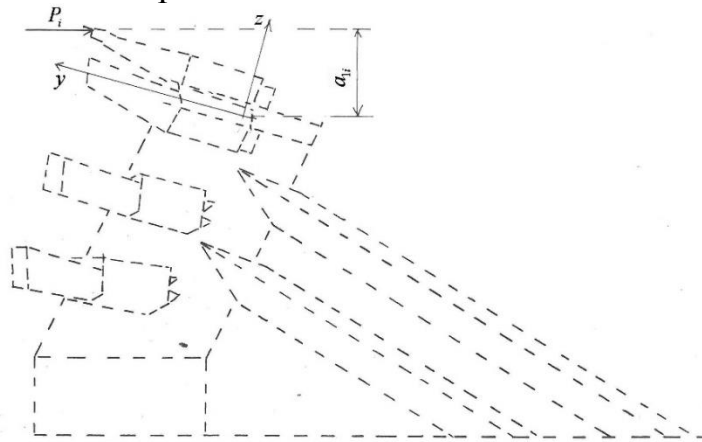
P_i^* - сили, перпендикулярни на изчислителната рамка;

P_i^{**} - сили, успоредни на изчислителната рамка;

При преместването на хоризонталните сили от върховете на зъбите (фиг. 4.2 б) в центровете на напречните сечения се създават усукващи моменти. Тези моменти са перпендикулярни на напречното сечение на ножа (фиг. 4.5) и се определят от израза:

$$M_{x,i} = P_i a_{ii}; \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (4.9)$$

Тук разстоянието a_{ii} е разликата между координатите на точките от върховете на зъбите и координатите на точки от изчислителната схема.



Фиг. 4.5 Положение на усукващия момент

Като се вземат под внимание резултатите от фигури 4.4 и 4.5, се получава окончателното натоварване върху изчислителната схема (фиг.4.6).

3. Коравина на различните участъци - инерционни моменти

Ширината на ножа в основата е по-голяма от тази в ключа. Прието е тя да се изменя линейно спрямо половината от сумарната дължина на участъците в челото l_i (фиг.4.2 а). Тогава ширината в произволно сечение от рамката на ножа има вида:

$$b_i(l_i) = b(0)(a l_i + b), \quad 0 \leq l_i \leq l. \quad (4.10)$$

Тук $b(0)$ е ширината в ключа, a и b са коефициенти, които подлежат на определяне.

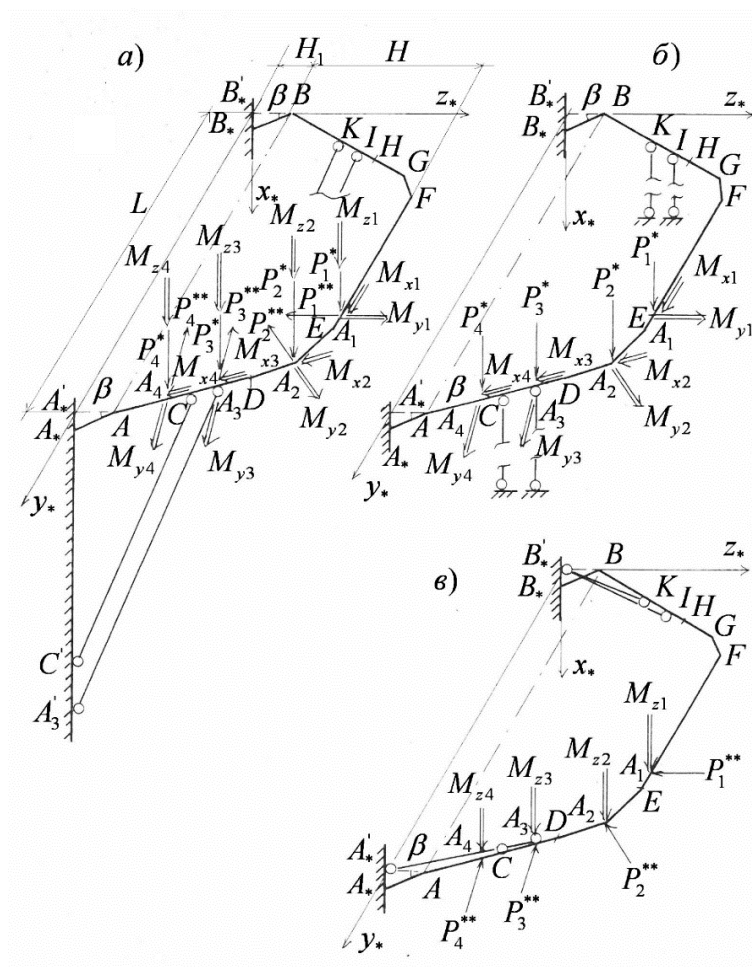
Оказва се, че дължината на челото на ножа е по-голяма от дължината на задната част на ножа. Тогава напречното сечение на всеки участък i от рамката в равнината xz е с форма на трапец.

Той се заменя с правоъгълник с дължина b_i равна на усреднената стойност на горната и долната основа на трапеца.

Тогава инерционните моменти за всеки участък са постоянни и се определят от зависимостите :

$$J_{z,i} = \frac{b_i^3 h}{12}; \quad J_{y,i} = \frac{b_i h^3}{12}; \quad n_i = \frac{b_i}{h}; \quad J_{t,i} = \frac{1}{3}(n_i - 0,63)b_i^4, \quad (4.11)$$

където $J_{z,i}, J_{y,i}, J_{t,i}$ са инерционните моменти спрямо оси z , y и полярния инерционен момент.



Фиг. 4.6 а, б, в Натоварване върху изчислителната схема

Получената изчислителна схема е натоварена с вертикални сили P_i^{**} в равнината на рамката и със сили P_i^* , перпендикулярни на нея, както и с усукващи моменти $M_{x,i}$ и огъващи моменти $M_{y,i}$ и $M_{z,i}$ ($i=1\div 4$) (фиг. 4.6 а, б, в).

След проведено проучване на възможните методи за определяне на опорните реакции, е избран силов метод.

4. Видове задачи.

Пространствената рамка от фигура 4.6 а има 11 участъка. За определяне на разрезните усилия се прилага метода на сечението. Решението значително се опростява, когато натоварването се раздели на два типа и се решат две задачи.

В първата задача върху рамката са приложени силите P_i^* и моментите $M_{x,i}$ и $M_{y,i}$ в приложните точки A_i . В частта от точка А до точка В на рамката $AA'BB'$ се прилага методът на сечението, както при равнинно-пространствени рамки (фиг.4б).

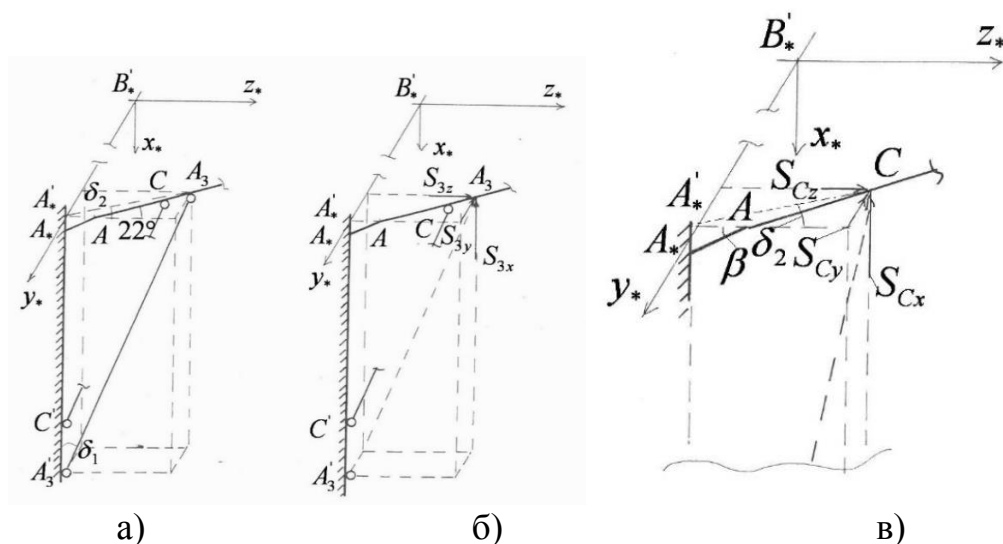
При втората задача натоварването се състои от силите P_i^{**} , успоредни на оста z_* и моментите $M_{z,i}$, перпендикулярни на равнината Bu_*z_* .

Тогава в част от рамката (от точка А до точка В) се прилага методът на сечението, както при равнинни рамки (фиг.4в).

Така вместо да се решава 10 пъти неопределима начупена пространствена рамка се решава рамка с натоварване от първия тип, която е седем пъти неопределима.

След определяне на вертикалните компоненти на силите в опорните пръти S_{3x} , S_{Cx} , S_{Kx} и S_{Lx} се изчисляват и останалите компоненти (фиг. 4.7а, б, в):

$$\begin{aligned} S_{3z} &= S_{3x} \cdot \operatorname{tg} \delta_1 \cos \delta_2; & S_{3y} &= S_{3x} \cdot \operatorname{tg} \delta_1 \cos \delta_2; & S_{Cz} &= S_{Cx} \cdot \operatorname{tg} \delta_1 \cos \delta_2; & S_{Cy} &= S_{Cx} \cdot \operatorname{tg} \delta_1 \cos \delta_2; \\ S_{Kz} &= S_{Kx} \cdot \operatorname{tg} \delta_1 \cos \delta_2; & S_{Ky} &= S_{Kx} \cdot \operatorname{tg} \delta_1 \cos \delta_2; & S_{Lz} &= S_{Lx} \cdot \operatorname{tg} \delta_1 \cos \delta_2; & S_{Ly} &= S_{Lx} \cdot \operatorname{tg} \delta_1 \cos \delta_2. \end{aligned} \quad (4.12)$$



Фиг. 4.7 Компоненти на силите в опорните пръти

Тригонометричните функции са определени чрез координати на крайните точки $A_1'(x_1, y_1, z_1)$ и $A_2(x_2, y_2, z_2)$ от прът A_3A_3' :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta_1 &= \frac{\sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}}{(x_1 - x_2)}; \\ \sin \delta_2 &= \frac{(y_1 - y_2)}{\sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}}; \\ \cos \delta_2 &= \frac{(z_1 - z_2)}{\sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}}. \end{aligned} \quad (4.13)$$

Така неопределимостта на рамката с втория тип натоварване се намалява до три.

Получените моментови диаграми на разрезните усилия, позволяват да се анализират и отчетат стойностите на моментите в опасни точки от рамката. За тези точки се изчислява еквивалентното напрежение по III-та якостна теория

$$\sigma_{екв, x, j}^{\text{III}} = \sqrt{\sigma_{x, j}^2 + 4\tau_{x, j}^2}, \quad (4.14)$$

което се сравнява с допустимото $\sigma_{дон}$.

Нормалното и тангенциално напрежение в горния израз имат вида:

$$\sigma_{x, j} = \frac{N}{F} + \frac{\max |M_{y, i}|}{J_{y, j}} z_i - \frac{|M_{z, i}|}{J_{z, j}} y_i;$$

$$\tau_{x,j} = \frac{|M_{x,i}|}{J_{t,j}} \sqrt{y_i^2 + z_i^2}, \quad (4.15)$$

където j е номер на опасното сечение от рамката, x_i, y_i са координати на опасната точка i от сечението, а σ_{don} е допустимото напрежение за дадения материал.

4.3. Проверка по метод на крайните елементи (МКЕ) при инженерните пресмятания

Този метод се използва като универсално средство за пресмятания и анализ на поведението на механични конструкции при силови и топлинни натоварвания.

Основното при този метод е, че непрекъснатата еластична структура на конструкцията се разделя на краен брой малки, дискретни елементи с проста геометрична форма, свързани един с друг във възлови точки, разположени по границите им.

Преместванията на тези възлови точки под въздействието на натоварвания, приложени в тях, са неизвестни променливи в система от уравнения, решението на които представя поведението на цялата конструкция.

При това положение, в зависимост от конструкцията на изделието, броят на неизвестните може да достигне от няколко хиляди до няколко десетки хиляди.

При извършването на пресмятането по МКЕ най-използваният метод е този на непрекъснатостта на сградата.

Според този метод съседните крайни елементи, след деформирането на конструкцията, не трябва да се раздалечават един от друг, нито да проникват един в друг и в кинематически определени крайни възлови точки трябва да съответстват на крайните гранични условия.

За всеки елемент се съставя напълно съвместимо уравнение по отношение на преместванията на възлите, а условията за равновесие на силите са удовлетворени не за отделните елементи, а за структурата на конструкцията като цяло.

Геометричната структура на конструкцията може да се опише като съставена от различни типове елементи с различни степени на свобода.

Възможно е различните видове елементи да се групират по подходящ начин така, че описанието да съответства най-добре на описанието на реалната конструкция.

Крайните елементи могат да бъдат 2D или 3D. Натоварванията върху възлите и конструкцията могат да бъдат различни: постоянни, зависими от времето, топлинни напрежения, разпределени или съсредоточени сили, собствени натоварвания.

Прилагането на МКЕ в инженерните пресмятания може да се раздели на 3 етапа:

Подготовка и контрол на входните данни - входните данни за пресмятане по МКЕ се подготвят от потребителя и обхващат описанието на:

- Геометричната структура, елементи и възли;
- Натоварването статично, динамично, топлинно;
- Свойствата на материала;
- Гранични условия.

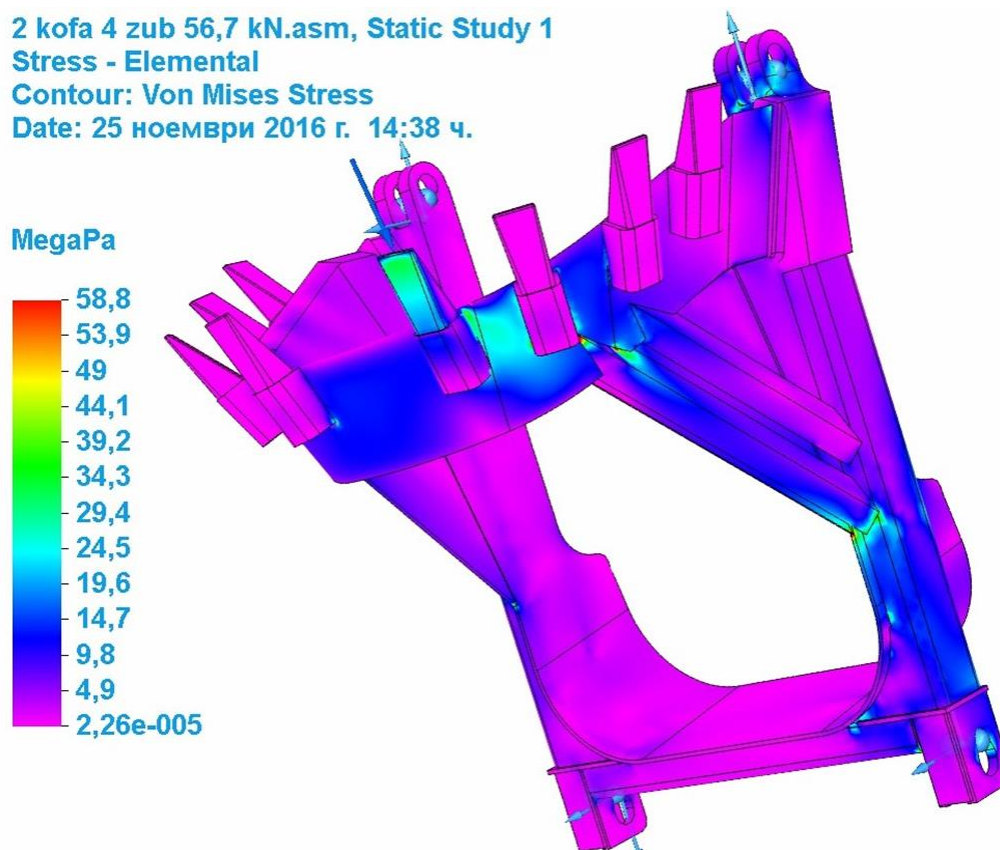
За провеждане на симулационното компютърно изследване са направени серия от виртуални симулации чрез модула Solid Edge Simulation на CAD/CAE програмата Solid Edge ST8. Дефинирани са натоварванията при различни случаи от работата на багера според резултатите получени в табл. 4.1.

Ред за провеждане на изследванията:

1. Създаване на 3D CAD модел на изследваната кофа с помощта на Solid Edge ST8;
2. Определяне на работните режими (натоварване) за различни случаи от работата на багера;
3. Определяне на връзките на кофата с роторно колело (ограничаване степените на свобода);
4. Получаване на резултати;
5. Анализ на резултатите.

Първа кофа (фиг.4.8) $\delta = 0$ - няма натоварване.

От фиг.4.8 се вижда, че кофа №2 има в работа само един зъб (четвъртият) и той ще носи сила от 56,7 kN.



Фиг. 4.10

На фиг. 4.10 е показано напрегнатото състояние на елементите на кофа №2 чрез МКЕ.

Натоварването е сравнително малко, но е съсредоточено върху един зъб. Ножът е напрегнат до около 35 МПа само в зоната между зъб 3 и зъб 4. Натоварена е опората на ножа отдясно, състояща се от два паралелно разположени винкела.

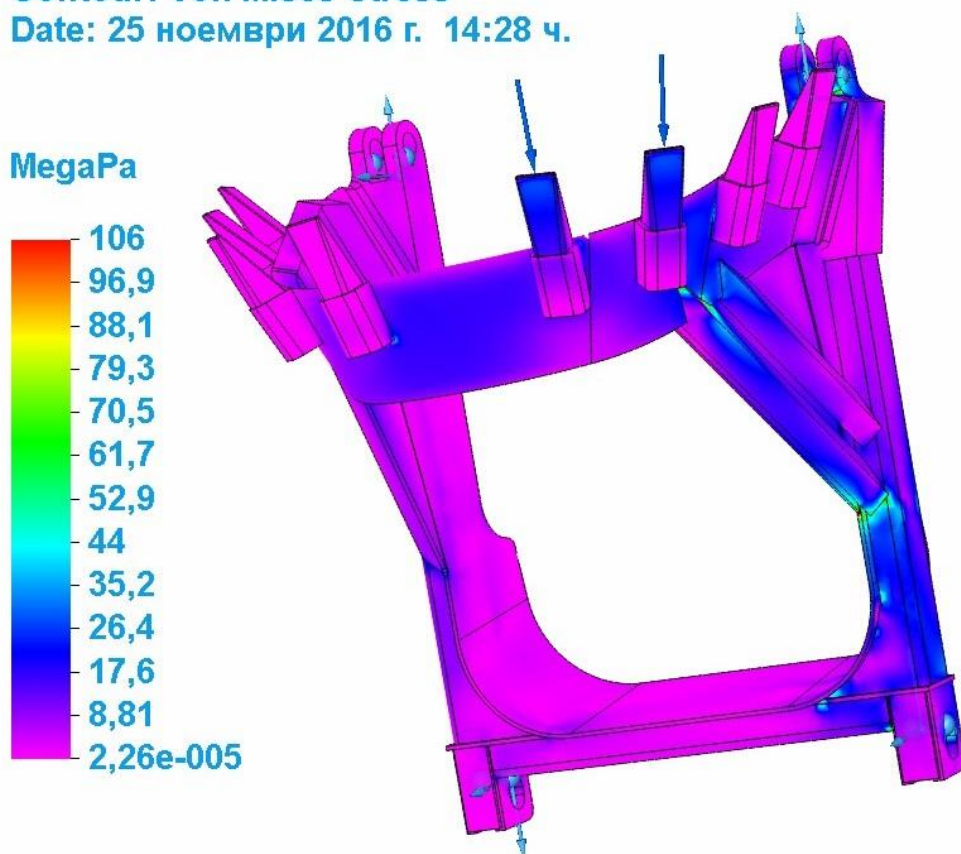
Само в местата на заваряването им към ножа и към дясната греда напрежението достига до около 35 МПа.

Натоварена е също и дясната греда на кофата, както и двете ѝ уши, но напреженията от 20 до 40 МПа са далече от допустимите.

Конструкцията на кофата не е застрашена от разрушение.

От фиг.4.8 се вижда, че кофа №3 има в работа 2 зъба и за тях приемаме, че си разделят по равно силата 98,3 kN, или по 49,15 kN на зъб.

3 kofa 4,3 zub x 49,15 kN.asm, Static Study 1
Stress - Elemental
Contour: Von Mises Stress
Date: 25 ноември 2016 г. 14:28 ч.



Фиг.4. 11

На фиг. 4. 11 е показано напрегнатото състояние на елементите на кофа №3.

Натоварването е по-голямо, но е върху два зъба и е по-благоприятно.

Напрежението в ножа в зоната на захващането на опорните винкели достига до около 30 МПа, а в краищата на винкелите е около 70 МПа.

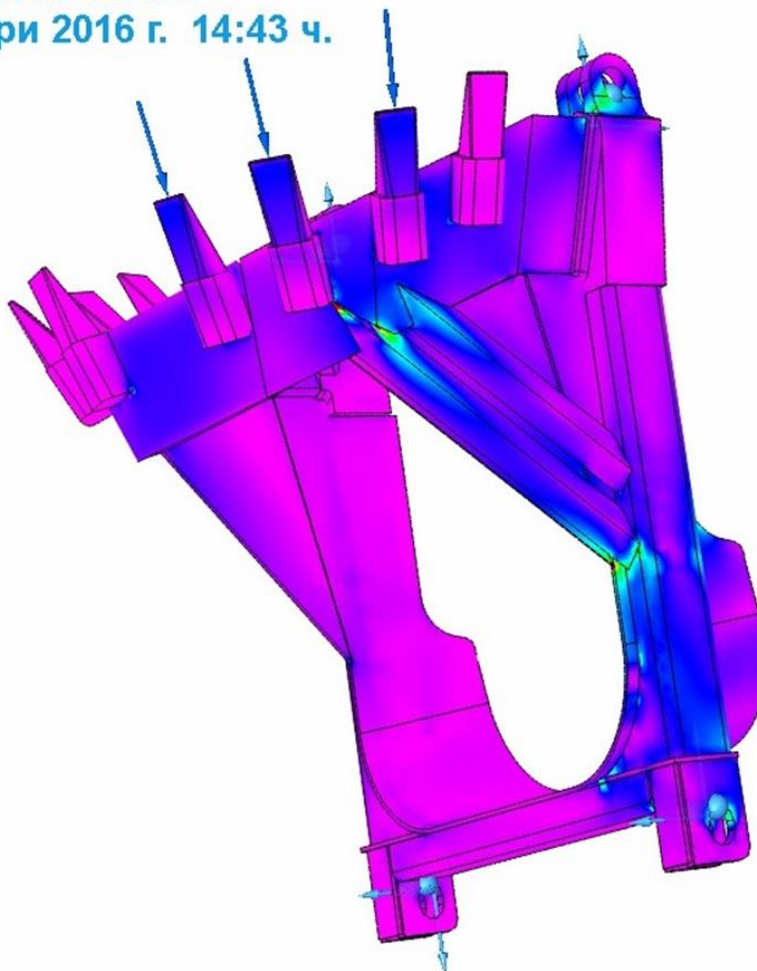
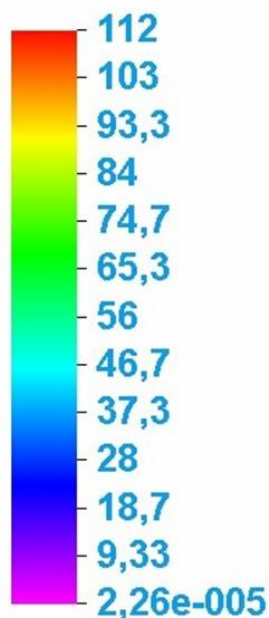
Натоварена е също дясната гредка. Напреженията са далече над допустимите за материала на ножа и на другите натоварени елементи.

Кофата не е застрашена от разрушение.

От фиг.4.8 се вижда, че кофа №4 има в работа 3 зъба и за тях приемаме, че си разделят по равно силата 125,4 kN, или по 41,8 kN на зъб.

4 kofa 4,3,2 zub x 41,8 kN.asm, Static Study 1
Stress - Elemental
Contour: Von Mises Stress
Date: 25 ноември 2016 г. 14:43 ч.

MegaPa



Фиг. 4.12

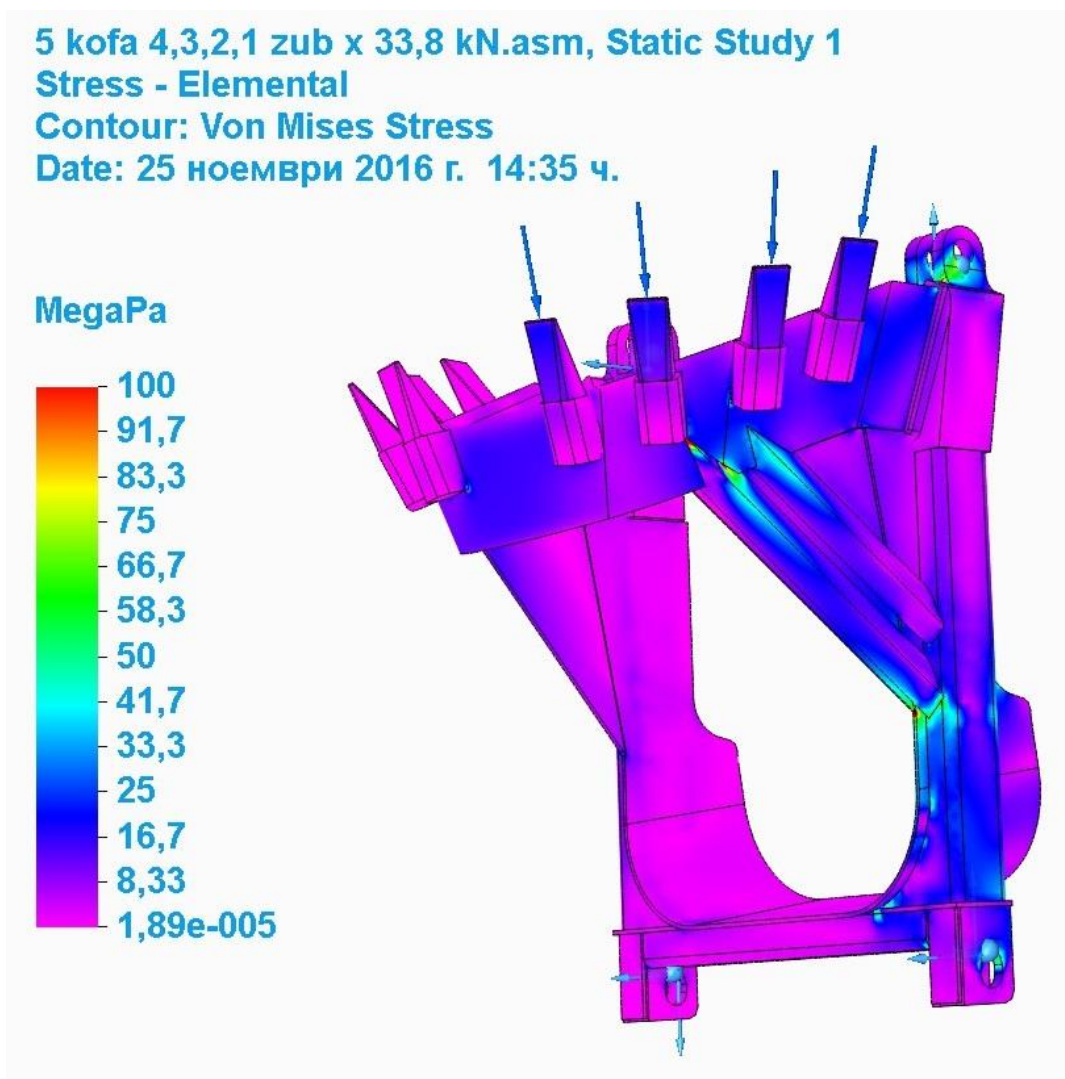
На фиг. 4. 12 е показано напрегнатото състояние на елементите на кофа №4

Натоварването е по-голямо, но е разпределено върху три зъба, което е благоприятно за ножа и останалите елементи на кофата.

Напреженията в ножа не надвишават 25-35 МПа, но в опорните винкелки достигат до до 60 МПа както и в задната част на гредата и ушите.

Кофата не е застрашена от разрушение.

От фиг. 4.8 се вижда, че кофа №5 има в работа 4 зъба и за тях приемаме, че си разделят по равно силата 135,2 kN, или по 33,8 kN на зъб.



Фиг. 4.13

На фиг. 4. 13 е показано напрегнатото състояние на елементите на кофа №5.

Натоварването е по-голямо, но е разпределено върху четири зъба.

Ножа е натоварен благоприятно и напреженията в него не надвишават 25 МПа.

Увеличено е натоварването на опорните винкелки и напреженията в краищата им достига 50-60 МПа.

Увеличено е натоварването в задната част на дясната греда и на ушите, където напреженията достигат до 50-60 МПа.

Тези напрежения не застрашават якостта на кофата.

Тъй като новите кофи трябва да могат да работят и в условия на наличие на твърди включения в забоя, то е необходимо да се проверят якостно и за тези условия.

По такъв начин коефициентът на динамичност на натоварването ще се намали четири пъти.

Максималното натоварване, което трябва да понесе кофата е равно на периферната сила на роторно колело.

При по-голямо натоварване кофата трябва да се разруши и да предпази роторното колело, задвижването и други важни възли на багера.

Показан е и случай, когато цялата периферна сила се разпределя върху един зъб.

Натоварване на зъб 3 с максимална сила от 567 kN.

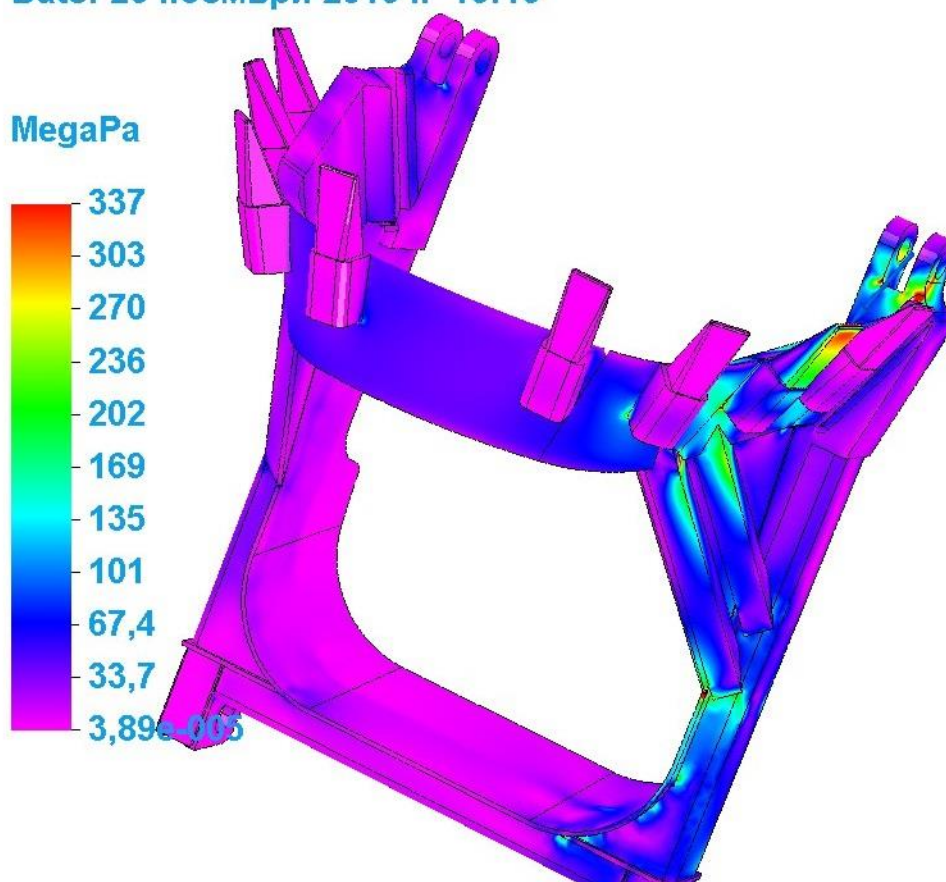
Напреженията в лявата част на ножа са около 8 МПа, в средната част около 80 МПа и в дясната около 100 МПа.

Увеличено е натоварването в дясната опора на ножа, като в края на винкелите напрежението достига 200 МПа

Увеличено и натоварването на задната част на дясната гредка, където напрежението достига 250 МПа.

Напрежението в ушите на гредата е около 200 МПа. Съществува опасност от разрушение на отделни елементи на кофата, като зъби, кутии, заварки и др.

3-ti zub 567 kN.asm, Static Study 1
Stress - Elemental
Contour: Von Mises Stress
Date: 26 ноември 2016 г. 16:16



Фиг. 4.16

Натоварване на зъб 3 с максимална сила от 567 kN.

4.4. Резултати и анализ

1. От направеното изследване на напрегнатото състояние на елементите на конструкцията на кофата се вижда, че то зависи съществено от мястото на прилагане на силата.
2. Получените максимални стойности са в зоната на контакт на носещия шарнир с предното ухо и са локални.
3. За избрания материал на ножа - стомана S 355 по DIN 17100, с механични характеристики $\sigma_s = 355$ МПа; $\sigma_B = 490 \div 630$ МПа и $[\sigma] = 240$ МПа, получените резултати гарантират безаварийна работа в нормални условия.
4. Като се има предвид, че по-голямата част от твърдите включения са със варовита или глинеста спойка и те не са здрави, а при здравите се провеждат пробивно-взривни работи, вероятността от възникване на много големи натоварвания, застрашаващи якостта на кофата, е минимална.
5. Направеното изследване представлява приложен принос в изследването и конструирането на кофи за роторни багери.

4.5 Изводи към глава IV.

1. Определена е стойността на периферната сила на роторното колело при номиналното натоварване на задвижващите двигатели.
2. Определено е разпределението на периферната сила върху участващите в копаенето кофи.
3. Определена е съпротивителната сила която среща всяка отделна кофа при копаене в условията на „Мини Марица-изток“ ЕАД.
4. Резултатите от това изчисление са използвани при оразмеряване на кофата по два метода.
 - 4.1. Метод на науката за съпротивление на материалите.
 - 4.1.1. Направен е опростен изчислителен модел и са съставени уравненията за равновесие.
 - 4.1.2. Определена е коравината на участъците, които ще се изчисляват.
 - 4.1.3. Определени са еквивалентните напрежения в тях.
 - 4.2. Метод на крайните елементи.
 - 4.2.1. Създаден е виртуален модел на кофата.
 - 4.2.2. Въвеждат се натоварвания според различни случаи, възможни при работа на кофата.
 - 4.2.3. Въвеждат се ограничения на степените на свобода на кофата, които имитират нейното захващане върху роторно колило.
 - 4.2.4. Получени са резултати.

Глава V.

Стенд за осигуряване на точно взаимно разположение на елементите на кофата при ремонт и производство на кофи.

5.1.1. Общи сведения.

За да се осигури изпълнението на изискванията за точно взаимно разположение на елементите на кофата, както и ориентирането на ножа и зъбите се предлага използването на специално разработен за целта стенд.

Стендът ще осигури еднаква форма на корпуса на кофите и еднаква форма на режещите им части.

Еднаквите по форма кофи при работа ще срязват еднакви по форма и размери стружки, което е благоприятно за натоварването на работния орган на багера и неговите задвижвания, особено при наличието на твърди включения.

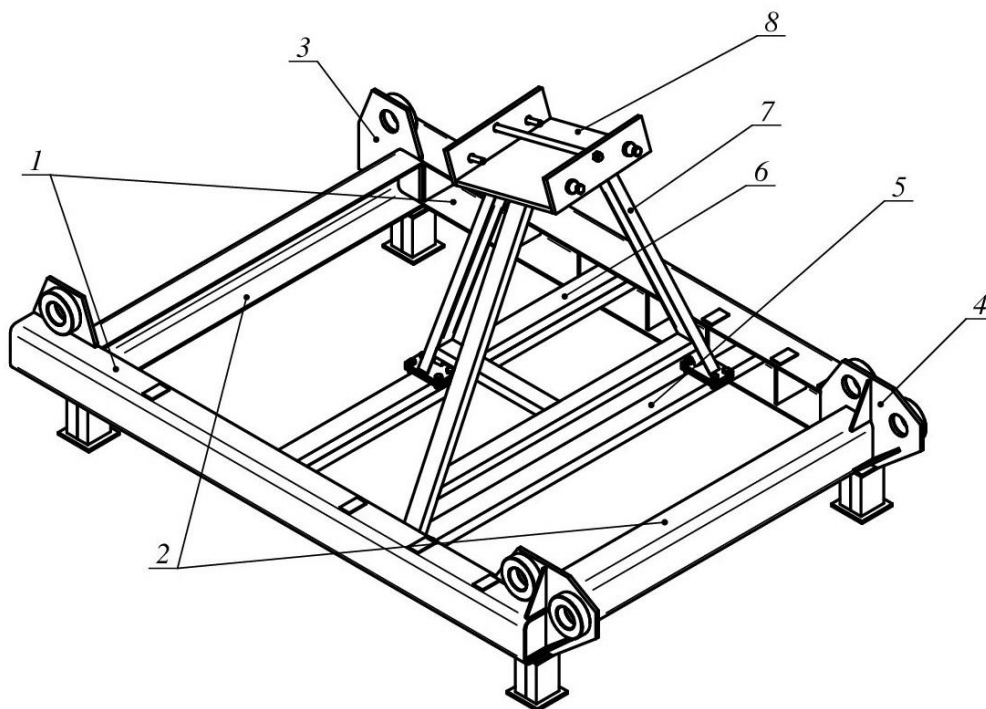
Използването на стенд ще облекчи труда на специалистите, произвеждащи кофите. Ще се увеличи производителността на труда и ще се подобри техническата безопасност.

Предлаганият стенд ще бъде особено полезен при ремонт на кофи, които освен износването имат и деформации.

Най – голямо внимание е обърнато на позиционирането на ножа към равнината на присъединителните отвори на кофата. От това зависи и разполагането на кутиите за зъби и самите зъби върху него.

При неправилното им разполагане спрямо кофата, съответно спрямо роторно колело (не са ориентирани по вектора на скоростта на копаене), те ще се износват по задната повърхност и ще се получава преразход на зъби и кофи.

5.2. Конструкция на стенда



Фиг. 5.1

Конструкция на стенда.

Конструкцията на стенда е показана на фиг. 5.1.

Основата на стенда е правоъгълна рама изработена от стандартни [- образни профили съединени чрез заварки.

Състои се от две надлъжни греди поз. 1 и две напречни греди поз 2.

В краищата на надлъжните греди са заварени уши поз. 3 и поз. 4

Ушите имат форма, размери и разстояния помежду си, които точно съответстват на ушите върху роторното колело.

Това осигурява безпроблемен монтаж на готовата кофа върху роторното колело.

Върху две напречни греди поз. 5 и поз. 6 монтирана с винтови съединения тринога стойка поз. 7 с носеща плоча поз. 8, която има задачата да носи теглото на ножа и да подпомага точното му позициониране. Плочата е ориентирана по необходимите наклони в двете равнини. В предния и задния край има винтове, чрез които ножът може да се измества напред или назад и да се фиксира. Над ножа има болт за безопасност.

Триногата стойка след прихващането на частите може да се демонтира за по-лесно извършване на заварочните работи.

Изводи към пета глава.

1. Конструираният стенд осигурява правилно разположение на ножа, следователно на кутиите и зъбите, спрямо равнината на присъединителните отвори на кофата.
2. Осигурява правилното разположение на присъединителните отвори на кофата спрямо роторното колело, от там нейният монтаж и демонтаж.
3. Изработката на кофата ще е по-лесна. Намалява се времето за измервания и се премахва субективният фактор при тях. Намалява се и вероятността от изкривявания при заваръчните работи.
4. При правилното разположение на зъбите се намалява техният преразход, който би се получил от триене по задната повърхност, при работа. При тяхното недобро разположение се изтриват и самите кутии и ножа на кофата, което води до тяхната смяна.
5. Повишава се производителността на труда и техническата безопасност при производство на нови кофи и ремонт и възстановяване на износени.

Научно-приложни приноси

1. Направено е изчерпателно и много детайлно проучване на възможните начини за изземване на откривка с твърди включения, което може да бъде полезно за много изследователи, конструктори и студенти.
2. Избран е възможно най-икономичен метод за разработване на твърдите включения още при срязването на стружката от забоя и постъпването на материала в кофите, чрез използване на т. н. „разделно рязане“, тъй като при всички други случаи има нужда от допълнително изразходване на енергия.

3. Методът „разделно рязане“ е известен преди около сто години, при създаването на многолеменни плугове, но използването му при багери е все още новост и може да се счита за принос.

4. Същото се отнася и за метода “метод на крайните елементи“ за изследване на напрегнатото състояние на сложни и статично неопределени конструкции, използвани при изследване на напрегнатото състояние на конструкцията на новата кофа.

Приложни приноси

1. Конструирана е кофа, осъществяваща „разделно рязане“, която осигурява:

- раздробяване на твърди включения;
- не увеличава разхода на електрическа енергия;
- цената на новата кофа е колкото тази на старите кофи;
- запазва се производителността на багера;
- облекчава се работата на механизма за въртене на горния строеж на багера.

2. Направеното якостно изчисление може да бъде полезно на конструктори и студенти.

3. Конструиран е стенд, който осигурява бързо и точно разполагане и свързване на елементите на кофата при производството ѝ. Стендът осигурява и по-голяма безопасност на производството и ремонта на новите кофи.

4. Намалването на негабаритните късове ще се отрази благоприятно на трайността на ГЛТ на багера, ГЛТ на участъка и ГЛТ на рудника.

5. Намалява се динамичността на процеса “копаене“, което е благоприятно за задвижването на работния орган на металоконструкцията му и на дълготрайността на багера.

Препоръки

1. За най-добри резултати от внедряването на новата кофа, при разделянето на забоя на стъпала, твърдите включения да бъдат разположени в средната част на стъпалото.

2. Да се работи с максимално подаване, т.е. с максимална дебелина на стружката (за багер SRs 4000 подаването напред трябва да бъде 0,6 – 0,7 м).

3. Когато въпреки взетите мерки се откъсват големи късове, трябва да се възпрепятства попадането им в кофите и от там в транспортната система.

4. Възможно е също разполагането на роторна трошачка в средния бункер.

5. Да се проучи възможността за прилагане на кофи с „разделно рязане“ и върху други типове роторни багери.

6. Да се използват само сменяеми и самозаточващи се зъби, ковани, лети и наварени в зависимост от забоите и съставящите ги скали.

7. Да се продължат изследванията по подобряване на работните органи на роторните багери.
8. Чрез смесени работни колективи да се стимулира връзката на науката и практиката.

Публикации

Динев, Н., Вучева, Р. „Намаляване на възможността за създаване на негабаритни късове материал и попадането им в гумено-лентовите транспортъори при изкопаване на откритка“. сп. „Минно дело и геология“, бр. 1-2. 2015, стр. 14÷17

Динев, Н., Вучева, Р. „Проект на кофа с „разделно рязане“ на роторен багер SRs 4000“. Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“ т. 58 2015, св. 3, стр. 37÷42

Динев, Н., Вучева, Р., Трифонова – Генова, В. „Върху числено моделиране на натоварването върху нож на кофа“. Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“ т. 59 2016, св. 3, стр. 38÷40

Динев, Н., Вучева, Р., Трифонова – Генова, В. „Изследване върху напрегнатото състояние на нож на кофа“. Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“ т. 59 2016, св. 3, стр. 41÷44

Внедряване

1. Работната документация на кофата с „разделно рязане“ е приета от технически съвет на „Мини Марица-Изток“ ЕАД.
2. Препоръчано е производството и експлоатацията на тази кофа. Има известно забавяне, което се дължи на икономически и организационни причини.
3. Предстои производство и експлоатация на кофа с „разделно рязане“ на роторен багер SRs 4000 работещ на открит хоризонт.